

ISSN 1607-0763 (Print)
ISSN 2408-9516 (Online)

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 27 №1
Vol 27 N1

2023

www.vidar.ru
www.medvis.vidar.ru
www.medimage.ru



- Нейрорентгенологическая визуализация внутричерепных артериальных аневризм
- Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография
- Фьюжн-биопсия или виртуальная сонография в режиме реального времени
- Диффузионно-взвешенная МРТ в дифференциальной диагностике солидных образований почек
- Радиочастотная термоабляция у больных раком почки
- Доплеровский артефакт мерцания: физические механизмы и место в диагностической практике

ВИДАР

ISSN 1607-0763 (Print)
ISSN 2408-9516 (Online)

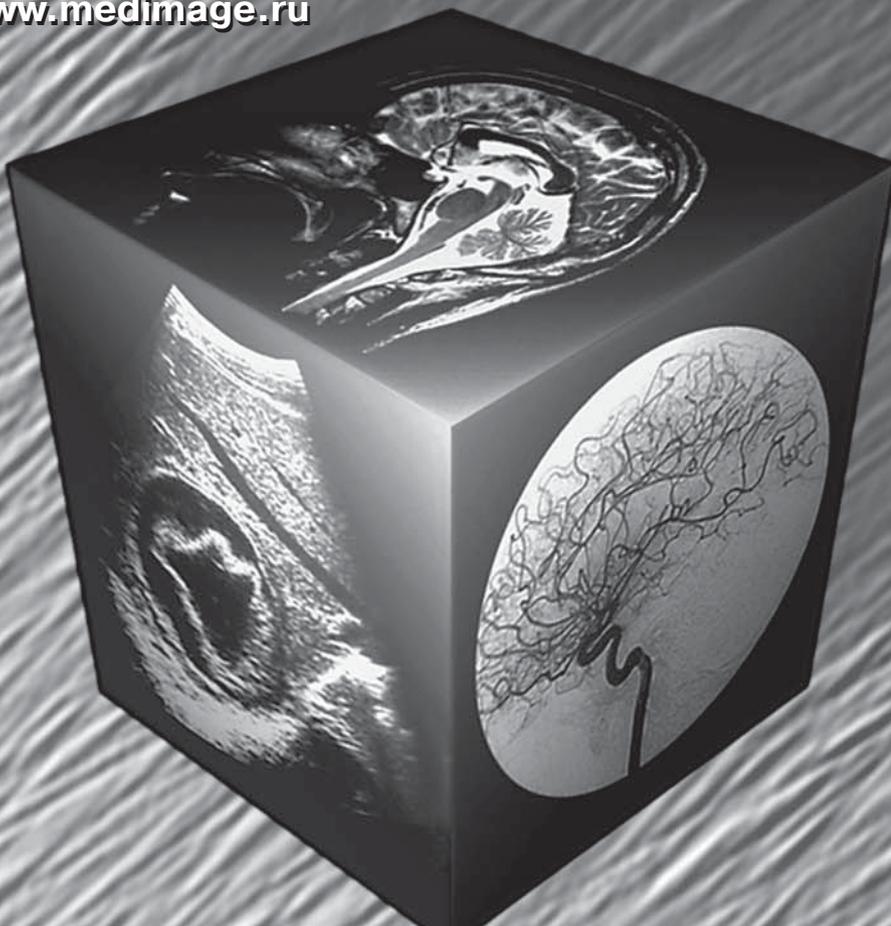
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 27 №1
Vol 27 N1

2023

www.vidar.ru
www.medvis.vidar.ru
www.medimage.ru



- Нейрорентгенологическая визуализация внутричерепных артериальных аневризм
- Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография
- Фьюжн-биопсия или виртуальная сонография в режиме реального времени
- Диффузионно-взвешенная МРТ в дифференциальной диагностике солидных образований почек
- Радиочастотная термоабляция у больных раком почки
- Доплеровский артефакт мерцания: физические механизмы и место в диагностической практике

ВИДАР

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditinskaya vizualizatsiya

2023 Том 27 №1

Научно-практический журнал. Основан в 1997 г.
Выходит 4 раза в год

Официальный
печатный орган

Российского общества рентгенологов и радиологов (129344, Москва, ул. Верхоянская, д. 18, корп. 2)
Общества специалистов по лучевой диагностике (119435, Москва, ул. Большая Пироговская, д. 6)
Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов
и радиологов (125040, Москва, ул. Расковой, д. 16/26, стр. 1)

Издатель

ООО "Видар" (109028, Москва, а/я 16)

Главный редактор

Кармазановский Григорий Григорьевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики и терапии медикобиологического факультета ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, лауреат премии города Москвы в области медицины, лауреат премии Ленинского комсомола, вице-президент Российского общества рентгенологов и радиологов, Москва, Российская Федерация. E-mail: karmazanovsky@yandex.ru, karmazanovsky@ixv.ru.
<https://orcid.org/0000-0002-9357-0998>. Scopus Author ID: 55944296600

Первый заместитель главного редактора

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заместитель директора по научной работе ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" Минздрава России, Москва, Российская Федерация.
<https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Заместитель главного редактора

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением лучевой диагностики Клинической больницы №2 МЕДСИ, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000290149022>. Scopus Author ID: 7102053957

Научные консультанты

Ревишвили Амиран Шотаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000317919163>. Scopus Author ID: 7003940753

Каприн Андрей Дмитриевич – академик РАН и РАО, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр радиологии" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Пронин Игорь Николаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГАУ "Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID: 7006011755

Зав. редакцией

Сафонова Татьяна Дмитриевна – E-mail: safonova.td@mail.ru

Груздев Иван Сергеевич – научный редактор переводов. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>

Редакционная коллегия

Анфиногенова Нина Джоновна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения популяционной кардиологии НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-1106-0730>. Scopus Author ID 15755135700

Араблинский Андрей Владимирович – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО "Первый МГМУ имени И.М. Сеченова" Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>. Scopus Author ID 55446175400

Ахадов Толибджон Абдуллаевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой диагностики ГБУЗ города Москвы "Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии Департамента здравоохранения города Москвы", Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000308543598>. Scopus Author ID 6701867282

Ахметов Еркем Абибуллаевич – доктор мед. наук, доцент, доцент кафедры онкологии и визуальной диагностики Казахстано-Российского медицинского университета, Алматы, Республика Казахстан.

Борсуков Алексей Васильевич – доктор мед. наук, профессор, директор Проблемной научно-исследовательской лаборатории “Диагностические исследования и малоинвазивные технологии” ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, Смоленск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000340477252>. Scopus Author ID 7801311680

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация.

Вишнякова Марина Валентиновна – доктор мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики ГБУЗ МО “Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского”, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0003-3838-636X>. Scopus Author ID: 6603209206

Ветшева Наталья Николаевна – доктор мед. наук, заместитель заведующего учебным центром ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000290179432>. Scopus Author ID: 6176616600

Гус Александр Иосифович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 6508263197

Даутов Таирхан Бекполатович – доктор мед. наук, директор Клинико-академического департамента радиологии и ядерной медицины Университетского медицинского центра, Нур-Султан, Республика Казахстан. <http://orcid.org/0000-0002-5267-0108>. Scopus Author ID 5583681900

Джураева Нигора Мухсумовна – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения МР- и КТ-диагностики ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент, Республика Узбекистан. <https://orcid.org/0000-0002-2232-8264>

Долгушин Борис Иванович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ НПО РМАНПО Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Президент Национального общества интервенционных онкорádiологов. <https://orcid.org/0000-0001-7185-7165>. Scopus Author ID: 6604000392

Захарова Наталья Евгеньевна – доктор мед. наук, профессор РАН, профессор Национального медицинского исследовательского центра нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, профессор кафедры нейрохирургии с курсами нейронаук НМИЦ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>. Scopus Author ID: 36616114800

Игнатьев Юрий Тимофеевич – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Омский государственный медицинский университет” Минздрава России, Омск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-9232-7606>. Scopus Author ID 57203357735

Икрамов Адхам Ильхамович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской радиологии Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников при Минздраве Республики Узбекистан, Ташкент, Республика Узбекистан. Scopus Author ID: 6603001286

Корженкова Галина Петровна – доктор мед. наук, профессор кафедры рентгенологии и радиологии РМАНПО; старший научный сотрудник ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

Котляров Петр Михайлович – доктор мед. наук, профессор, руководитель научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000319409175>. Scopus Author ID: 7003497625

Лукьянченко Александр Борисович – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000270216419>. Scopus Author ID 6507563458

Мазо Михаил Львович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник НЦОРО Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-1313-6420>. Scopus Author ID 25623348800

Мищенко Андрей Владимирович – доктор мед. наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, Научно-клинический и образовательный центр “Лучевая диагностика и ядерная медицина”; ведущий научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург, Российская Федерация. Scopus Author ID: 55791087500

Петрайкин Алексей Владимирович – канд. мед. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000316944682>. Scopus Author ID: 7801330975

Прокопенко Сергей Павлович – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением МНИОИ им. П.А.Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000203695755>. Scopus Author ID: 7004120546

Рахимжанова Раушан Ибжановна – доктор мед. наук, профессор, почетная заведующая кафедрой радиологии имени академика Ж.Х. Хамзабаева НАО “Медицинский университет Астана”, Нур-Султан, Республика Казахстан. <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>. Scopus Author ID: 55776205100

Ростовцев Михаил Владиславович – доктор мед. наук, заведующий отделом лучевой диагностики ГБУЗ “Городская клиническая больница имени М.Е. Жадкевича Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000250324164>

Рубцова Наталья Алефтиновна – доктор мед. наук, доцент, заведующая отделом лучевой диагностики ФГБУ “Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена” – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID: 15844343600

Сафонов Дмитрий Владимирович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ФДПО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород, Российская Федерация. Scopus Author ID 55647448500

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой диагностики факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000256492193>. Scopus Author ID: 7102735724

Степанова Юлия Александровна – доктор мед. наук, Ученый секретарь ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-2348-4963>. Scopus Author ID 57194482656

Тарачкова Елена Владимировна – канд. мед. наук, ассистент кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 56321456200

Трофимова Татьяна Николаевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры рентгенологии и радиационной медицины ФГБОУ ВО “СанктПетербургский государственный университет”, СанктПетербург, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000348712341>. Scopus Author ID: 7006098439

Троян Владимир Николаевич – доктор мед. наук, профессор, начальник Центра лучевой диагностики, главный рентгенолог ФГБУ “Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко” Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000280089660>

Туманова Ульяна Николаевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник, врач-рентгенолог ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0924-6555>. Scopus Author ID: 55352350200

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, старший научный сотрудник НИИ кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”; доцент ФГАОУ “Национальный исследовательский Томский политехнический университет”, НОЦ им. Н.М. Кижнера, Томск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000273526068>. Scopus Author ID: 16937595600

Федорук Алексей Михайлович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом гепатологии и малоинвазивной хирургии ГУ “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии”, Минск, Республика Беларусь. Scopus Author ID 56531839500

Фисенко Елена Полиектовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/000000034503950X>. Scopus Author ID 6507536162

Хомутова Елена Юрьевна – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Омский государственный медицинский университет” Минздрава России, Омск, Российская Федерация. Scopus Author ID 57189104536

Хохлов Александр Леонидович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой клинической фармакологии и этики применения лекарств ЮНЕСКО ФГБОУ ВО “Ярославский государственный медицинский университет” Минздрава России, Ярославль, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000200320341>. Scopus Author ID: 7201745706

Хромов-Борисов Никита Николаевич – канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0001-6435-7218>. Scopus Author ID 7003518614

Шейх Жанна Владимировна – доктор мед. наук, профессор, врач-рентгенолог ГБУЗ “Городская клиническая больница имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы”; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ “Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна” ФМБА России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000313346652>. Scopus Author ID 57285215600

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии медико-биологического факультета ФГБОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000203100889>. Scopus Author ID 7102669707

Nicholas C. Gourtsoyiannis – иностранный член РАН, доктор мед. наук, профессор, директор Европейской школы радиологии, Афины, Греция. Scopus Author ID: 24369117700

Rienmüller Rainer – иностранный член РАН, доктор мед. наук, профессор, профессор отделения общей радиологии Медицинского университета Грац, Австрия. <https://orcid.org/0000-0002-6068-5027>. Scopus Author ID 7003654650

Yang Qin – доктор мед. наук, руководитель группы функционально-реконструктивной хирургии пищевода и желудка ГКБ №1 при Медицинском университете Фуцзянь, г. Фучжоу, Китайская Народная Республика.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС-77-21017 от 12.05.05 г.

Журнал включен ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Журнал включен в библиографическую и реферативную базу данных **Scopus**.

Адрес для корреспонденции: 117997, Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27. НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского (Григорий Григорьевич Кармазановский) karmazanovsky@ixv.ru. Тел.: 8-499-237-37-64, 237-04-54.

<https://medvis.vidar.ru/jour/index>

ООО “Видар” 109028, Москва, а/я 16. Контакты: (495) 768-04-34, (495) 589-86-60, <http://www.vidar.ru>

Подписаться на наш журнал вы можете в любом отделении связи (каталог Роспечати, раздел “Здравоохранение. Медицина”), а также в издательстве ООО “Видар”

Материалы этого издания не могут воспроизводиться ни в какой форме без письменного разрешения.

Редактирование Т.И. Луковская
Художники О.А. Рыченкова, А.И. Морозова
Верстка Ю.А. Кушель

“МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ”

© ООО “Видар”, 2023.

Все права сохраняются.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditinskaya vizualizatsiya

2023 V. 27 N1



Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

Russian Society of Roentgenologists and Radiologists (18-2, Verkhoyanskaya str., 129344, Moscow, Russian Federation)

Society of specialists in X-ray diagnostics (6, Bo'shaya Pirogovskaya str., 119435, Moscow, Russian Federation)

Moscow regional department of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists

(16/26, bld.1, Raskovoi str., 125040, Moscow, Russian Federation)

Is published by **Vidar Ltd.** (p/b 16, 109028, Moscow, Russian Federation)

Editor-in-Chief

Grigory G. Karmazanovsky – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Diagnostic Radiology Department at the A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; Professor of the Radiology Department at the N.I. Pirogov Russian National Research Medical University. Honored Scientist of Russian Federation, Laureate of the RF Government Prize in the field of science and technology, Laureate of the Moscow City Prize in the field of medicine, Lenin Komsomol Prize Laureate, Vice President of the Russian Society of Radiologists, Moscow, Russian Federation.

E-mail: karmazanovsky@yandex.ru, karmazanovsky@ixv.ru. <https://orcid.org/0000000293570998>. Scopus Author ID: 55944296600

First Deputy Editor

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, Deputy Director for Science and Research at the Russian Research Center of Radiology, Moscow, Russian Federation. Email: nudnov@rncrr.ru. <https://orcid.org/0000000159940468>. Scopus Author ID: 7004927053

Publishing Editor

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Radiology Department of Clinical hospital No.2 of “Medsi group” Joint Stock Company, Moscow, Russian Federation. Email: gai8@mail.ru. <https://orcid.org/0000000290149022>. Scopus Author ID: 7102053957

Scientific consultants

Amiran Sh. Revishvili – Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Director of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000317919163>. Scopus Author ID: 7003940753

Andrey D. Kaprin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Education, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, General Director of “National Medical Radiological Research Center” of the Ministry of Health of the Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Igor N. Pronin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for the scientific work of the N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID: 7006011755

Chief of office

Tatyana D. Safonova – E-mail: safonova.td@mail.ru

Ivan S. Gruzdev – scientific translation editor. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>

Editorial board

Nina J. Anfinogenova – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher at the Department of Population Cardiology, Research Institute of Cardiology, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1106-0730>. Scopus Author ID 15755135700

Andrey V. Arablinskiy – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor at the Department of Radiologic Diagnosis and Therapy of N.V. Sklifosovskiy Institute of Clinical Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>. Scopus Author ID 55446175400

Tolibdzhon A. Akhadov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000232358854>

Yermek A. Akhmetov – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Oncology and Imaging Kazakh-Russian Medical University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Alexey V. Borsukov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of Problem Research Laboratory “Diagnostic Researches and Mini-invasive Technologies”, Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000340477252>. Scopus Author ID 7801311680

Yuri A. Vasiliev – Cand. of Sci. (Med.), Director of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation.

Marina V. Vishnyakova – Doct. of Sci. (Med.), head of radiology department of Moscow Regional Clinical and Research Institute named after M.F. Vladimirovsky (MONIKI), Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0003-3838-636X> Scopus Author ID: 6603209206

Natalia N. Vetsheva – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director of the Education Center, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000000290179432>. Scopus Author ID: 6176616600

Alexander I. Gus – Doct. of Sci. (Med.), Professor, principal researcher of Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 6508263197

Tairkhan B. Dautov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Clinical and Academic Department of Radiology and Nuclear Medicine, University Medical Center. Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan. <http://orcid.org/0000-0002-5267-0108>. Scopus Author ID 55836811900

Nigora M. Djuraeva – Doct. of Sci. (Med.), Senior Researcher at the Department of MRI and CT Diagnosis of Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after Academician V. Vakhidov Tashkent, Uzbekistan. <https://orcid.org/0000-0002-2232-8264>

Boris I. Dolgushin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor; Director of the Research Institute of Clinical and Experimental Radiology, National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin; Professor at the Department of Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation; President of the National Society of Interventional Oncoradiologists. <https://orcid.org/0000-0001-7185-7165>. Scopus Author ID: 6604000392

Natalia E. Zakharova – Doct. of Sci. (Med.), professor of Russian Academy of Sciences, professor of N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>. Scopus Author ID: 36616114800

Yury T. Ignat'ev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor at the Department of Diagnostic Radiology, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-9232-7606>. Scopus Author ID 57203357735

Adkham I. Ikramov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Medical Radiology, Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Workers of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan. Scopus Author ID: 6603001286

Galina P. Korzhenkova – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Radiology; radiologist of Federal State Budgetary Institution «N.N. Blokhin Medical Research Center of Oncology» of the Ministry of Health of Russian Federation (N.N. Blokhin NMRCO)

Peter M. Kotlyarov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Research Department for New Technologies and Semiotics of Diagnostic Radiology in Diseases and Body Systems, Russian Research Center for X-Ray and Radiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000319409175>. Scopus Author ID: 7003497625

Alexander B. Lukianchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, leading researcher of N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000270216419>. Scopus Author ID 6507563458

Mikhail L. Mazo – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher of P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Center of Radiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-1313-6420>. Scopus Author ID 25623348800

Andrey V. Mishchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of St. Petersburg State University, Research, Clinical and Educational Center “Diagnostic Radiology and Nuclear Medicine”; leading researcher of N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg, Russian Federation. Scopus Author ID: 55791087500

Alexey V. Petraikin – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, leading researcher at the Department of Innovative Technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000316944682>. Scopus Author ID: 7801330975

Sergey P. Prokopenko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Center of Radiology (Moscow, Russian Federation). <http://orcid.org/0000000203695755>. Scopus Author ID: 7004120546

Raushan I. Rakhimzhanova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honorary Head of the Zh.Kh. Khamzabaev Department of Radiology, Astana Medical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan. <https://orcid.org/0000000234906324>. Scopus Author ID: 55776205100

Mikhail V. Rostovtsev – Doct. of Sci. (Med.), Head of Radiology department Zhadkevich City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000250324164>

Natalia A. Rubtsova – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology, P.A. Herzen Moscow Research Oncology Institute – branch of “National Medical Research Center of Radiology” of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID: 15844343600

Dmitry V. Safonov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the Department of Diagnostic Radiology, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation. Scopus Author ID 55647448500

Valentin E. Sinitsyn – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology of the Medical Research and Education Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000256492193>. Scopus Author ID: 7102735724

Yulia A. Stepanova – Doct. of Sci. (Med.), Academic Secretary of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000000223484963>. Scopus Author ID 57194482656

Elena V. Tarachkova – Cand. of Sci. (Med.) Assistant Professor Chair of Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 56321456200

Tat'yana N. Trofimova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor at the Department of Radiology and Radiation Medicine, Pavlov First State Medical University of St. Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation. <http://orcid.org/0000000348712341>. Scopus Author ID: 7006098439

Vladimir N. Troyan – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Center for Diagnostic Radiology, Chief Radiologist Main military clinical hospital named after academician N.N. Burdenko, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000280089660>

Uliana N. Tumanova – Doct. of Sci. (Med.), radiologist, leading researcher of the 2nd pathology department of National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0924-6555>. Scopus Author ID: 55352350200

Vladimir Yu. Usov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, senior researcher, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Cardiology; Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Kizhner Research Center, Tomsk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000273526068>. Scopus Author ID: 16937595600

Aleksey M. Fedoruk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Hepatology and Minimally Invasive Surgery, Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, Minsk, Republic of Belarus. Scopus Author ID 56531839500

Elena P. Fisenko – Doct. of Sci. (Med.), Petrovsky National Research Centre of Surgery (Moscow, Russian Federation), principal researcher, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/000000034503950X>. Scopus Author ID 6507536162

Elena Yu. Khomutova – Doct. of Sci. (Med.), Chairman of the Department of Diagnostic Radiology, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation. Scopus Author ID 57189104536

Aleksandr L. Khokhlov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the UNESCO Department of Clinical Pharmacology and Ethics of Medicines, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation. <http://orcid.org/0000000200320341>. Scopus Author ID: 7201745706

Nikita N. Khromov-Borisov – Cand. of Sci. (Biol.), senior researcher, V.A. Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0001-6435-7218>. Scopus Author ID 7003518614

Zhanna V. Sheikh – Doct. of Sci. (Med.), Professor, radiologist, Botkin City Clinical Hospital (Moscow, Russian Federation); Professor at the Department of Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Professor at the Department of Diagnostic Radiology, Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (Moscow, Russian Federation), Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000000313346652>. Scopus Author ID 57285215600

Andrey L. Yudin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the Department of Diagnostic Radiology and Therapy, Medicine and Biology Division, N.I. Pirogov Russian national research medical university, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000000203100889>. Scopus Author ID 7102669707

Nicholas C. Gourtsoyiannis – International Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., Ph.D., Professor, Director of European School of Radiology, Athens, Greece. Scopus Author ID: 24369117700

Rainer Riemüller – International Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., Ph.D., Professor, Professor at the Radiology Department, Medical University of Graz, Graz, Austria. <https://orcid.org/0000-0002-6068-5027>. Scopus Author ID 7003654650

Yang Qin – Ph.D., Head of the Group of Functional Reconstructive Surgery of the Esophagus and Stomach City Clinical Hospital No. 1, Fujian Medical University Fuzhou, China.

Reg. № ПИ № ФС-77-21017, 12.05.05.

The Journal is included in the “List of leading peer-reviewed editions, recommended for publication of Candidate's and Doctor's degree theses main results” approved by Higher Attestation Commission (VAK) RF.

The Journal is included in the **Scopus** bibliographic and abstract database.

For inquiries relating to the publication, please contact: **karmazanovsky@ixv.ru**
27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., 117997, Moscow, Russian Federation.

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery. Grigory G. Karmazanovsky
Phone: +7 (499) 237-37-64, 237-04-54,

<https://medvis.vidar.ru/jour/index>

Vidar Ltd. p/b 16, 109028, Moscow, Russian Federation Phone: +7 (495) 768-04-34, +7 (495) 589-86-60, <http://www.vidar.ru>

You can subscribe to the journal at any post office (Rospechat catalogue, section “Public Health. Medicine”) and in the publishing house “Vidar” Ltd.

No part of this copyrighted work may be reproduced, modified or distributed, without the prior written permission

Editing T.I. Lukovskaya
Designer O.A. Rychenkova, A.I. Morosova
Prepress Yu.A. Kushel
“MEDICAL VISUALIZATION”
© Vidar Ltd., 2023
All rights reserved

Format 60 × 90 1/8. 18 printer's sheet. Circulation: 1500 ex. Free price.
Printed at Onebook.ru (OOO “SamPoligrafist”), www.onebook.ru
Signed for printing: 1.03.2023



Голова

- 11 Современные нейрорентгенологические методы диагностики внутричерепных артериальных аневризм: обзор литературы**
Семина К.С., Пронин И.Н., Элиава Ш.Ш.,
Коновалов А.Н., Баталов А.И., Захарова Н.Е.

Сердце и сосуды

- 19 МРТ в диагностике рекоарктации аорты в отдаленном периоде после операции (случай из практики)**
Шляппо М.А., Юрпольская Л.А.,
Макаренко В.Н., Дорофеев А.В.

Молочная железа. Специальная сессия под редакцией профессора С.С. Багненко

- 25 Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография – инструмент точной диагностики онкопатологии на фоне плотной ткани молочной железы**
Чёрная А.В., Ульянова Р.Х., Багненко С.С.,
Криворотько П.В., Артемьева А.С., Жильцова Е.К.,
Новиков С.Н., Данилов В.В., Крживицкий П.И.,
Мешкова И.Е., Зайцев А.Н.
- 35 Радионуклидная диагностика рака молочной железы: опыт ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России**
Попова Н.С., Крживицкий П.И., Новиков С.Н.,
Данилов В.В., Валитова А.А., Брянцева Ж.В.,
Чёрная А.В., Криворотько П.В., Табагуа Т.Т.,
Артемьева А.С., Яганова Т.С.
- 46 Методика фьюжн-биопсии, или виртуальной сонографии в режиме реального времени (RVS), – первый опыт верификации зон контрастирования молочной железы под совмещенным УЗ/МР-контролем**
Бусько Е.А., Шагал М.А., Васильев А.В.,
Аполлонова В.С., Целуйко А.И., Табагуа Т.Т.,
Тятков С.А., Кулиш А.В., Багненко С.С., Шевкунов Л.Н.
- 57 Магнитно-резонансная маммография в диагностике гистологического класса филоидных опухолей**
Серебрякова С.В., Юхно Е.А.,
Куцкая А.О., Смирнова В.О.
- 69 Классификация осложнений увеличения молочных желез силиконовыми гелевыми имплантатами**
Шумакова Т.А., Савелло В.Е.,
Серебрякова С.В., Афанасьева И.С.

Почки.

Специальная сессия под редакцией профессора А.И. Громова

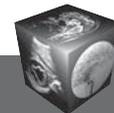
- 79 Возможности диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике солидных образований почек**
Рубцова Н.А., Гольбиц А.Б., Кабанов Д.О., Крянева Е.В.,
Воробьев Н.В., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д.
- 89 Мультипараметрическое ультразвуковое исследование с контрастным усилением кистозных образований почки в сопоставлении с методом компьютерной томографии**
Кадырлеев Р.А., Багненко С.С., Бусько Е.А.,
Костромина Е.В., Гончарова А.Б., Козубова К.В.,
Меньшикова С.В., Николаев А.В.
- 99 Радиочастотная термоабляция (РЧА) у больных раком почки**
Степанова Ю.А., Жаворонкова О.И., Гаврилов Я.Я.,
Чехоева О.А., Грицкевич А.А., Глотов А.В.
- 120 Доплеровский артефакт мерцания: физические механизмы и место в диагностической практике. Современное состояние вопроса**
Громов А.И., Сапожников О.А., Каприн А.Д.

Детская рентгенология

- 135 Аномалии и пороки развития висцеральных артерий при внемочечной портальной гипертензии у детей**
Юлдашев Р.З., Алиев М.М.,
Максудов М.Ф., Хайдаров У.О.

Технологии лучевой диагностики

- 145 Роль ПЭТ/КТ в онкогинекологии (обзор литературы)**
Николаева Е.А., Тарачкова Е.В., Шейх Ж.В., Тюрин И.Е.
- 158 Использование трансферного обучения для автоматизированного поиска дефектов на рентгенограммах органов грудной клетки**
Борисов А.А., Семенов С.С., Арзамасов К.М.



Contents

Head

11 Modern neuroradiological diagnostic methods for intracranial arterial aneurysms: a review

Kirill S. Semin, Igor N. Pronin, Shalva Sh. Eliava, Anton N. Konovalov, Artem I. Batalov, Natalia E. Zakharova

Heart and vessels

19 MRI visualization of aortic recoarctation in the long-term period after surgery (case report)

Maria A. Shlyappo, Lyudmila A. Yurpolskaya, Vladimir N. Makarenko, Aleksey V. Dorofeev

Breast. Special session edited by professor S.S. Bagnenko

25 Contrast enhanced spectral mammography as a tool for accurate diagnosis of cancer on the background of the dense breast tissue

Antonina V. Chernaya, Roksana Kh. Ulyanova, Sergey S. Bagnenko, Petr V. Krivorotko, Anna S. Artemyeva, Elena K. Zhiltsova, Sergey N. Novikov, Vsevolod V. Danilov, Pavel I. Krzhivitsky, Irina E. Meshkova, Alexander N. Zaitsev

35 Radionuclide imaging of breast cancer: experience of FSBI "N.N. Petrov National Medical Research Centre of Oncology" of the Ministry of Healthcare of Russian Federation

Nadezhda S. Popova, Pavel I. Krzhivitsky, Sergey N. Novikov, Vsevolod V. Danilov, Alina A. Valitova, Zhanna V. Bryantseva, Antonina V. Chernaya, Petr V. Krivorotko, Tengiz T. Tabagua, Anna S. Artemyeva, Tatyana S. Yaganova

46 Fusion biopsy or real time virtual sonography (RVS) technique – the first experience in verification of hypervascular breast lesions under combined US/MR control

Ekaterina A. Busko, Maria A. Shagal, Alexander V. Vasiliev, Vera S. Apollonova, Andrey I. Tseluiko, Tengiz T. Tabagua, Stanislav A. Tiatkov, Anna V. Kulish, Sergey S. Bagnenko, Lev N. Shevkunov

57 The MR mammography of phyllodes tumors of different histological grades

Svetlana V. Serebryakova, Elena A. Yukhno, Anastasiya O. Kutckaya, Victoria O. Smirnova

69 Classification of complications of breast augmentation with silicone gel implants

Tatyana A. Shumakova, Victor E. Savello, Svetlana V. Serebryakova, Irina S. Afanasieva

Kidneys. Special session edited by professor A.I. Gromov

79 The role of DWI MRI for differential diagnostic of solid renal tumors

Natalia A. Rubtsova, Aleksandra B. Golbits, Dmitry O. Kabanov, Elena V. Kryaneva, Nikolai V. Vorobyev, Boris Ya. Alekseev, Andrei D. Kaprin

89 Contrast enhanced multiparametric ultrasound of cystic kidney lesions in comparison with the computed tomography

Roman A. Kadyrleev, Sergey S. Bagnenko, Ekaterina A. Busko, Ekaterina V. Kostromina, Anastasiya B. Goncharova, Kseniya V. Kozubova, Svetlana V. Menshikova, Aleksey V. Nikolaev

99 Radiofrequency thermoablation (RFA) in kidney cancer patients

Yulia A. Stepanova, Olga I. Zhavoronkova, Yan Ya. Gavrilov, Olesya A. Chekhoeva, Aleksandr A. Gritskevich, Andrey V. Glotov

120 Doppler twinkling artifact: physical mechanisms and place in diagnostic practice. State of the art

Alexander I. Gromov, Oleg A. Sapozhnikov, Andrei D. Kaprin

Pediatric radiology

135 Anomalies and malformations of visceral arteries in children with extrahepatic portal vein obstruction

Rustam Z. Yuldashev, Mahmud M. Aliev, Muzaffar F. Maksudov, Umar O. Khaydarov

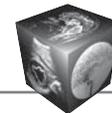
Radiology technologies

145 The role of PET/CT in oncogynecology (literature review)

Ekaterina A. Nikolaeva, Elena V. Tarachkova, Zhanna V. Sheikh, Igor E. Tyurin

158 Transfer Learning for automated search for defects on chest X-rays

Alexander A. Borisov, Serafim S. Semenov, Kirill M. Arzamasov



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1283>

Современные нейрорентгенологические методы диагностики внутричерепных артериальных аневризм: обзор литературы

© Семин К.С.*, Пронин И.Н., Элиава Ш.Ш., Коновалов А.Н.,
Баталов А.И., Захарова Н.Е.

ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России; 125047 Москва, 4-я Тверская-Ямская ул., д. 16, Российская Федерация

Цель. Анализ мировой литературы, посвящённый современной диагностике внутричерепных артериальных аневризм с акцентом на возможности МР-визуализации сосудистой стенки.

Материал и методы. Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитической системе PubMed за 2012–2020 гг. по ключевым словам: “aneurysm” (аневризма), “СТ” (КТ), “MRI” (МРТ), “CFD – computational hydrodynamics” (вычислительная гидродинамика), “vessel wall imaging” (визуализация сосудистой стенки). В результате поиска было отобрано и изучено 137 статей, из которых в обзоре использовались 27 статей, дополненные 10 статьями из списков литературы 1990–2012 гг.

Результаты. Были продемонстрированы современные возможности диагностики интракраниальных аневризм с особым вниманием на преимущества метода МР-визуализации сосудистой стенки. Определены основные технические аспекты, на которых базируется специализированная методика МР-визуализации сосудистой стенки.

Выводы. Современные методики КТ- и МР-визуализации способны предоставить дополнительную информацию о происходящих в просвете аневризмы и ее стенке процессах, которая может явиться ключевым фактором при предоперационном нейрохирургическом планировании.

Ключевые слова: аневризма, МР-визуализация, сосудистая стенка, воспаление, неоваскуляризация

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Семин К.С., Пронин И.Н., Элиава Ш.Ш., Коновалов А.Н., Баталов А.И., Захарова Н.Е. Современные нейрорентгенологические методы диагностики внутричерепных артериальных аневризм: обзор литературы. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 11–18. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1283>

Поступила в редакцию: 11.11.2022. **Принята к печати:** 02.02.2023. **Опубликована online:** 24.03.2023.

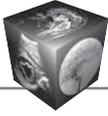
Modern neuroradiological diagnostic methods for intracranial arterial aneurysms: a review

© Kirill S. Semin*, Igor N. Pronin, Shalva Sh. Eliava, Anton N. Konovalov,
Artem I. Batalov, Natalia E. Zakharova

N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation;
16, 4rd Tverskaya-Yamskaya str., Moscow 125047, Russian Federation

Aim. Analysis of modern neuroimaging methods of intracranial arterial aneurysms with an emphasis on the possibilities of MR imaging of the vessel wall.

Methods. Scientific articles and clinical recommendations from the PubMed from 2012 to 2020 were included into analysis, using keywords: aneurysm, CT, MRI, CFD (computational hydrodynamics), vessel wall imaging. As a result of the search, 137 articles were selected of which 27 articles were used in the review, supplemented by 10 articles from the reference lists 1990–2012.



Results. Modern possibilities of intracranial arterial aneurysms imaging were demonstrated, with particular attention to the advantages of the method of MR imaging of the vessel wall. The main technical aspects of MR vessel wall imaging were demonstrated.

Conclusion. Modern CT and MR imaging can provide additional information about the processes occurring in the lumen of the aneurysm and its wall. This information can be a key factor in the neurosurgical patient management.

Keywords: aneurysm, magnetic resonance imaging, vessel wall, inflammation, neovascularization

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Semin K.S., Pronin I.N., Eliava Sh.Sh., Konovalov A.N., Batalov A.I., Zakharova N.E. Modern neuroradiological diagnostic methods for intracranial arterial aneurysms: a review. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 11–18. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1283>

Received: 11.11.2022.

Accepted for publication: 02.02.2023.

Published online: 24.03.2023.

Аневризматическое субарахноидальное кровоизлияние (аСАК) возникает с частотой от 6 до 20 человек на 100 000 в год по данным различных исследований и сопряжено с высокой смертностью и инвалидизацией [1]. Около 10% пациентов умирают до того, как попадают в больницу, и только 1/3 имеют хорошее восстановление после лечения [2]. Причиной аСАК в 85% случаев является разрыв аневризмы сосудов головного мозга [3]. Аневризма – это локальное расширение просвета артерии вследствие изменения структуры или повреждения ее стенок. Распространенность внутричерепных мешотчатых артериальных аневризм (АА) по данным рентгенологических исследований и аутопсий оценивается в 2–5% в популяции без сопутствующих заболеваний [2, 4]. Средний возраст пациентов около 50 лет при соотношении полов в этом возрасте 1:1. В группах населения старше 50 лет АА чаще встречаются у женщин – 2 : 1 [2]. Множественные поражения наблюдаются в 30% от всех неразорвавшихся АА [5].

Большинство АА (по разным оценкам – от 62 до 85%) локализуется в переднем отделе артериального круга основания мозга [6–8]. В этой зоне кровообращения аневризмы локализуются чаще всего в области слияния передней соединительной артерии с передней мозговой артерией, слияния задней соединительной артерии с внутренней сонной артерией и в области разветвления средней мозговой артерии. В проекции вертебробазиллярного бассейна АА чаще диагностируются в области бифуркации основной артерии и в области отхождения верхней мозжечковой и передней нижней мозжечковой артерий [7, 9].

Кроме локализации и множественности, аневризмы можно охарактеризовать с точки зрения их формы и размеров, а также этиологии. Мешотчатые АА являются наиболее распространенным типом интракраниальных аневризм. Они представляют собой округлую выпуклость стенки сосуда с хорошо выраженным куполом и более узкой шейкой, сое-

динящейся с родительским сосудом [10]. По размеру АА делятся на микроаневризмы (до 3 мм), средние (от 4 до 15 мм), крупные (от 16 до 25 мм) и гигантские (более 25 мм). Отдельно рассматриваются микроаневризмы, связанные с хронической гипертензией, также известные как аневризмы Шарко–Бушара. Они чаще всех встречаются в кровеносных сосудах базальных ганглиев, обычно не превышают 0,3 мм [10]. Считается, что аневризмы Шарко–Бушара являются результатом липогиалиноза мелких перфорирующих сосудов (диаметром <300 мкм), вторичного по отношению к хронической, плохо контролируемой гипертензии. Аневризмы Шарко–Бушара склонны к разрыву, что приводит к развитию массивных глубоких внутримозговых кровоизлияний [11].

Особую группу АА составляют аневризмы более 25 мм или гигантские. Несмотря на их “псевдоопухоловое” течение с развитием локального неврологического дефицита, у нелеченых гигантских АА риск разрыва может достигать 50%, а смертность при двухлетнем наблюдении приближается к 100% (от 88 до 100%) [10].

Также отдельную группу АА составляют инфекционные аневризмы. Это редкие воспалительные поражения стенки артериального сосуда, которые составляют 0,7–6,5% от всех внутричерепных аневризм и часто локализуются на дистальных артериальных ветвях [12]. Считается, что наиболее частой причиной их развития является инфекционный эндокардит [13], тогда как проксимальные ветви с большей вероятностью будут поражены инфекцией, распространяющейся при тромбозе кавернозного синуса или базальном менингите [14, 15].

Современный комплекс диагностики интракраниальных аневризм включает в себя три основные методики: цифровую субтракционную ангиографию, КТ-ангиографию и МР-ангиографию. Данные методики, в целом, визуализируют движение контрастного препарата или помеченных

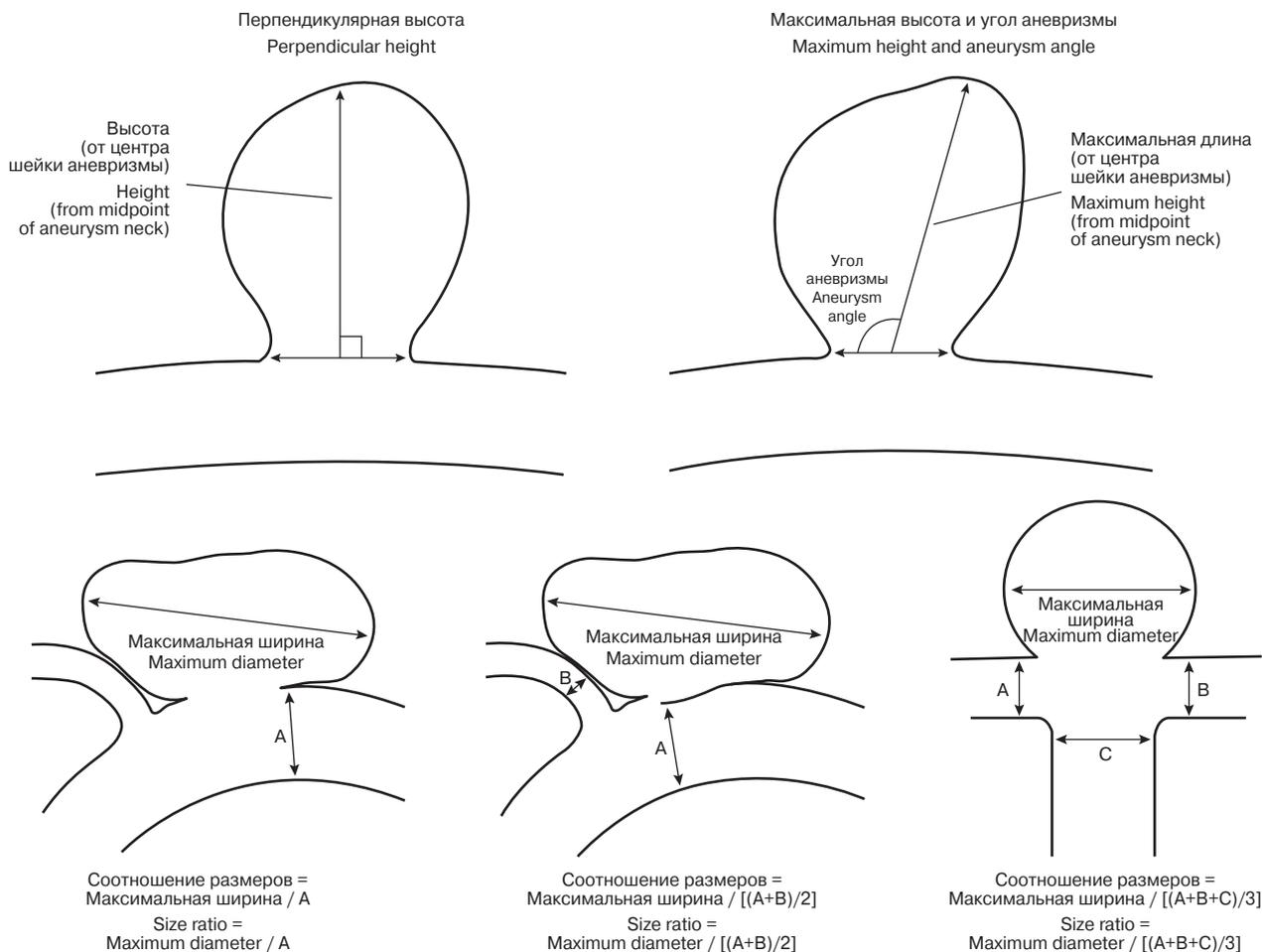
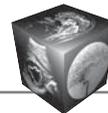


Рис. 1. Пример расчета перпендикулярной высоты, максимальной высоты, угла аневризмы, соотношения размеров (адаптировано из [16]).

Fig. 1. Calculation example for perpendicular height, maximum height, aneurysm angle, size ratio (adapted from [16]).

протонов воды (в случае МР-ангиографии) по кровеносному руслу, хотя формирование регистрируемого сигнала основано на разных физических характеристиках тканей мозга.

При морфометрическом анализе АА оцениваются следующие параметры: 1) максимальный диаметр; 2) угол аневризмы; 3) локализация; 4) диаметр шейки; 5) наличие дочерней аневризмы (<50% размера родительской аневризмы); 6) наличие множественных камер (определяется как >50% размера родительской аневризмы); 7) соотношение сторон (отношение максимальной высоты аневризмы к диаметру шейки); 8) максимальная высота (максимальное измерение от центра шейки аневризмы до купола аневризмы); 9) соотношение размеров (отношение максимального диаметра в любом направлении к диаметру родительского сосуда); 10) диаметр материнского

сосуда; 11) перпендикулярная высота (измерение высоты аневризмы перпендикулярно центру шейки аневризмы к куполу аневризмы; 12) объем аневризмы, рассчитанный по формуле $(4/3)\pi$ (radius A) (radius B) (radius C), где А, В и С – ортогональные измерения (рис. 1) [16].

В последние два десятилетия активно изучаются новые методики оценки АА, основанные на изучении количественных характеристик потока крови с измерением напряжения сдвига стенки аневризмы, а также визуализации самой сосудистой стенки в области мешка АА с помощью современных методик МРТ.

Технология, основанная на измерении потоковых характеристик крови и выраженности показателей напряжения сдвига стенки, требует применения не только современных сканеров, но также и разработки методов компьютерного



моделирования на основе теории вычислительной гидродинамики. До сих пор это остается времязатратным процессом с точки зрения обработки диагностических данных [17]. Моделирование на основе вычислительной гидродинамики должно основываться на целом ряде параметров, в частности на точной геометрии аневризмы, граничных условиях потока крови для конкретного пациента, реальной реологии крови и свойств стенок сосудов. Однако на практике из-за отсутствия указанных данных для конкретного пациента и во избежание высоких вычислительных затрат обычно принимается несколько допущений [18]. Эта практика вызывает опасения по поводу надежности результатов моделирования, влияя на ее внедрение в клинику.

Опуская технические аспекты процесса моделирования потока крови, кратко остановимся на описании некоторых допущений и их влиянии на различные гемодинамические показатели.

Одним из допущений вычислительной гидродинамики, в основе которого лежат данные диагностических изображений, является применение стандартных граничных значений потока крови на входе и выходе из зоны интереса, поскольку в текущей клинической практике измерения указанных показателей для каждого пациента обычно не проводятся. Входные граничные условия потока обычно устанавливаются на основе предположения, что артерия поддерживает определенную скорость потока, скорость или напряжение сдвига стенки в определенном месте. Таким образом, одни и те же граничные условия потока и форма входной волны, обычно измеряемые у здоровых добровольцев, применяются к разным пациентам. Обычно предполагается, что поток на бифуркациях разделяется согласно закону Мюррея, который связывает сечение сосудов с расходом крови, протекающей через него [19, 20]. Однако внутричерепной артериальный кровоток не всегда соответствует этому закону и может варьировать у разных пациентов в зависимости от их возраста, пола, наличия сосудистых заболеваний и конфигурации большого артериального круга основания мозга и даже индивидуальной деятельности.

Для уточнения граничных условий для входящих и исходящих потоков при внутричерепных аневризмах, расположенных в средних мозговых артериях, Н. Rajabzadeh-Oghaz и соавт. (2020) использовали возможности фазоконтрастной МР-ангиографии в количественной оценке кровотока внутричерепных артерий, выполненной на МР-аппарате 7,0 Тл [19]. По мнению авторов, это увеличивает точность построения модели анев-

ризмы, однако доступность таких сканеров на данное время ограничена.

Среди новых методик оценки АА рассматривается **технология визуализации сосудистой стенки с высокой разрешающей способностью на основе МРТ**. В основе метода лежат импульсные последовательности с использованием подавления сигнала от крови, жира и спинномозговой жидкости, между которыми визуализируется сосудистая стенка. Предпочтение отдается МР-томографам с напряженностью магнитного поля 3,0 Тл и выше.

Среди методов визуализации сосудистой стенки можно выделить следующие.

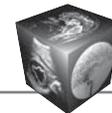
– Использование подавления сигнала от ткани с конкретным временем продольной релаксации (T1) – импульсная последовательность инверсия-восстановление: 180° радиочастотный (РЧ) импульс разворачивает вектор намагниченности в обратном направлении или изменяет фазу продольной намагниченности протонов ткани через время T1 (время инверсии), которое соответствует моменту обращения продольной намагниченности от крови в нуль, подается комбинация 90- и 180-градусных РЧ-импульсов. В итоге МР-сигнал от крови будет подавлен. Считается, что этот метод имеет некоторую зависимость от кровотока с появлением артефактов от медленного тока крови.

– Использование временипролетного эффекта – спиновое эхо: 90° РЧ-импульс изменяет намагниченность крови в сосуде, проходящем в заданном слое ткани. За время до включения 180° РЧ-импульса поток крови с измененной намагниченностью покидает визуализируемый слой, и, следовательно, пришедшие протоны с неизменной намагниченностью не дают МР-сигнала, что в итоге приводит к подавлению сигнала крови.

– Использование предварительного пространственного насыщения протонов (полосы насыщения). В практике МР-сканирования сосудов применяются дополнительные пространственно-селективные РЧ-импульсы и градиентные магнитные поля, которые подавляют МР-сигнал от крови в соседней с зоной интереса области, в результате сигнал от входящей в зону интереса крови в просвете сосуда будет подавлен.

– Метод двойной инверсии-восстановления. Этот метод использует как особенности потока, так и свойства T1 времени релаксации крови для подавления сигнала от нее в просвете сосуда в зоне интереса.

Все перечисленные выше методы используют в основном 2D-технологии МР-сканирования, что накладывает ряд ограничений на пространствен-



ное разрешение и визуализацию мелких объектов. Поэтому при визуализации сосудистой стенки в настоящее время используют специализированные 3D быстрые последовательности (CUBE, VISTA, 3D MVOX, SPACE). Это позволяет получать субмиллиметровые, изотропные 3D-наборы данных, которые можно реконструировать в любой плоскости для визуализации даже небольших и низкоконтрастных элементов без эффектов частичного объема [21].

МРТ с внутривенным введением контрастного препарата может предоставить дополнительную информацию о наличии и характере структурных изменений в самой сосудистой стенке аневризмы. По данным целого ряда авторов, это может являться ключевым фактором в предсказании скорого разрыва аневризмы [22–26].

T. Matsushige и соавт. (2019) получили данные о том, что локальное контрастирование стенки аневризмы при МРТ может указывать на наличие внутрипросветного тромба. В более раннем исследовании было выявлено, что наличие тромба выявляется в большей части ранее разорвавшихся аневризм [27]. Образование тромба может происходить за счет активных клеток грануляционной ткани, образующихся из мягкой мозговой оболочки, в области микроразрыва [28].

N. Larsen и соавт. (2020), а также T. Sato и соавт. (2019) было замечено, что при наличии тромбов может выявляться двухслойное контрастирование стенки аневризмы за счет визуализации накопления контрастного препарата по контуру тромба в просвете аневризмы и в стенке аневризмы, прилегающей к тромбу [29, 30].

Интересным с прогностической и диагностической точки зрения является феномен тонкого периферического контрастирования по всему контуру аневризматического мешка. Некоторые исследователи связывают это с воспалительными процессами в стенке аневризмы – инфильтрация макрофагами, лейкоцитами и тучными клетками в стенки аневризмы, а также процессом неоваскуляризации [29, 31].

Воспалительные клетки вызывают ремоделирование и разрушение стенки аневризмы, что может привести к ее разрыву [32]. В некоторых исследованиях выявляется корреляция между неоваскуляризацией и количеством тучных клеток, которые способствуют неоваскуляризации [33].

В исследовании, в котором для контрастирования стенки аневризмы использовался ферумокситол, D. Hasan и соавт. (2012) выявили, что у 7 из 30 аневризм имело место выраженное раннее поглощение данного контрастного препара-

та. У этих 7 пациентов были клипированы 4 аневризмы, а 3 аневризмы лечились консервативно. Все 3 АА разорвались в течение 6 мес наблюдения. В 53% (16/30) аневризм наблюдалось выраженное поглощение ферумокситола через 72 ч. Из этой группы (16 человек) 8 аневризм были отсечены хирургическим путем и 8 лечились консервативно, при этом в последнем случае ни одна не разорвалась и не увеличилась в размерах через 6 мес. По мнению авторов, ранние изменения МР-сигнала, отмеченные на последовательности T2* градиентное эхо, вызваны повышенным поглощением наночастиц ферумокситола макрофагами, локализованными в стенках аневризмы, что предполагает развитие воспалительного процесса в стенке АА. Эта гипотеза была подтверждена гистологическими исследованиями, поскольку было обнаружено, что воспалительные клетки и молекулы (COX-2, mPGES-1 и макрофаги) значительно активированы в стенках аневризм, где соответственно отражаются ранними изменениями МР-характеристик [34].

Существует мнение о том, что макрофаги могут захватывать и гадолинийсодержащий МР-препарат. Однако в исследовании E. Weng и соавт. (2018), где такое воздействие на макрофаги контрастным препаратом осуществлялось в течение 24 ч, не выявлено данных проявлений [35].

E. Korkmaz и соавт. в 2017 г. обнаружили *vasa vasorum* в аблюминальных слоях сосудистой стенки как неразорвавшейся, так и разорвавшейся интракраниальной аневризмы [36]. Наличие явления гипоксии в стенке аневризмы предполагает развитие компенсаторного ангиогенеза, приводящего к прорастанию *vasa vasorum* в стенку артерии [37]. Хотя *vasa vasorum* присутствовали как в неразорвавшихся, так и в разорвавшихся интракраниальных аневризмах, ультраструктурный анализ этих микрососудов показал поразительную разницу. В разорвавшейся интракраниальной аневризме они демонстрируют наличие пор, которые, по-видимому, действуют как ворота для проникновения в стенку аневризмы воспалительных клеток. Эндотелиальная выстилка этих *vasa vasorum* имела гипертрофированный вид с неровной поверхностью и вакуолями на границах соседних эндотелиальных клеток. Это является признаком повышенной проницаемости эндотелия для циркулирующих липопротеинов, инфильтратов воспалительных клеток и эритроцитов и, возможно, служит в дальнейшем причиной нестабильности стенки интракраниальной аневризмы [36].

В нашем пилотном исследовании, проведенном в НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бур-

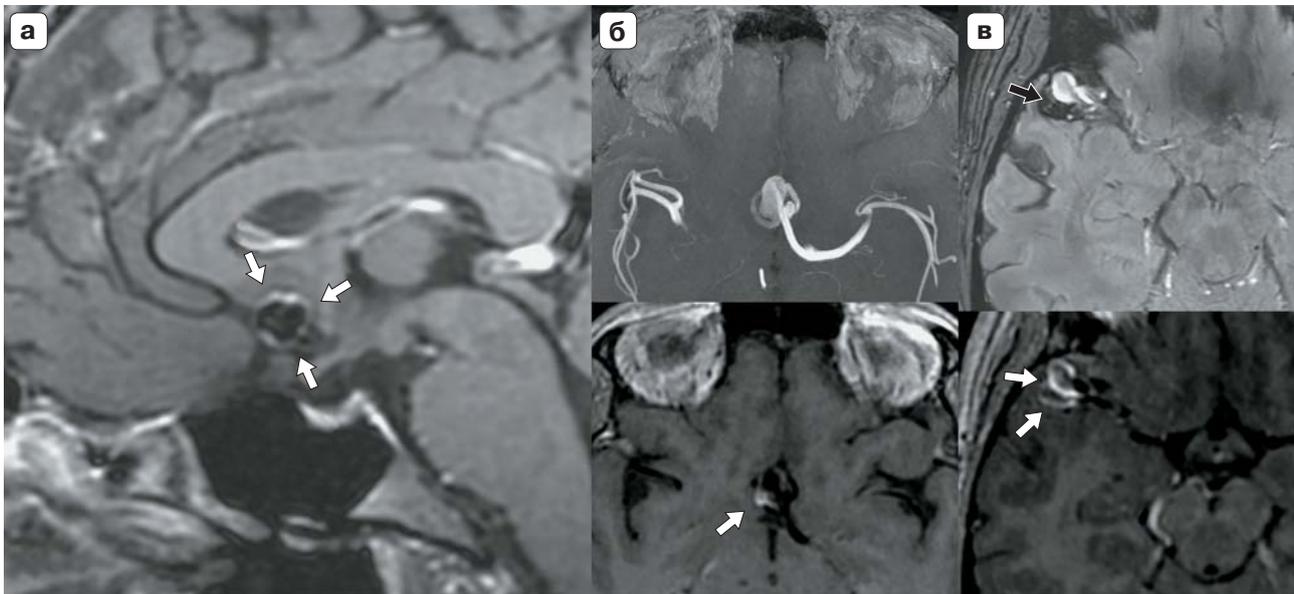
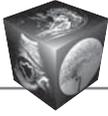


Рис. 2. Разные паттерны контрастирования интракраниальных аневризм. **а** – диффузное циркулярное контрастирование (белые стрелки); **б** – локальное контрастирование (белая стрелка) в пришеечной части аневризмы; **в** – двойное контрастирование (белые стрелки) аневризмы с пристеночным тромбом (черная стрелка).

Fig. 2. Different patterns of contrast enhancement of intracranial aneurysms. **a** – diffuse circular enhancement (white arrows); **б** – local enhancement (white arrow) in the cervical part of the aneurysm; **в** – double contrast enhancement (white arrows) of an aneurysm with parietal thrombus (black arrow).

денко, были также выявлены различные паттерны контрастирования стенки аневризмы, которые будут детально рассмотрены в наших дальнейших публикациях (рис. 2).

Современные литературные данные свидетельствуют о том, что визуализация сосудистой стенки потенциально может предоставить новые данные о патогенезе развития АА и предикторах их разрыва. Изучение и сбор рентгенологических данных разорвавшихся, неразорвавшихся, тромбированных аневризм, а также аневризм с воспалительными изменениями в стенке могут стать важным отправным пунктом в поиске и отборе неинвазивных биомаркеров нестабильности аневризмы. Использование современных диагностических технологий, в частности МРТ высокого разрешения с визуализацией сосудистой стенки, является перспективным направлением в области предоперационной диагностической сосудистой нейровизуализации.

Участие авторов

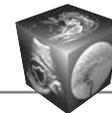
Семин К.С. – написание статьи, сбор данных.
Пронин И.Н. – редакция, дизайн исследования.
Элиава Ш.Ш. – редакция, дизайн исследования.
Коновалов А.Н. – написание статьи, сбор данных.
Баталов А.И. – редакция, дизайн исследования.
Захарова Н.Е. – редакция, дизайн исследования.

Authors' participation

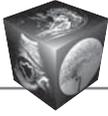
Semin K.S. – writing text, collection of data.
Pronin I.N. – editing, design of the study.
Eliava Sh.Sh. – editing, design of the study.
Konovalov A.N. – writing text, collection of data.
Batalov A.I. – editing, design of the study.
Zakharova N.E. – editing, design of the study.

Список литературы [References]

1. Etminan N., Chang H.S., Hackenberg K. et al. Worldwide Incidence of Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage According to Region, Time Period, Blood Pressure, and Smoking Prevalence in the Population: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Neurol.* 2019; 76 (5): 588–597. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2019.0006>
2. Robert J.S., Christopher S.O., Guy R. Unruptured intracranial aneurysms [media]. UpToDate Feb 11, 2020. Accessed December 21. https://www.uptodate.com/contents/unruptured-intracranial-aneurysms?search=Unruptured%20intracranial%20aneurysms&source=search_result&selectedTitle=1~150&usage_type=default&display_rank=1
3. Oppenheim C., Domigo V., Gauvrit J.Y. et al. Subarachnoid hemorrhage as the initial presentation of dural sinus thrombosis. *Am. J. Neuroradiol.* 2005; 26 (3): 614–617.
4. Vernooij M.W., Ikram M.A., Tanghe H.L. et al. Incidental findings on brain MRI in the general population. *N. Engl. J. Med.* 2007; 357 (18): 1821–1828. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa070972>
5. Rosi Junior J., Gomes dos Santos A., da Silva S.A. et al. Multiple and mirror intracranial aneurysms: study of



- prevalence and associated risk factors. *Br. J. Neurosurg.* 2021; 35 (6): 780–784.
<https://doi.org/10.1080/02688697.2020.1817849>
6. Kassell N.F., Torner J.C., Haley E.C. et al. The International Cooperative Study on the Timing of Aneurysm Surgery. Part 1: Overall management results. *J. Neurosurg.* 1990; 73 (1): 18–36. <https://doi.org/10.3171/jns.1990.73.1.0018>
 7. Schievink W.I. Intracranial aneurysms. *N. Engl. J. Med.* 1997; 336 (1): 28–40.
<https://doi.org/10.1056/NEJM199701023360106>
 8. Rosi J., Telles J.P.M., da Silva S.A. et al. Epidemiological analysis of 1404 patients with intracranial aneurysm followed in a single Brazilian institution. *Surg. Neurol. Int.* 2019; 10: 249. https://doi.org/10.25259/SNI_443_2019
 9. Thompson B.G., Brown R.D., Amin-Hanjani S. et al. Guidelines for the Management of Patients With Unruptured Intracranial Aneurysms: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* 2015; 46 (8): 2368–2400. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000070>
 10. Zhao J., Lin H., Summers R. et al. Current Treatment Strategies for Intracranial Aneurysms: An Overview. *Angiology.* 2018; 69 (1): 17–30.
<https://doi.org/10.1177/0003319717700503>
 11. Loh C., Vadera S. Charcot-Bouchard aneurysm [media]. *Radiopaedia.org.* 2015. Accessed January 2022.
<https://doi.org/10.53347/rid-40553>
 12. Kuo I., Long T., Nguyen N. et al. Ruptured intracranial mycotic aneurysm in infective endocarditis: A natural history. *Case Rep. Med.* 2010; 2010: 168408.
<https://doi.org/10.1155/2010/168408>
 13. Bohmfalk G.L., Story J.L., Wissinger J.P. et al. Bacterial intracranial aneurysm. *J. Neurosurg.* 1978; 48 (3): 369–382. <https://doi.org/10.3171/jns.1978.48.3.0369>
 14. Wang X., Chen G., Li M. et al. Rapid formation and rupture of an infectious basilar artery aneurysm from meningitis following suprasellar region meningioma removal: A case report. *BMC Neurol.* 2020; 20 (1).
<https://doi.org/10.1186/s12883-020-01673-9>
 15. Tambuzzi S., Boracchi M., Maciocco F. et al. Fungal aneurism of the right posterior inferior cerebellar artery (PICA). *Med. Mycol. Case Rep.* 2019; 26: 25–27.
<https://doi.org/10.1016/j.mmcr.2019.09.004>
 16. Mocco J., Brown R.D., Torner J.C. et al. Aneurysm morphology and prediction of rupture: An international study of unruptured intracranial aneurysms analysis. *Neurosurgery.* 2018; 82 (4): 491–495.
<https://doi.org/10.1093/neuros/nyx226>
 17. Lee U.Y., Jung J., Kwak H.S. et al. Wall shear stress and flow patterns in unruptured and ruptured anterior communicating artery aneurysms using computational fluid dynamics. *J. Korean Neurosurg. Soc.* 2018; 61 (6): 689–699. <https://doi.org/10.3340/jkns.2018.0155>
 18. Shiba M., Ishida F., Furukawa K. et al. Relationships of Morphologic Parameters and Hemodynamic Parameters Determined by Computational Fluid Dynamics Analysis with the Severity of Subarachnoid Hemorrhage. *J. Neuroend. Ther.* 2017; 11 (10): 512–519.
<https://doi.org/10.5797/jnet.0a.2016-0099>
 19. Rajabzadeh-Oghaz H., van Ooij P., Veeturi S.S. et al. Inter-patient variations in flow boundary conditions at middle cerebral artery from 7T PC-MRI and influence on Computational Fluid Dynamics of intracranial aneurysms. *Comput. Biol. Med.* 2020; 120: 103759.
<https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.103759>
 20. Murray C.D. The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries. *J. Gen. Physiol.* 1926; 9 (6): 835–841.
 21. Majigsuren M., Abe T., Kageji T. et al. Comparison of brain tumor contrast-enhancement on t1-cube and 3d-sprg images. *Magn. Reson. Med. Sci.* 2016; 15 (1): 34–40.
<https://doi.org/10.2463/mrms.2014-0129>
 22. Hartman J.B., Watase H., Sun J. et al. Intracranial aneurysms at higher clinical risk for rupture demonstrate increased wall enhancement and thinning on multicontrast 3D vessel wall MRI. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1096). <https://doi.org/10.1259/bjr.20180950>
 23. Lv N., Karmonik C., Chen S. et al. Relationship between Aneurysm Wall Enhancement in Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging and Rupture Risk of Unruptured Intracranial Aneurysms. *Neurosurgery.* 2019; 84 (6): E385–E391. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyy310>
 24. Omodaka S., Endo H., Niizuma K. et al. Circumferential wall enhancement on magnetic resonance imaging is useful to identify rupture site in patients with multiple cerebral aneurysms. *Neurosurgery.* 2018; 82 (5): 638–644.
<https://doi.org/10.1093/neuros/nyx267>
 25. Wang G.X., Wen L., Lei S. et al. Wall enhancement ratio and partial wall enhancement on MRI associated with the rupture of intracranial aneurysms. *J. Neurointerv. Surg.* 2018; 10 (6): 569–573.
<https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2017-013308>
 26. Matsushige T., Shimonaga K., Mizoue T. et al. Lessons from vessel wall imaging of intracranial aneurysms: New era of aneurysm evaluation beyond morphology. *Neurol. Med. Chir.* 2019; 59 (11): 407–414.
<https://doi.org/10.2176/nmc.ra.2019-0103>
 27. Frösen J., Piippo A., Paetau A. et al. Remodeling of saccular cerebral artery aneurysm wall is associated with rupture: Histological analysis of 24 unruptured and 42 ruptured cases. *Stroke.* 2004; 35 (10): 2287–2293.
<https://doi.org/10.1161/01.STR.0000140636.30204.da>
 28. Медведев Ю.А., Мацко Д.Е. Аневризмы и пороки развития сосудов головного мозга. Этиология. Патогенез. Классификация. Патологическая анатомия: РНХИ, 1993. Medvedev Yu.A., Matsko D.E. Aneurysms and malformations of cerebral vessels. Etiology. Pathogenesis. Classification. Pathological anatomy: RNHI, 1993. (In Russian)
 29. Larsen N., Flüh C., Saalfeld S. et al. Multimodal validation of focal enhancement in intracranial aneurysms as a surrogate marker for aneurysm instability. *Neuroradiology.* 2020; 62 (12): 1627–1635.
<https://doi.org/10.1007/s00234-020-02498-6>
 30. Sato T., Matsushige T., Chen B. et al. Wall contrast enhancement of thrombosed intracranial aneurysms at 7T MRI. *Am. J. Neuroradiol.* 2019; 40 (7): 1106–1111.
<https://doi.org/10.3174/ajnr.A6084>
 31. Samaniego E.A., Roa J.A., Hasan D. Vessel wall imaging in intracranial aneurysms. *J. Neurointerv. Surg.* 2019; 11 (11): 1105–1112.
<https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2019-014938>
 32. Hoh B.L., Hosaka K., Downes D.P. et al. Stromal cell-derived factor-1 promoted angiogenesis and inflammatory cell infiltration in aneurysm walls: Laboratory investigation. *J. Neurosurg.* 2014; 120 (1): 73–86.
<https://doi.org/10.3171/2013.9.JNS122074>



33. Ollikainen E., Tulamo R., Frösen J. et al. Mast Cells, Neovascularization, and Microhemorrhages are Associated With Saccular Intracranial Artery Aneurysm Wall Remodeling. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 2014; 73 (9): 855–864. <https://academic.oup.com/jnen/article/73/9/855/2917690>
34. Hasan D., Chalouhi N., Jabbour P. et al. Early change in ferumoxytol-enhanced magnetic resonance imaging signal suggests unstable human cerebral aneurysm: A pilot study. *Stroke.* 2012; 43 (12): 3258–3265. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.112.673400>
35. Weng T.I., Chen H.J., Lu C.W. et al. Exposure of Macrophages to Low-Dose Gadolinium-Based Contrast Medium: Impact on Oxidative Stress and Cytokines Production. *Contrast. Media Mol. Imaging.* 2018; 2018:3535769. <https://doi.org/10.1155/2018/3535769>
36. Korkmaz E., Kleinloog R., Verweij B.H. et al. Comparative ultrastructural and stereological analyses of unruptured and ruptured saccular intracranial aneurysms. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 2017; 76 (10): 908–916. <https://doi.org/10.1093/jnen/nlx075>
37. Hickey M.M., Simon M.C. Regulation of Angiogenesis by Hypoxia and Hypoxia-Inducible Factors. *Curr. Top. Dev. Biol.* 2006; 76: 217–257. [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(06\)76007-0](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(06)76007-0)

Для корреспонденции*: Семин Кирилл Сергеевич – тел. +7-916-586-49-88. E-mail: kirillsemin1@rambler.ru

Семин Кирилл Сергеевич – аспирант отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1897-9312>. E-mail: kirillsemin1@rambler.ru

Пронин Игорь Николаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4480-0275>. E-mail: pronin@nsi.ru

Элиава Шалва Шалвович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением сосудистой нейрохирургии НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6103-9329>. E-mail: eliava@nsi.ru

Коновалов Антон Николаевич – канд. мед. наук, младший научный сотрудник, врач-нейрохирург НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0932-4752>. E-mail: Ankonovalov@nsi.ru

Баталов Артем Игоревич – канд. мед. наук, младший научный сотрудник, врач-рентгенолог рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8924-7346>. E-mail: abatalov@nsi.ru

Захарова Наталья Евгеньевна – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, врач-рентгенолог рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>. E-mail: nzakharova@nsi.ru

Contact*: Kirill S. Semin – phone: +7-916-586-49-88. E-mail: kirillsemin1@rambler.ru

Kirill S. Semin – post-graduate student Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1897-9312>. E-mail: kirillsemin1@rambler.ru

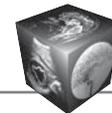
Igor N. Pronin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4480-0275>. E-mail: pronin@nsi.ru

Shalva Sh. Eliava – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the neurovascular Department N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6103-9329>. E-mail: eliava@nsi.ru

Anton N. Konovalov – Cand. of Sci. (Med.), neurosurgeon of the neurovascular Department, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0932-4752>. E-mail: Ankonovalov@nsi.ru

Artem I. Batalov – Cand. of Sci. (Med.), researcher of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8924-7346>. E-mail: abatalov@nsi.ru

Natalia E. Zakharova – Doct. of Sci. (Med.), Professor of Russian Academy of Science, professor of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>. E-mail: nzakharova@nsi.ru



Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1163>

МРТ в диагностике рекоарктации аорты в отдаленном периоде после операции (случай из практики)

© Шляппо М.А. *, Юрпольская Л.А., Макаренко В.Н., Дорофеев А.В.

ФГБУ «НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России; 121552 Москва, Рублевское шоссе, д. 135, Российская Федерация

Введение. Коарктация аорты относится к известным и хорошо изученным врожденным порокам сердечно-сосудистой системы. Успехи сердечно-сосудистой хирургии значительно повысили выживаемость пациентов. Но риски серьезных сердечно-сосудистых осложнений в отдаленном послеоперационном периоде остаются высокими. Одним из значимых осложнений остается рекоарктация – повторное сужение в области операции, которая может инициировать другие осложнения.

Цель исследования: на клиническом примере комплексного МР-обследования представить особенности кровотока в аорте у пациентки с коарктацией аорты в отдаленном послеоперационном периоде.

Материал и методы. Пациентка 12 лет, в возрасте 6 лет ей была выполнена баллонная ангиопластика коарктации аорты. По эхокардиографическим данным выявлены остаточный градиент на перешейке аорты и расширение нисходящего отдела аорты. Для уточнения диагноза проведена МРТ-ангиография сердца с внутривенным контрастированием и использованием кардиопакета для 4D-анализа потока (4D-flow).

Результаты и обсуждение. По данным МРТ-исследования выявлено сужение дистального отдела дуги аорты с расширением аорты после отхождения левой подключичной артерии, что подтверждается полученными абсолютными значениями показателей кровотока. МР-ангиография дуги аорты позволила наглядно определить “готическую” форму дуги аорты и представить 3D-реконструкции. На 4D-картах потока наблюдались ускорение кровотока в систолу в области сужения аорты, дополнительный вихревой поток ниже области сужения аорты и спиральный поток в нисходящем отделе аорты, который сохранялся на протяжении всей диастолы.

Одним из объяснений аномального спирального потока в нисходящей грудной аорте может быть наличие “готической” дуги аорты. Также остаточная гипоплазия дуги аорты и сужение перешейка являются ведущими параметрами, влияющими на патофизиологию изменения артериального давления при физических нагрузках

Заключение. МР-пакет 4D-flow в естественных условиях позволяет детально изучить геометрию потока и показатели кровотока, получить развернутую картину состояния аорты, что дает потенциальные преимущества в комплексном обследовании пациентов с коарктацией аорты при динамическом наблюдении.

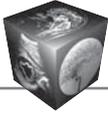
Ключевые слова: коарктация аорты, рекоарктация аорты, кардио-МРТ, 4D-flow, визуализация, лучевая диагностика

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шляппо М.А., Юрпольская Л.А., Макаренко В.Н., Дорофеев А.В. МРТ в диагностике рекоарктации аорты в отдаленном периоде после операции (случай из практики). *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 19–24. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1163>

Поступила в редакцию: 06.04.2022. **Принята к печати:** 26.09.2022. **Опубликована online:** 28.12.2022.



MRI visualization of aortic recoarctation in the long-term period after surgery (case report)

© Maria A. Shlyappo*, Lyudmila A. Yurpolskaya, Vladimir N. Makarenko, Aleksey V. Dorofeev

A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 135, Rublevskoye shosse, Moscow 121552, Russian Federation

Case study. Aortic coarctation refers to well-known and well-studied congenital malformations of the cardiovascular system. The success of cardiovascular surgery significantly increased the survival rate of patients, but, unfortunately, did not reduce the risks of serious cardiovascular complications in the long-term postoperative period. One of the significant complications remains recoarctation – repeated narrowing in the area of surgery, which can initiate other complications.

The purpose of the study: to present the features of blood flow in the aorta in a patient with aortic coarctation in the long-term postoperative period on the clinical example of a complex MR examination.

Material and methods. A 12-year-old patient, at the age of 6, she underwent balloon angioplasty of aortic coarctation. Echocardiographic data revealed a residual gradient at the isthmus of the aorta and expansion of the descending aorta. To clarify the diagnosis, MRI angiography of the heart was performed with intravenous contrast and the use of a cardiopackage for 4D flow analysis (4D flow).

Results and discussion. According to the MRI study, a narrowing of the distal aortic arch with aortic dilation after the departure of the left subclavian artery was revealed, which is confirmed by the obtained absolute values of blood flow indicators. MR-angiography of the aortic arch made it possible to visually determine the “gothic” shape of the aortic arch and present 3D reconstructions. 4D flow maps showed acceleration of blood flow to the systole in the area of aortic narrowing, additional vortex flow below the area of aortic narrowing and spiral flow in the descending aorta, which persisted throughout the diastole.

One explanation for the abnormal spiral flow in the descending thoracic aorta may be the presence of a “gothic” aortic arch. Also, residual hypoplasia of the aortic arch and narrowing of the isthmus are the leading parameters affecting the pathophysiology of changes in blood pressure during exercise.

Conclusion. The 4D-flow MR package in vivo makes it possible to study the flow geometry and blood flow parameters in detail, to obtain a detailed picture of the aortic condition, which gives potential advantages in a comprehensive examination of patients with aortic coarctation under dynamic observation.

Keywords: aorta coarctation, aorta recoarctation, cardio MRI, 4D-flow, visualization, radiology

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Shlyappo M.A., Yurpolskaya L.A., Makarenko V.N., Dorofeev A.V. MRI visualization of aortic recoarctation in the long-term period after surgery (case report). *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 19–24. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1163>

Received: 06.04.2022.

Accepted for publication: 26.09.2022.

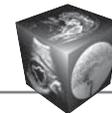
Published online: 28.12.2022.

Введение

Коарктация аорты относится к известным и хорошо изученным врожденным порокам сердца, требующим хирургической коррекции. Успехи сердечно-сосудистой хирургии значительно повысили выживаемость пациентов. Но риски серьезных сердечно-сосудистых осложнений в отдаленном послеоперационном периоде остаются высокими. К основным проблемам в отдаленные сроки после операции в раннем детском возрасте относят рекоарктацию, аневризму аорты, артериальную гипертензию, миокардиальные и эндотелиальные дисфункции, цереброваскулярные и когнитивные нарушения. Наиболее значимым осложнением является рекоарктация – повторное сужение в области операции, которое встречается у 3–31%

пациентов [1]. Выделяют несколько возможных причин ее развития: отсутствие роста анастомоза, рубцевание анастомоза, некроз интимы аорты, не устраненная гипоплазия дуги аорты и турбулентный кровоток в области анастомоза [2]. Отмечается, что малая масса тела ребенка (менее 3,8 кг) и возраст новорожденного (менее 45 дней жизни) на момент первичной операции относятся к факторам риска рекоарктации аорты у детей с хирургически устраненной коарктацией на первом году жизни [1, 3].

Сложность рекоарктации заключается в последующей инициации осложнений. Затрудненный ток крови через суженный участок приводит к возрастанию артериального давления в аорте и ее ветвях выше места сужения и понижению давле-



ния ниже этой области. В свою очередь развивается синдром артериальной гипертензии в сосудах головного мозга и верхней половине тела, что приводит к ряду церебральных симптомов. Вследствие этого длительное наблюдение за пациентами после операции с детальным изучением структурно-динамических особенностей аорты приобретает важное значение. МРТ с внутривенным болюсным контрастированием и современные возможности программ постобработки изображений позволяют оценить анатомию дуги аорты, определяя риск развития осложнений в отдаленном послеоперационном периоде.

Цель исследования

На клиническом примере комплексного МР-обследования представить особенности кровотока в аорте у пациентки с коарктацией аорты в отдаленном послеоперационном периоде.

Клиническое наблюдение

Пациентка К., 12 лет, поступила в НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева Минздрава России с жалобами на периодические головные боли, на повышенную утомляемость, боли в нижних конечностях по ночам. Со слов матери, у ребенка выслушивался шум в области сердца в возрасте около года. В возрасте 6 лет ребенку по месту жительства была выполнена баллонная ангиопластика коарктации аорты. Ранний послеоперационный период протекал без осложнений. Систематически наблюдалась кардиологом, проводилось эхокардиографическое исследование. В возрасте 11 лет по данным эхокардиографии отмечено увеличение градиента на перешейке аорты. Пациентка направлена в НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева Минздрава России для дообследования и решения вопроса об оперативном лечении.

При объективном обследовании: пациентка нормостенического телосложения, из особенностей – различное давление на руках (на правой руке – до 120/79 мм рт.ст., на левой – до 106/76 мм рт.ст.) и ногах (на правой ноге – 100/60 мм рт.ст., на левой ноге – 90/60 мм рт.ст.). По эхокардиографическим данным выявлены остаточный градиент на перешейке аорты и расширение нисходящего отдела аорты.

Для уточнения диагноза проведена МРТ-ангиография сердца с внутривенным контрастированием гадолиний-содержащим веществом и использованием кардиопакета для 4D-анализа потока (4D-flow).

По данным МРТ-исследования определена анатомия аорты. Восходящий отдел аорты на уровне бифуркации ствола легочной артерии размером 20 мм, между левой общей сонной артерией и левой подключичной артерией (ЛПКА) диаметр аорты до 12 мм, после отхождения ЛПКА отмечается расширение аорты до 20 мм на протяжении 3,5 мм. Нисходящий отдел аорты на

уровне диафрагмы – 17 мм (рис. 1а–в). МР-ангиография дуги аорты позволила наглядно определить остроугольную “готическую” конфигурацию дуги аорты и представить 3D-реконструкции (рис. 1г–е).

Сократительная способность желудочков не изменена, отмечались невыраженные изменения миокарда левого желудочка в виде единичных очагов интрамиокардиального накопления гадолиний-содержащего препарата на базальном уровне левого желудочка (неишемического генеза). По 2D-фазово-контрастным изображениям поперечных срезов аорты на уровне разных зон интереса выявлено максимальное увеличение пиковой скорости в области перешейка аорты до 185 см/с. В результате анализа геометрии кровотока на полученных 4D-картах потока было выявлено ускорение кровотока в систолу в области сужения аорты, а также отмечался дополнительный вихревой поток ниже области сужения аорты и спиральный поток в нисходящем отделе аорты, который сохранялся на протяжении всей диастолы (рис. 2).

После проведенного обследования пациентке подбрана медикаментозная терапия и рекомендовано дальнейшее наблюдение.

Обсуждение

Одним из объяснений такого аномального спирального потока в нисходящей грудной аорте может быть наличие остроугольной “готической” дуги аорты. “Готическая” конфигурация за счет резко выраженного угла или увеличенного отношения высоты дуги к ширине аорты придает более высокую жесткость и низкую растяжимость по сравнению с нормальной дугой “романского” вида [4]. С учетом описанной в литературе связи между геометрией дуги и артериальной гипертензией, возможно, наличие выраженного аномального спирального кровотока в нисходящей аорте связано с развитием системной артериальной гипертензии [5]. Многие исследователи настаивают, что устранение сужения в аорте не восстанавливает физиологическую гемодинамику в аорте, хотя градиент давления на перешейке значительно снижается [6]. Кроме того, гемодинамические изменения у таких пациентов не локализируются в области перешейка аорты, а распространяются на весь сосуд, как видно и по представленной пациентке. По международным данным остаточная гипоплазия дуги аорты и сужение перешейка являются ведущими параметрами, влияющими на патофизиологию изменения артериального давления при физических нагрузках [7].

В связи с высоким риском развития реобструкции аорты и угрозой формирования артериальной гипертензии пациентам, перенесшим операцию по устранению коарктации аорты, рекомендуется

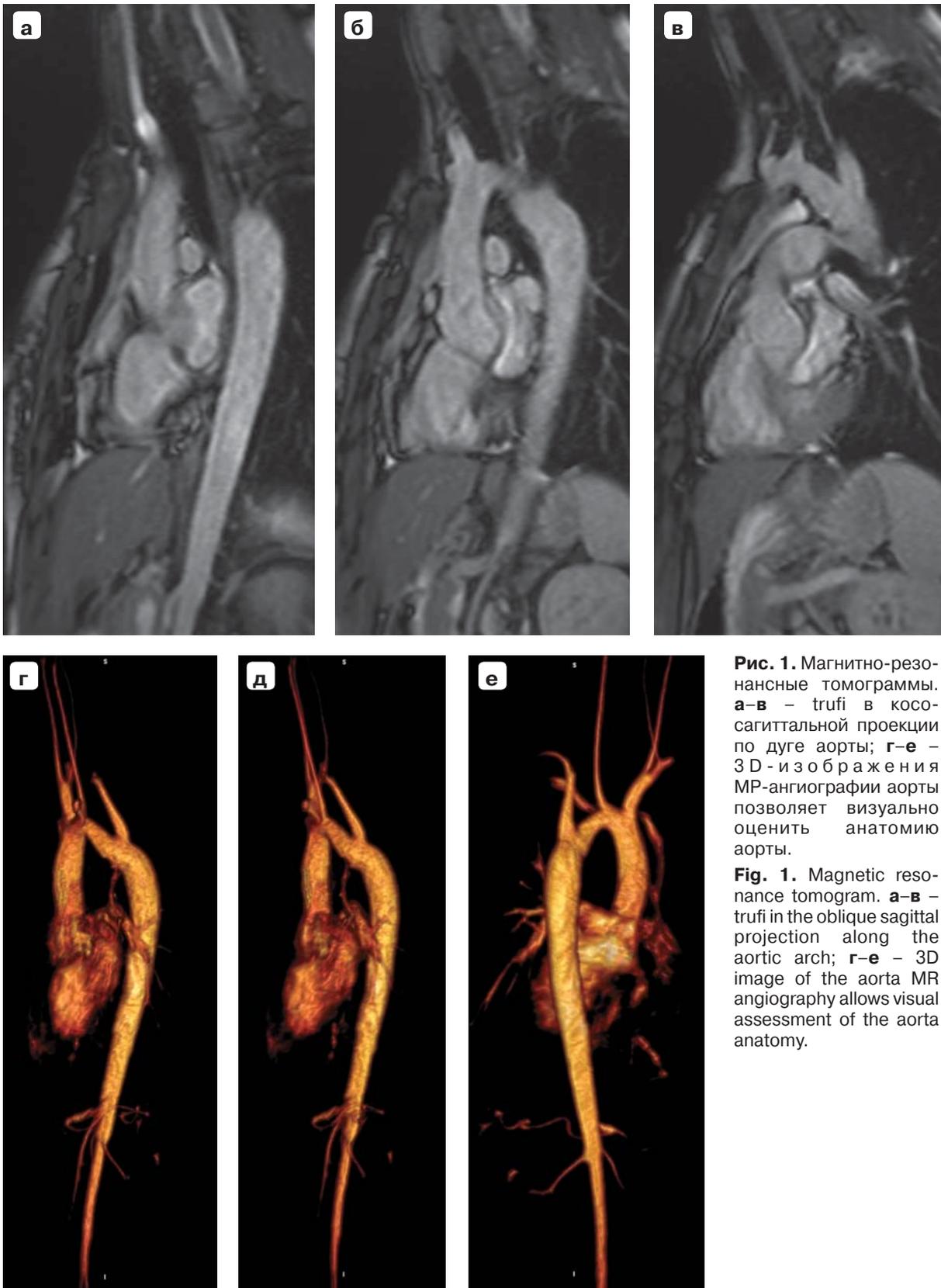


Рис. 1. Магнитно-резонансные томограммы. **а-в** – трюфи в косо-сагиттальной проекции по дуге аорты; **г-е** – 3D-изображения МР-ангиографии аорты позволяет визуально оценить анатомию аорты.

Fig. 1. Magnetic resonance tomogram. **a-b** – trufi in the oblique sagittal projection along the aortic arch; **г-e** – 3D image of the aorta MR angiography allows visual assessment of the aorta anatomy.

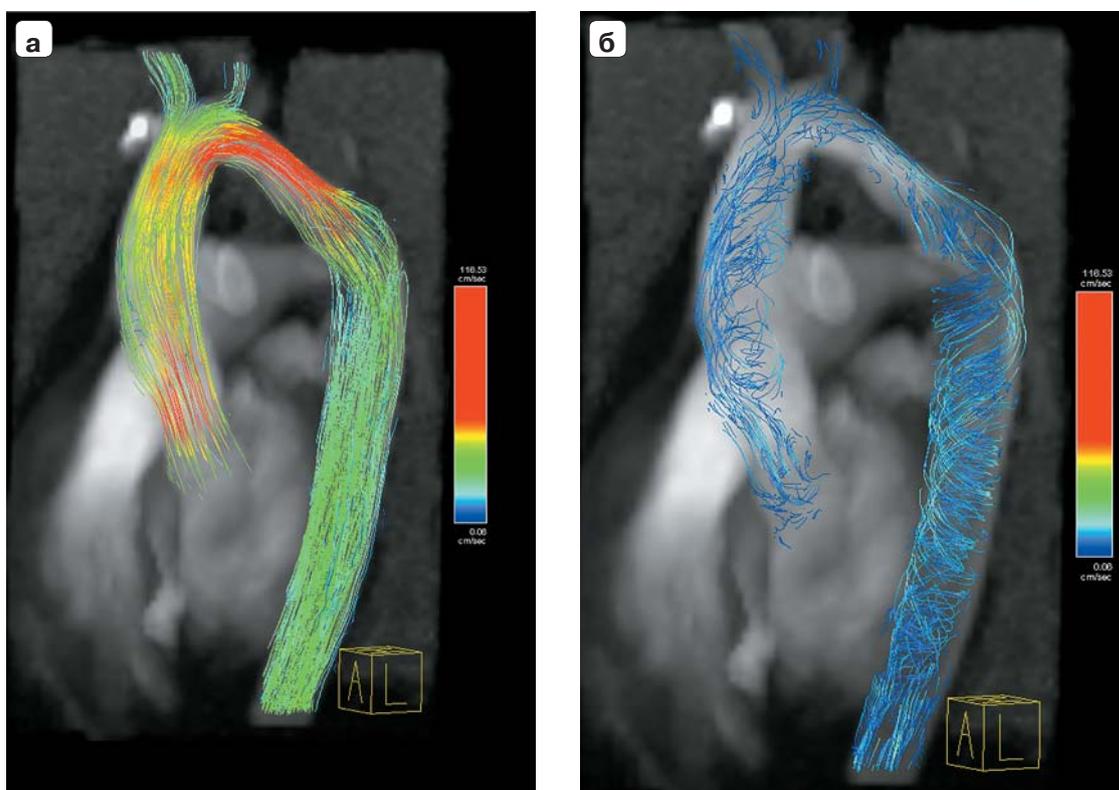
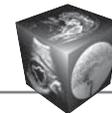


Рис. 2. МР-данные 4D-цветового картирования скорости и распределения линий потока. **а** – в систолу желудочков отмечается увеличение скорости потока в восходящем отделе аорты и перешейке (наиболее высокая скорость обозначена красным цветом); **б** – в диастолу желудочков сохраняется спиральный поток в нисходящей аорте на протяжении всей диастолы.

Fig. 2. MRI 4D color mapping of velocity and flow line distribution. **a** – in the ventricular systole, there is an increase in the flow velocity in the ascending aorta and isthmus (the highest velocity is indicated in red); **b** – in the ventricular diastole a spiral flow is maintained in the descending aorta throughout the entire diastole.

пожизненное наблюдение кардиологами с определением сократительной способности миокарда, размеров и конфигурации аорты. В связи с этим перспективным выглядит использование программы МР-4D-картирования потока “4D-Flow” для определения патофизиологических состояний, лежащих в основе осложнений после коррекции коарктации аорты, что может в будущем помочь в определении интервалов наблюдения и тактики ведения пациентов после коррекции коарктации аорты [6].

Заключение

Несмотря на то что традиционные методы визуализации (ЭхоКГ и МСКТ) играют ведущую роль в диагностике патологии аорты, возрастает роль МРТ в динамическом наблюдении у пациентов после коррекции коарктации аорты. МР-пакет 4D-flow в естественных условиях позволяет детально изучить геометрию потока и показатели кровотока, получить развернутую картину состоя-

ния аорты, что дает потенциальные преимущества в комплексном обследовании пациентов с коарктацией аорты при динамическом наблюдении.

Участие авторов

Шляппо М.А. – сбор и обработка материала; концепция исследования, написание текста и подготовка иллюстраций.

Юрпольская Л.А. – концепция и дизайн исследования, расчет 4D-flow, редактирование текста.

Макаренко В.Н. – утверждение окончательного варианта.

Дорофеев А.В. – обеспечение проведения исследований.

Authors participation

Shlyappo M.A. – collection and processing of material; research concept, text writing and preparation of illustrations.

Yurpolskaya L.A. – research concept, 4D-flow calculation, text editing.

Makarenko V.N. – approval of the final version.

Dorofeev A.V. – research support.



Список литературы

1. Левченко Е.Г., Свободов А.А. Резекция коарктации аорты у детей: проблемы в отдаленном периоде. *Сердечно-сосудистые заболевания. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН*. 2018; 19 (3): 271–279. <http://doi.org/10.24022/1810-0694-2018-19-3-271-279>
2. Ильин А.С., Теплов П.В., Сакович В.А. Коарктация аорты как патология сердечно-сосудистой системы. Наши возможности в хирургии. *Сибирское медицинское обозрение*. 2018; 3: 24–33. <http://doi.org/10.20333/2500136-2018-3-24-33>
3. Dias M.Q., Barros A., Leite-Moreira A., Miranda J.O. Risk factors for recoarctation and mortality in infants submitted to aortic coarctation repair: a systematic review. *Pediatr. Cardiol.* 2020; 41 (3): 561–575. <http://doi.org/10.1007/s00246-020-02319-w>
4. Dijkema E.J., Leiner T., Grotenhuis H.B. Diagnosis, imaging and clinical management of aortic coarctation. *Heart*. 2017; 103: 1148–55. <http://doi.org/10.1136/heartjnl2017-311173>
5. Hope M.D., Meadows A.K., Hope T.A. et al. Clinical evaluation of aortic coarctation with 4D flow MR imaging. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2010; 31 (3): 711–718. <http://doi.org/10.1002/jmri.22083>
6. Yurpolskaya L.A., Shlyappo M.A., Makarenko V.N., Svobodov A.A., Levchenko E.G., Makarenko M.V. et al. 4D FLOW Magnetic Resonance Imaging in the Study of Blood Flow in Patients With Aortic Coarctation in the Long-Term After Surgery. *Kardiologiya*. 2020; 60 (8): 54–64. (In Russian)
7. Ntsinjana H.N., Biglino G., Capelli C. et al. Aortic arch shape is not associated with hypertensive response to exercise in patients with repaired congenital heart diseases. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2013; 15 (1): 101. <http://doi.org/10.1186/1532-429X-15-101>

References

1. Levchenko E.G., Svobodov A.A. Resection of coarctation of the aorta in children: the problem in the long term. *Bulletin of Bakoulev Center for Cardiovascular Diseases*. 2018; 19 (3): 271–279. <http://doi.org/10.24022/1810-0694-2018-19-3-271-279> (In Russian)
2. Ilin A.S., Teplov P.V., Sakovich V.A. Aorta coarctation as a pathology of cardiovascular system. Our potential in surgery. *Siberian Medical Review*. 2018; 3: 24–33. <http://doi.org/10.20333/2500136-2018-3-24-33> (In Russian)
3. Dias M.Q., Barros A., Leite-Moreira A., Miranda J.O. Risk factors for recoarctation and mortality in infants submitted to aortic coarctation repair: a systematic review. *Pediatr. Cardiol.* 2020; 41 (3): 561–575. <http://doi.org/10.1007/s00246-020-02319-w>
4. Dijkema E.J., Leiner T., Grotenhuis H.B. Diagnosis, imaging and clinical management of aortic coarctation. *Heart*. 2017; 103: 1148–55. <http://doi.org/10.1136/heartjnl2017-311173>
5. Hope M.D., Meadows A.K., Hope T.A. et al. Clinical evaluation of aortic coarctation with 4D flow MR imaging. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2010; 31 (3): 711–718. <http://doi.org/10.1002/jmri.22083>
6. Yurpolskaya L.A., Shlyappo M.A., Makarenko V.N., Svobodov A.A., Levchenko E.G., Makarenko M.V. et al. 4D FLOW Magnetic Resonance Imaging in the Study of Blood Flow in Patients With Aortic Coarctation in the Long-Term After Surgery. *Kardiologiya*. 2020; 60 (8): 54–64. (In Russian)
7. Ntsinjana H.N., Biglino G., Capelli C. et al. Aortic arch shape is not associated with hypertensive response to exercise in patients with repaired congenital heart diseases. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2013; 15 (1): 101. <http://doi.org/10.1186/1532-429X-15-101>

Для корреспонденции*: Шляппо Мария Александровна – mariyashlyappo@mail.ru

Шляппо Мария Александровна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог отдела рентгенодиагностики, КТ и МРТ ФГБУ «НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6264-8919>

Юрпольская Людмила Анатольевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела рентгенодиагностики, КТ и МРТ ФГБУ «НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7780-2405>;

Макаренко Владимир Николаевич – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела рентгенодиагностики, КТ и МРТ ФГБУ «НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8700-7592>;

Дорофеев Алексей Владимирович – канд. мед. наук, заведующий отделом рентгенодиагностики, КТ и МРТ ФГБУ «НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9458-4208>.

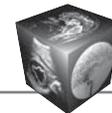
Contact*: Maria A. Shlyappo – mariyashlyappo@mail.ru

Maria A. Shlyappo – Cand. of Sci. (Med.), radiologist of department of X-ray diagnostics, CT and MRI, A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6264-8919>

Lyudmila A. Yurpolskaya – Doct. of Sci. (Med.), lead researcher of department of X-ray diagnostics, CT and MRI, A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7780-2405>.

Vladimir N. Makarenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of department of X-ray diagnostics, CT and MRI, A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8700-7592>.

Aleksey V. Dorofeev – Cand. of Sci. (Med.), Chief of the department of X-ray diagnostics, CT and MRI, A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9458-4208>



Молочная железа. Специальная сессия под редакцией профессора С.С. Багненко
Breast. Special session edited by professor S.S. Bagnenko

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1152>

Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография – инструмент точной диагностики онкопатологии на фоне плотной ткани молочной железы

© Чёрная А.В.* , Ульянова Р.Х., Багненко С.С., Криворотько П.В.,
Артемяева А.С., Жильцова Е.К., Новиков С.Н., Данилов В.В.,
Крживицкий П.И., Мешкова И.Е., Зайцев А.Н.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России;
197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация

Введение. Дифференциальная диагностика патологических процессов в молочной железе (МЖ) на фоне повышенной маммографической плотности (МП) может быть затруднительной. Это нередко приводит к ложным заключениям и, соответственно, к длительному наблюдению при злокачественной опухоли или необоснованной биопсии при доброкачественном процессе. 50% случаев рака молочной железы (РМЖ), выявленных менее чем через 12 мес после «очередной» маммографии, были связаны с высокой МП. Важным достоинством контрастной двухэнергетической спектральной маммографии (КДСМ) является то, что ее информативность не зависит от размеров образований и МП.

Цель исследования: сравнить общую диагностическую эффективность КДСМ и цифровой маммографии (МГ) в выявлении РМЖ у женщин с плотной МП.

Материал и методы. В исследовании проанализированы данные 438 пациенток с подозрением на РМЖ. Средний возраст женщин составил 50 ± 11 лет. В исследуемой группе было выявлено 154 (35%) злокачественных и 284 (65%) доброкачественных образования. Была проведена гистологическая верификация всех выявленных образований. У 161 пациентки МП соответствовала АСР А- и В-типам, а у 277 пациенток МП – С- и D-типам согласно классификации АСР. Всего выявлено 154 случая РМЖ, из них у 49 больных МП была АСР А- и В-типов и у 105 пациенток – АСР С- и D-типов.

Результаты. При анализе полученных данных чувствительность, специфичность и общая точность МГ составили 85,7, 87,3, 86,8% соответственно. При КДСМ эти показатели достоверно превышали показатели МГ и составили 96,8% ($p < 0,001$), 93,3% ($p = 0,015$), 94,5% ($p < 0,001$) соответственно. КДСМ отличалась высокими показателями прогностической точности положительных и отрицательных результатов – 88,7% ($p = 0,012$) и 98,1% ($p < 0,001$), которые превышали таковые при МГ – 78,6 и 91,9% соответственно. Установлено, что диагностические показатели при МГ и КДСМ были сопоставимы у женщин с низкой плотностью МЖ, но у пациентов с высокой плотностью КДСМ была значительно более чувствительной в выявлении РМЖ.

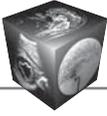
Заключение. Таким образом, диагностическая эффективность КДСМ в выявлении рака молочной железы достоверно выше по сравнению с цифровой маммографией.

Ключевые слова: рак молочной железы, контрастная спектральная двухэнергетическая маммография, цифровая маммография, повышенная плотность тканей молочных желез, доброкачественные образования молочной железы

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Информированное согласие. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.



Для цитирования: Чёрная А.В., Ульянова Р.Х., Багненко С.С., Криворотко П.В., Артемьева А.С., Жильцова Е.К., Новиков С.Н., Данилов В.В., Крживицкий П.И., Мешкова И.Е., Зайцев А.Н. Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография – инструмент точной диагностики онкопатологии на фоне плотной ткани молочной железы. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 25–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1152>

Поступила в редакцию: 9.03.2022. **Принята к печати:** 14.11.2022. **Опубликована online:** 28.12.2022.

Contrast enhanced spectral mammography as a tool for accurate diagnosis of cancer on the background of the dense breast tissue

© Antonina V. Chernaya*, Roksana Kh. Ulyanova, Sergey S. Bagnenko, Petr V. Krivorotko, Anna S. Artemyeva, Elena K. Zhiltsova, Sergey N. Novikov, Vsevolod V. Danilov, Pavel I. Krzhivitsky, Irina E. Meshkova, Alexander N. Zaitsev

N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68, Leningradskaya str., Pesochny, St. Petersburg 197758, Russian Federation

Introduction. Differential diagnosis of some pathological processes in the breast is difficult on the background of dense breast tissue. This often leads to false conclusions and to late diagnosis of breast cancer (BC) or unreasonable biopsy in a benign process. 50% of breast cancers detected less than 12 months after elective mammography were associated with high density of breast tissue. An important advantage of contrast enhanced spectral mammography (CESM) is that it does not depend on the size of the lesions and the X-ray density of the breast tissue.

Objective. To compare the diagnostic performance of CESM and digital mammography (DM) in detection of breast cancer in a group of women with dense breast tissue.

Materials and methods. The data of 438 patients with suspected breast cancer examined from August 2018 to January 2021 were analyzed in the study. The mean age of women was 50 ± 11 years (from 21 to 86 years). In the study group 154 (35%) malignant and 284 (65%) benign lesions were identified. All lesions were histologically verified. Breast tissue density corresponded to types A and B in 161 patients and corresponded to C and D types in 277 patients according to the ACR classification. 154 cases of breast cancer were identified, including 49 patients with density A and B and 105 patients with density C and D types.

Results. Sensitivity, specificity and overall accuracy of DM were 85.7%, 87.3%, 86.8%, respectively. Diagnostic performance of CESM significantly higher than of DM with sensitivity, specificity and accuracy of 96.8% ($p < 0.001$), 93.3% ($p = 0.015$), 94.5% ($p < 0.001$), respectively. CESM had high positive and negative predictive values of 88.7% ($p = 0.012$) and 98.1% ($p < 0.001$), which exceeded those of DM – 78.6% and 91.9%, respectively. The diagnostic performance of DM and CESM were comparable in women with normal breast density (types A and B according to ACR), but in patients with high breast density (types C and D according to ACR), CESM was significantly more sensitive in detecting breast cancer.

Conclusion. Thus, diagnostic efficiency of CESM in detecting breast cancer significantly higher in comparison with digital mammography.

Keywords: breast cancer, contrast enhanced spectral mammography, digital mammography, dense breast tissue, benign breast tumors

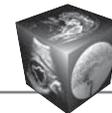
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Chernaya A.V., Ulyanova R.Kh., Bagnenko S.S., Krivorotko P.V., Artemyeva A.S., Zhiltsova E.K., Novikov S.N., Danilov V.V., Krzhivitskiy P.I., Meshkova I.E., Zaitsev A.N. Contrast enhanced spectral mammography as a tool for accurate diagnosis of cancer on the background of the dense breast tissue. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 25–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1152>

Received: 9.03.2022.

Accepted for publication: 14.11.2022.

Published online: 28.12.2022.



Введение

Рентгеновская плотность молочной железы (МЖ) – это термин, используемый для обозначения пропорции низкоплотных и высокоплотных компонентов структуры МЖ. К низкоплотным тканям относится жировая, к высокоплотным – фиброзная и эпителиальная ткани, к последней, в частности, относится и железистая.

Доказано, что более 50% женщин в возрасте до 50 лет имеют высокую маммографическую плотность (МП), что приводит к двум основным проблемам: снижению чувствительности обнаружения образований при маммографическом исследовании и одновременно повышению риска развития рака молочной железы (РМЖ) [1].

По данным Т.М. Колб и соавт., при анализе 11 130 женщин с бессимптомным течением РМЖ было обнаружено, что чувствительность маммографии (МГ) в группе с МП (ACR D-типа) составила всего 48%, при ACR C-типа плотность МЖ была около 50–60% [2].

Кроме того, ряд авторов выявили связь между высокой МП и развитием трижды негативного РМЖ [3, 4], который характеризуется отсутствием экспрессии рецепторов гормонов и белка HER2 и рассматривается как агрессивная опухоль с более неблагоприятным исходом по сравнению с гормоночувствительными опухолями. Среди женщин с повышенной МП отмечен существенно более высокий риск интервального РМЖ по сравнению с РМЖ, обнаруженным при скрининге [5].

Для более эффективного выявления РМЖ на фоне плотной ткани МЖ в настоящее время применяется мультимодальный подход с использованием нескольких методов диагностики патологий МЖ, среди которых наиболее информативными являются магнитно-резонансная томография МЖ с динамическим контрастным усилением (МРТ МЖ с ДКУ) и маммосцинтиграфия с туморотропными препаратами (МСГ).

МСГ, в частности молекулярная визуализация молочных желез (МВЛ), обладает высокой чувствительностью, равной 89–96,4% (97% для инвазивных опухолей и 93,8% для *Ca in situ* (DCIS)) [6]. Следует отметить, что чувствительность МВЛ не зависит от плотности молочной железы и для плотной ткани составляет 95,1%, а при инволютивных изменениях – 95,8% [7].

МРТ молочных желез также является одним из самых чувствительных методов в арсенале методов визуализации РМЖ. МРТ превосходит МГ в оценке размера опухоли. Она также позволяет выявить дополнительные фокусы у 16–20% пациентов и диагностировать от 3 до 9% злокачественных новообразований в контралатеральной МЖ [8, 9].

Однако применение этих обоих методов в настоящее время ограничено: МСГ за счет недостаточного количества оборудования в медицинских учреждениях, а МРТ из-за своей высокой стоимости, дополнительной задержки времени до момента начала лечения, относительно невысокой специфичности, а также из-за существующих противоречивых данных по выживаемости пациентов [10].

С появлением контрастной двухэнергетической спектральной маммографии (КДСМ) интерес к ней непреклонно возрастает. КДСМ становится доступным и быстрым методом диагностики, поскольку современные маммографы в настоящее время снабжаются этой функцией.

За последние 5 лет отмечается увеличение научного и клинического интереса к визуализации МЖ с помощью КДСМ. Она сочетает в себе стандартную МГ, при которой хорошо выявляются сгруппированные кальцинаты со злокачественными характеристиками, и функциональную оценку васкуляризации с помощью внутривенного контрастирования.

Цель исследования

Проведение сравнительного анализа информативности МГ и КДСМ в диагностике РМЖ у пациенток с нормальной плотностью МЖ (А- и В-типы по ACR) и у пациенток с высокой плотностью (С- и D-типы по ACR).

Материал и методы

В анализируемое исследование были включены данные 438 пациенток, обследованных в ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России с подозрением на РМЖ. Средний возраст женщин составил 50 ± 11 лет (от 21 года до 86 лет).

Все женщины были обследованы по единому алгоритму ведения пациенток с патологией МЖ. Им выполнялось клинично-инструментальное обследование, включающее в себя: физикальный осмотр, МГ, КДСМ, интервенционные методы пункционной биопсии, цитологическое, гистологическое и иммуногистохимическое исследование. Женщинам репродуктивного возраста диагностическое исследование выполнено в первую фазу менструального цикла (с 5-го по 12-й день от начала цикла). Цифровая МГ осуществлялась на аппарате Senographe DS GE (США), снабженном плоскопанельным детектором, размер изображения $24 \times 31 \text{ см}^2 = 7,4$ мегапикселя. МГ проводилась с компрессией МЖ по стандартной методике в краниокаудальной (СС) и медиолатеральной (МЛО) проекциях.



Полученные изображения были проанализированы и описаны в соответствии с терминологией BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System). Категории 1–3 считались отрицательными, а категории 4 и 5 – положительными.

Рентгеновская плотность МЖ оценивалась в соответствии с классификацией, предложенной Американским колледжем радиологов: А – полностью жировая, В – жировая с рассеянной фиброглангулярной тканью, С – неоднородно плотная и D – чрезвычайно плотная. В соответствии с международными рекомендациями ACR МЖ оценивалась как плотная при С- и D-вариантах маммографической картины.

КДСМ осуществлялась на цифровом маммографе Senographe DS, снабженном рентгеновской трубкой с двойной молибдено-родиевой анодной дорожкой и цифровым полноформатным плоскостным детектором из аморфного кремния с осажденным на нем йодидом цезия, получающиеся при этом цифровые изображения высокой четкости передавались на рабочую станцию врача-рентгенолога с целью визуализации и обработки. Особенностью настройки маммографа является многослойный фильтр для формирования результирующего изображения с наилучшим отображением йодсодержащего контрастного вещества. Это осуществляется добавлением к имеющемуся молибденовому и родиевому фильтру третьего фильтра, выполненного из меди и алюминия для получения высокодозных снимков. Также использовалась модификация программного обеспечения для управления процессом получения серий двух снимков с разным режимом экспозиции при КДСМ.

Исследование проводилось после внутривенного введения неионного йодсодержащего контрастного препарата объемом 1,3 мл/кг при концентрации йода 370 мг/мл и 1,5 мл/кг при концентрации 350 мг/мл. Для введения контрастного вещества использовался инжектор. Порядок выполнения снимков зависел от интересующей железы начиная с СС-проекции заинтересованной железы и заканчивая MLO незаинтересованной МЖ. Исследование выполнялось с обеих сторон вне зависимости от локализации подозрительного очага с целью своевременной диагностики клинически бессимптомно протекающего рака в противоположной МЖ. Более подробное описание технологии выполнения КДСМ было опубликовано нами ранее [11].

Диагностическую информативность КДСМ и МГ оценивали на основании определения чувствительности, специфичности и точности диагностического метода. Рассчитывались такие показате-

ли, как прогностическая точность положительных результатов, а также прогностическая точность отрицательных результатов. Эталонным стандартом оценки информативности исследования было патоморфологическое исследование. Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica. Для оценки статистической достоверности различий диагностических показателей МГ и КДСМ использовался критерий χ^2 . Статистически достоверными различия считались при $p < 0,05$.

Результаты

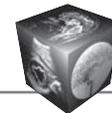
Сравнительный анализ результатов КДСМ и МГ выполнен у 438 женщин. В исследуемой группе было выявлено 154 (35%) злокачественных и 284 (65%) доброкачественных образования. У 161 женщины МП соответствовала ACR А- и В-типов, а у 277 – С- и D-типам по классификации ACR.

Была проведена гистологическая верификация всех выявленных образований: инвазивная неспецифицированная карцинома обнаружена у 111 (72%) пациенток, инвазивный дольковый рак – у 15 (9,7%), дольковая карцинома (*in situ*) – у 2 (1,3%), внутрипротоковая карцинома (*in situ*) – у 13 (8,4%), муцинозная карцинома – у 3 (2%), рак в кисте – у 3 (2%), рак Педжета соска – у 3 (2%), медуллярный рак – у 4 (2,6%) пациенток. В 284 случаях обнаружены следующие доброкачественные образования МЖ: фиброаденома – у 55 (19,4%), внутрипротоковые папилломы – у 13 (4,6%), кисты – у 28 (9,8%), радиальный рубец – у 5 (1,8%), гамартома – у 4 (1,4%), доброкачественная филоидная опухоль – у 5 (1,8%), локализованный аденоз – у 98 (34,5%), лимфокиста – у 4 (1,4%), олеогранулемы – у 13 (4,6%), пролиферативные изменения – у 43 (15,1%), фибролипома – у 5 (1,8%), атерома – у 2 (0,7%), добавочная железистая долька – у 6 (2,1%) и воспалительные изменения – у 3 (1,0%) больных.

При МГ РМЖ был установлен в 132 случаях и не диагностирован у 22 женщин. Истинно отрицательные (ИО) результаты получены в 248, ложноположительные (ЛП) – в оставшихся 36 наблюдениях.

При проведении КДСМ истинно положительные (ИП) заключения получены у 149 пациенток, ИО – у 265, ложноотрицательные (ЛО) – у 22, ЛП – у 36 больных.

Диагностические показатели МГ и КДСМ представлены в табл. 1. Чувствительность КДСМ составила 96,8% и была достоверно выше, чем чувствительность МГ, – 85,7% ($p < 0,001$), а также точность КДСМ 94,5% оказалась достоверно выше ($p < 0,001$) по сравнению с МГ (86,8%).

**Таблица 1.** Сравнительный анализ диагностической значимости КДСМ и МГ (n = 438)**Table 1.** Comparison of the diagnostic performance of CESH and DM (n = 438)

Метод исследования Modality	Число больных в группах в зависимости от характера заключения Number of patients				Показатели информативности диагностических методов, % Diagnostic performance, %				
	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	чувствительность sensitivity	специфичность specificity	точность accuracy	ПТПР positive predictive value	ПТОР negative predictive value
КДСМ CESM	149	19	5	265	96,8	93,3	94,5	88,7	98,1
МГ DM	132	36	22	248	85,7	87,3	86,8	78,6	91,9
p					<0,001	0,015	<0,001	0,012	<0,001

Примечание. Здесь и в табл. 2: КДСМ – контрастная спектральная маммография, МГ – цифровая маммография, ИП – истинно положительные, ИО – истинно отрицательные, ЛП – ложноположительные, ЛО – ложноотрицательные, ПТПР – прогностическая точность положительных результатов, ПТОР – прогностическая точность отрицательных результатов.

Annotation. Here and in Table. 2: CESH – contrast enhanced spectral mammography, DM – digital mammography, TP – true positive, FP – false positive, FN – false negative, TN – true negative.

Таблица 2. Общая диагностическая эффективность КДСМ и МГ в группе женщин с высокой плотностью МЖ по ACR: C + D (n = 277)**Table 2.** Comparison of the diagnostic performance of CESH and DM in patients with high breast density (n = 277)

Метод исследования Modality	Число больных в группах в зависимости от характера заключения Number of patients				Показатели информативности диагностических методов, % Diagnostic performance, %				
	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	чувствительность sensitivity	специфичность specificity	точность accuracy	ПТПР positive predictive value	ПТОР negative predictive value
КДСМ CESM	102	12	3	160	97,1	93,0	94,6	89,5	98,2
МГ DM	88	21	7	151	83,8	87,8	86,3	80,7	89,9
p					<0,001	0,09	<0,001	0,05	0,001

Кроме того, установлена значительно более высокая предсказательная точность положительных и отрицательных заключений КДСМ (88,7 и 98,1%) в сравнении с МГ (78,6 и 91,9%).

В исследуемой группе из 277 пациенток с высокой плотностью МЖ (С- и D-типы по ACR) РМЖ установлен у 105. При МГ РМЖ выявлен у 88 женщин и ЛО-заключения отмечались у 17, ИО – у 151 и ЛП – у 21 больной. При КДСМ ИП-заключения получены в 102 случаях, ИО – в 160, ЛО – в 3, ЛП – в 21 наблюдении.

Показатели информативности МГ и КДСМ у женщин с плотной тканью МЖ представлены в табл. 2. Обращает на себя внимание более высокая чувствительность КДСМ (97,1% против 83,8% при МГ) ($p < 0,001$), отсутствие существенных различий в специфичности и более высокая общая точность ($p < 0,001$) КДСМ (94,6% против 86,3%). Кроме того, КДСМ продемонстрировала значительно более высокую предсказательную точность положительных и отрицательных результатов (89,5% и 98,2% против 80,7% и 89,9%).

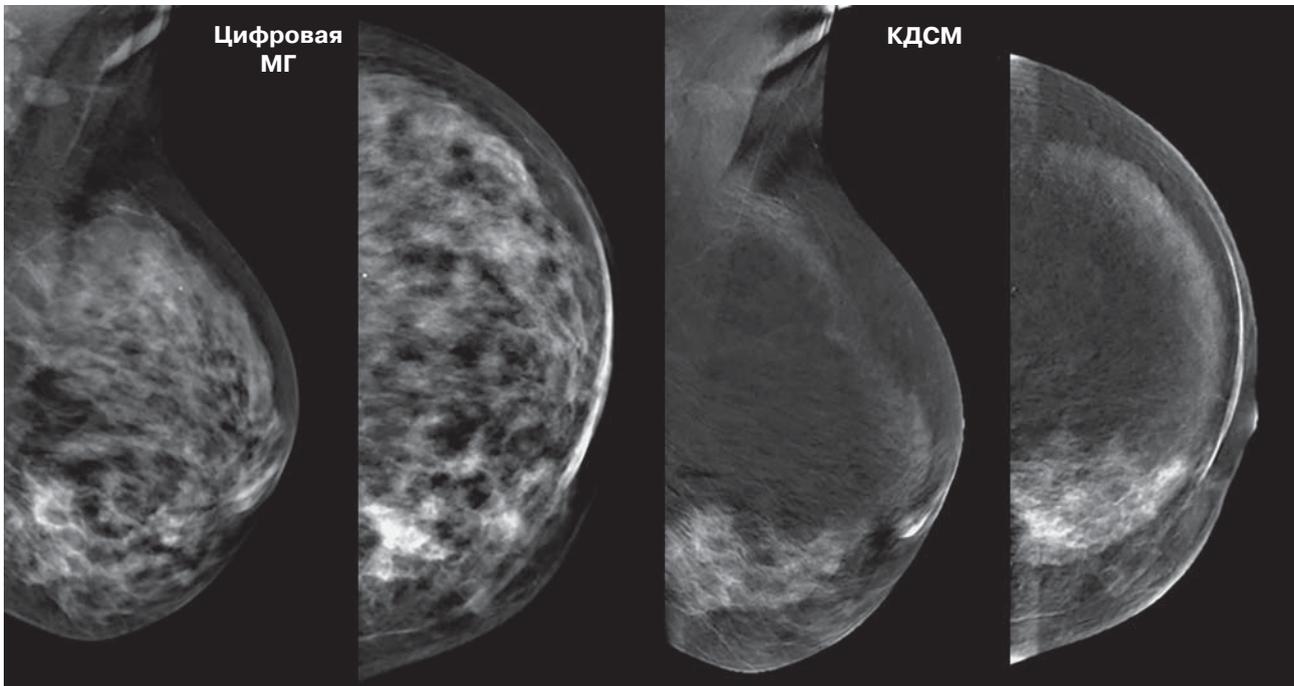
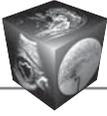


Рис. 1. Пациентка 29 лет с жалобами на уплотнение, отек, боль в левой МЖ, повышение температуры тела. В области внутренних квадрантов левой МЖ пальпируется болезненное уплотнение до 4,5 см, связанное с подкожно-жировой клетчаткой.

МГ: на фоне хорошо выраженного железистого компонента в нижневнутреннем квадранте левой МЖ неотчетливо определяется фокус уплотнения, имеется тракция соска и связь с подкожно-жировой клетчаткой, категория BI-RADS 4.

КДСМ: в нижневнутреннем квадранте левой МЖ определяется инфильтрат с выраженным “лакунарным” типом накопления контрастного вещества, категория BI-RADS 5.

Гистологическое заключение: фрагменты ткани МЖ с хроническим гранулематозным неспецифическим маститом, опухолевые клетки не обнаружены. Идиопатический гранулематозный мастит.

Fig. 1. A 29-year-old patient with complaints on infiltration, edema, pain in the left breast, fever. A painful induration up to 4.5 cm connected with subcutaneous fat tissue is palpable in the area of the inner quadrants of the left breast.

DM: on the background of a dense breast tissue in the lower inner quadrant of the left breast, the focal density is vaguely defined, there is traction of the nipple and connection with subcutaneous fat tissue, BI-RADS 4.

CESM: a mass with a pronounced of contrast enhancement “lacunar” type is visualised in the lower inner quadrant of the left breast, category BI-RADS 5.

Histological conclusion: fragments of breast tissue with chronic granulomatous nonspecific mastitis, tumor cells were not identified. Idiopathic granulomatous mastitis.

При проведении сравнительного анализа диагностических возможностей КДСМ и цифровой МГ было показано, что ЛО-заключения при КДСМ (2 пациентки) наблюдались в тех случаях, когда у пациенток было выраженное фоновое накопление на постконтрастных изображениях, обе пациентки находились на гормонозаместительной терапии. ЛП-заключение при КДСМ мы наблюдали при воспалительных изменениях в острую фазу заболевания (рис. 1).

Обсуждение

Современная лучевая диагностика предлагает широкий выбор методов визуализации РМЖ, но все они не лишены недостатков. МГ заслуженно долгие годы является основным методом выявле-

ния патологии МЖ. Однако дифференциальная диагностика некоторых патологических процессов затруднена, поскольку малые размеры и неоднозначные лучевые характеристики зачастую не позволяют высказаться о характере патологии [12]. Это нередко приводит к ложным заключениям и соответственно к длительному наблюдению при злокачественной опухоли или необоснованной биопсии при доброкачественном процессе. В большинстве случаев такие проблемы возникают при лучевой диагностике минимальных и мультицентричных форм РМЖ на фоне плотной ткани [13]. Эти ограничения стали мотивацией для обновления существующих технологий МГ и разработки более совершенных методик для выявления и диагностики РМЖ – томосинтез и КДСМ [11].

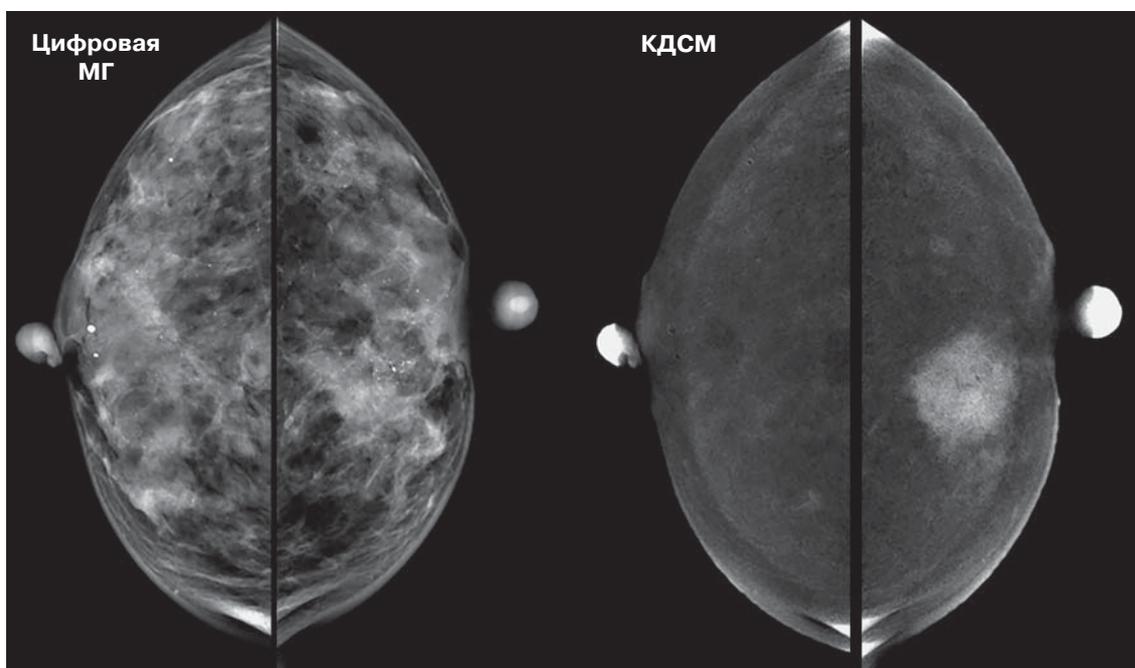
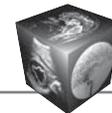


Рис. 2. Пациентка 50 лет с жалобами на уплотнение в левой МЖ.

МГ: в левой МЖ субареоларно неотчетливо визуализируется фокус нарушения архитектоники ткани с плотным центром, имеется тракция соска. Категория BI-RADS 4.

КДСМ: субареоларно выявляется узловое образование с нечеткими контурами с выраженным неоднородным накоплением контрастного препарата. Категория BI-RADS 5.

Гистологическое заключение: инвазивный неспецифицированный (NST) рак молочной железы G3 с лимфоваскулярной инвазией.

Fig. 2. A 50-year-old female patient complains of infiltration in the left breast.

DM: a focus of architectural distortion with a dense center is indistinctly visualized subareolarly in the left breast, there is traction of the nipple, BI-RADS 4.

CESM: a mass with indistinct margins with a pronounced contrast enhancement of is detected subareolarly. BI-RADS 5.

Histological conclusion: Invasive carcinoma of no special type G3 with lymphovascular invasion.

Томосинтез позволяет снизить влияние плотности на качество диагностики и подробно изучить структуру МЖ за счет уменьшения проекционных наложений. А КДСМ как метод, использующий контрастное усиление, позволяет выявлять васкуляризированные образования (рис. 2).

Возможность появления КДСМ основана на успехе МРТ с контрастным усилением МЖ. МРТ как метод диагностики РМЖ появилась относительно недавно благодаря высокой разрешающей способности и контрастности отображения мягкотканых элементов. Использование контрастного усиления позволило повысить чувствительность метода до 96% в выявлении ранних форм РМЖ [2, 3]. Следует отметить также высокую информативность МСГ при выявлении РМЖ независимо от плотности ткани МЖ до 94% [14]. Однако этот метод ограничен в применении за счет недостаточного количества имеющейся в наличии аппаратуры.

С учетом результатов нашего исследования, данных отечественных [13, 15] и зарубежных [12] авторов можно заключить, что необходимость использования КДСМ в диагностике РМЖ необходима, так как КДСМ обладает высокой диагностической эффективностью при дифференциальной диагностике образований в МЖ.

Заключение

КДСМ – быстрая легковоспроизводимая методика. Она хорошо переносится пациентами и может быть выполнена при противопоказаниях или невозможности выполнения МСГ и/или МРТ молочных желез.

КДСМ характеризуется высокой информативностью, в том числе у женщин с плотной тканью МЖ. У этой группы больных КДСМ, по сравнению с МГ, позволяет увеличить эффективность диагностики РМЖ: чувствительность возрастает с 85,7 до 96,8% ($p < 0,001$), специфичность –



с 87,3 до 93,3% ($p = 0,015$), точность – с 86,8 до 94,5% ($p < 0,001$), прогностическая точность отрицательных результатов – с 91,9 до 98,1% ($p < 0,001$), прогностическая точность положительных результатов – с 78,6 до 88,7% ($p = 0,012$). В настоящее время КДСМ может быть использована при наличии противопоказаний или ограниченной доступности МСГ и/или МРТ молочных желез.

Участие авторов

Чёрная А.В., Ульянова Р.Х. – написание текста статьи, разработка дизайна исследования, сбор полученных данных.

Артемьева А.С., Жильцова Е.К. – сбор полученных данных.

Криворотко П.В., Мешкова И.Е., Зайцев А.Н. – разработка дизайна исследования, консультативная помощь.

Новиков С.Н. – разработка дизайна исследования, консультативная помощь.

Данилов В.В. – обзор публикаций по теме статьи.

Багненко С.С., Крживицкий П.И. – разработка дизайна исследования, консультативная помощь.

Authors' participation

Chernaya A.V., Ulyanova R.Kh. – writing text, design of the study, collection of data.

Artemyeva A.S., Zhiltsova E.K. – collection of data.

Krivorotko P.V., Meshkova I.E., Zaytsev A.N. – design of the study, advisory assistance.

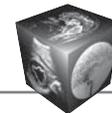
Novikov S.N. – design of the study, advisory assistance.

Danilov V.V. – review of publications on the topic of the article.

Bagenko S.S., Krzhivitskiy P.I. – design of the study, advisory assistance.

Список литературы

1. Sprague B.L., Gangnon R.E., Burt V. et al. Prevalence of mammographically dense breasts in the United States. *J. Natl. Cancer Inst.* 2014; 106 (10): dju255. <http://doi.org/10.1093/jnci/dju255>
2. Kolb T.M., Lichy J., Newhouse J.H. Comparison of the performance of screening mammography, physical examination, and breast US and evaluation of factors that influence them: an analysis of 27,825 patient evaluations. *Radiology.* 2002; 225 (1): 165–175. <http://doi.org/10.1148/radiol.2251011667>
3. Bertrand K.A., Tamimi R.M., Scott C.G. et al. Mammographic density and risk of breast cancer by age and tumor characteristics. *Breast Cancer Res.* 2013; 15 (6): R104. <http://doi.org/10.1186/bcr3570>
4. Sartor H., Zackrisson S., Elebro K. et al. Mammographic density in relation to tumor biomarkers, molecular subtypes, and mode of detection in breast cancer. *Cancer Causes Control.* 2015; 26 (6): 931–939. <http://doi.org/10.1007/s10552-015-0576-6>
5. Sung H., Ren J., Li J. et al. Breast cancer risk factors and mammographic density among high-risk women in urban China. *NPJ Breast Cancer.* 2018; 4 (1): 3. <http://doi.org/10.1038/s41523-018-0055-9>
6. Huppe A.I., Mehta A.K., Brem R.F. Molecular breast imaging: a comprehensive review. *Semin Ultrasound CT MR.* 2018; 39 (1): 60–69. <http://doi.org/10.1053/j.sult.2017.10.001>
7. Чёрная А.В., Канаев С.В., Новиков С.Н., Крживицкий П.И., Криворотко П.В., Жукова Л., Бусько Е.А. Диагностическая значимость маммографии и маммосцинтиграфии с ^{99m}Tc -MIBI при выявлении минимального рака молочной железы. *Вопросы онкологии.* 2017; 63 (2): 274–280. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2017-63-2-274-280>
8. Adrada V.E., Candelaria R., Rauch G.M. MRI for the Staging and Evaluation of Response to Therapy in Breast Cancer. *Top Magn. Reson. Imaging.* 2017; 26 (5): 211–218. <https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000147>
9. Семиглазов В.Ф., Комяхов А.В., Семиглазов В.В., Дашян Г.А., Петренко О.Л., Петрова А.С. Магнитно-резонансная томография в первичной диагностике и оценке эффективности неoadьювантной терапии у больных раком молочной железы. *Эффективная фармакотерапия.* 2015; 10: 44–53.
10. Adrada V.E., Candelaria R., Rauch G.M. MRI for the Staging and Evaluation of Response to Therapy in Breast Cancer. *Top Magn. Reson. Imaging.* 2017; 26 (5): 211–218. <https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000147>
11. Чёрная А.В., Новиков С.Н., Криворотко П.В., Ульянова Р.Х., Данилов В.В. Новые технологии при выявлении рака молочной железы – контрастная двухэнергетическая спектральная маммография. *Медицинская визуализация.* 2019; 2: 49–61. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-2-49-61>
12. Patel B.K., Naylor M.E., Kosiorek H.E. et al. Clinical utility of contrast-enhanced spectral mammography as an adjunct for tomosynthesis-detected architectural distortion. *Clin. Imaging.* 2017; 46: 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2017.07.003>
13. Чёрная А.В., Ульянова Р.Х., Криворотко П.В., Артемьева А.С., Багненко С.С., Жильцова Е.К., Новиков С.Н., Данилов В.В., Крживицкий П.И., Семиглазов В.Ф. Возможности контрастной спектральной двухэнергетической маммографии в диагностике мультицентричного рака молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы.* 2021; 17 (4): 20–28. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2021-17-4-20-28>
14. Чёрная А.В., Бусько Е.А., Канаев С.Н., Новиков С.Н., Криворотко П.В., Крживицкий П.И., Попова Н.С., Артемьева А.С., Шумакова Т.А. Маммография и маммосцинтиграфия с ^{99m}Tc -MIBI в диагностике мультицентричного рака молочной железы. *Вопросы онкологии.* 2017; 63 (6): 876–881.
15. Чёрная А.В., Крживицкий П.И., Бусько Е.А., Криворотко П.В., Артемьева А.С., Попова Н.С., Данилов В.В., Семиглазов В.Ф., Новиков С.Н., Канаев С.В. Роль цифровой маммографии, маммосцинтиграфии с ^{99m}Tc -метоксиизобутилизонитрилом (MIBI) и ультразвукового исследования в диагностике мультицентричного рака молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы.* 2019; 15 (4): 12–22. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2019-15-4-12-22>



References

1. Sprague B.L., Gangnon R.E., Burt V. et al. Prevalence of mammographically dense breasts in the United States. *J. Natl. Cancer Inst.* 2014; 106 (10): dju255. <http://doi.org/10.1093/jnci/dju255>
2. Kolb T.M., Lichy J., Newhouse J.H. Comparison of the performance of screening mammography, physical examination, and breast US and evaluation of factors that influence them: an analysis of 27,825 patient evaluations. *Radiology.* 2002; 225 (1): 165–175. <http://doi.org/10.1148/radiol.2251011667>
3. Bertrand K.A., Tamimi R.M., Scott C.G. et al. Mammographic density and risk of breast cancer by age and tumor characteristics. *Breast Cancer Res.* 2013; 15 (6): R104. <http://doi.org/10.1186/bcr3570>
4. Sartor H., Zackrisson S., Elebro K. et al. Mammographic density in relation to tumor biomarkers, molecular subtypes, and mode of detection in breast cancer. *Cancer Causes Control.* 2015; 26 (6): 931–939. <http://doi.org/10.1007/s10552-015-0576-6>
5. Sung H., Ren J., Li J. et al. Breast cancer risk factors and mammographic density among high-risk women in urban China. *NPJ Breast Cancer.* 2018; 4 (1): 3. <http://doi.org/10.1038/s41523-018-0055-9>
6. Huppe A.I., Mehta A.K., Brem R.F. Molecular breast imaging: a comprehensive review. *Semin Ultrasound CT MR.* 2018; 39 (1): 60–69. <http://doi.org/10.1053/j.sult.2017.10.001>
7. Chernaya A.V., Kanaev S.V., Novikov S.N., Krzhivitskiy P.I., Krivorotko P.V., Zhukova L., Busko E.A. Diagnostic significance of mammography and mammoscintigraphy with ^{99m}Tc-MIBI in the detection of minimal breast cancer. *Problems of Oncology.* 2017; 63 (2): 274–280. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2017-63-2-274-280> (In Russian)
8. Adrada B.E., Candelaria R., Rauch G.M. MRI for the Staging and Evaluation of Response to Therapy in Breast Cancer. *Top Magn. Reson. Imaging.* 2017; 26 (5): 211–218. <https://doi.org/10.1097/RMR.000000000000147>
9. Semiglazov V.F., Komyakhov A.V., Semiglazov V.V., Dashyan G.A., Petrenko O.L., Petrova A.S. Magnetic Resonance Imaging in the Primary Diagnostics and Efficacy Evaluation of Neoadjuvant Therapy in Patients with Breast Cancer. *Effective Pharmacotherapy.* 2015; 10: 44–53. (In Russian)
10. Adrada B.E., Candelaria R., Rauch G.M. MRI for the Staging and Evaluation of Response to Therapy in Breast Cancer. *Top Magn. Reson. Imaging.* 2017; 26 (5): 211–218. <https://doi.org/10.1097/RMR.000000000000147>
11. Chernaya A.V., Novikov S.N., Krivorotko P.V., Ulyanova R.K., Danilov V.V. New technologies in breast cancer detection – contrast enhanced dual-energy spectral mammography. *Medical Visualization.* 2019; 2: 49–61. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-2-49-61> (In Russian)
12. Patel B.K., Naylor M.E., Kosiorek H.E. et al. Clinical utility of contrast-enhanced spectral mammography as an adjunct for tomosynthesis-detected architectural distortion. *Clin. Imaging.* 2017; 46: 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2017.07.003>
13. Chyornaya A.V., Ulyanova R.K., Krivorotko P.V., Artemyeva A.S., Bagnenko S.S., Zhiltsova E.K., Novikov S.N., Danilov V.V., Krzhivitskiy P.I., Semiglazov V.F. Utility of dual-energy contrast-enhanced spectral mammography for the diagnosis of multicentric breast cancer. *Tumors of female reproductive system.* 2021; 17 (4): 20–28. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2021-17-4-20-28> (In Russian)
14. Chernaya A.V., Busko E.A., Kanaev S.N., Novikov S.N., Krivorotko P.V., Krzhivitskiy P.I., Popova N.S., Artemyeva A.S., Shumakova T.A. Mammography and mammoscintigraphy with ^{99m}Tc-MIBI in the diagnosis of multicentric breast cancer. *Problems of Oncology.* 2017; 63 (6): 876–881. (In Russian)
15. Chernaya A.V., Krzhivitskiy P.I., Busko E.A., Krivorotko P.V., Artemyeva A.S., Popova N.S., Danilov V.V., Semiglazov V.F., Novikov S.N., Kanaev S.V. The role of digital mammography, scintimammography with ^{99m}Tc-methoxyisobutylisonitrile (MIBI) and ultrasound in the diagnosis of multicentric breast cancer. *Tumors of Female Reproductive System.* 2019; 15 (4): 12–22. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2019-15-4-12-22> (In Russian)

Для корреспонденции*: Чёрная Антонина Викторовна – 197375 Санкт-Петербург, ул. Рябиновая, д. 16, кв. 95. Тел.: +7-921-744-19-20. E-mail: dr.chernaya@mail.ru

Чёрная Антонина Викторовна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач-рентгенолог ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7975-3165>

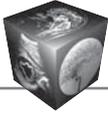
Ульянова Роксана Хачиковна – аспирант научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-9007-5900>

Бagnenko Сергей Сергеевич – доктор мед. наук, доцент, заведующий научным отделением, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>

Криворотко Петр Владимирович – доктор мед. наук, профессор, и.о. заместителя директора по науке ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4898-9159>

Артемяева Анна Сергеевна – канд. мед. наук, руководитель научной лаборатории морфологии опухолей, заведующая патологоанатомическим отделением ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-2948-397X>

Жильцова Елена Константиновна – канд. мед. наук, врач-онколог отделения опухолей молочной железы, научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-2029-4582>



Новиков Сергей Николаевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением радиотерапии, заведующий научным отделением радиационной онкологии и ядерной медицины, ведущий научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>

Данилов Всеволод Вячеславович – врач отделения радиоизотопной диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-9902-9414>

Крживицкий Павел Иванович – канд. мед. наук, заведующий отделением радионуклидной диагностики, старший научный сотрудник отделения радиационной онкологии и ядерной медицины ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-6864-6348>

Мешкова Ирина Евгеньевна – канд. мед. наук, врач отделения онкогинекологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-9703-2612>

Зайцев Александр Николаевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7428-2106>

Contact*: Antonina V. Chernaya – 16, apt. 95, Ryabinovaya str., Saint Petersburg 197375, Russian Federation. Phone: +7-921-744-19-20. E-mail: dr.chernaya@mail.ru

Antonina V. Chernaya – Cand. of Sci. (Med.), senior scientist of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, radiologist N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7975-3165>

Roksana Kh. Ulyanova – M.D., PG student of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-9007-5900>

Sergey S. Vagnenko – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>

Petr V. Krivorotko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Acting Deputy Director for Science, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4898-9159>

Anna S. Artemyeva – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Scientific Laboratory of Tumor Morphology, Head of the Pathology Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-2948-397X>

Elena K. Zhiltsova – Cand. of Sci. (Med.), oncologist of the Department of breast Tumors, scientist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-2029-4582>

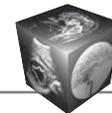
Sergey N. Novikov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiotherapy Department, Head of the Scientific Department of Radiation Oncology and Nuclear Medicine, Leading Researcher, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>

Vsevolod V. Danilov – Doctor of Nuclear Medicine Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-9902-9414>

Pavel I. Krzhivitsky – Cand. of Sci. (Med.), Head of Nuclear Medicine Department, Senior Researcher of the Department of Radiation Oncology and Nuclear Medicine, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-6864-6348>

Irina E. Meshkova – Cand. of Sci. (Med.), doctor of the Oncogynecology Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-9703-2612>

Alexander N. Zaitsev – Cand. of Sci. (Med.), senior scientist of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7428-2106>



Молочная железа. Специальная сессия под редакцией профессора С.С. Багненко
Breast. Special session edited by professor S.S. Bagnenko

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1157>

Радионуклидная диагностика рака молочной железы: опыт ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России

© Попова Н.С. *, Крживицкий П.И., Новиков С.Н., Данилов В.В.,
Валитова А.А., Брянцева Ж.В., Чёрная А.В., Криворотько П.В.,
Табагуа Т.Т., Артемьева А.С., Яганова Т.С.

ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России;
197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация

Введение. На сегодняшний день рак молочной железы (РМЖ) относится к наиболее частым злокачественным новообразованиям у женщин. Не вызывает сомнений, что своевременная и точная диагностика является основой эффективного и успешного лечения этого заболевания. Существующие классические методы лучевого исследования (МГ, УЗИ, МРТ) играют основную роль при выявлении РМЖ, но в ряде случаев диагностика РМЖ может быть затруднена. В связи с этим особый интерес вызывает изучение диагностических возможностей радионуклидных методов исследования, например маммосцинтиграфии с использованием специализированной гамма-камеры – МВИ (Molecular breast imaging).

Материал и методы. В отделении радионуклидной диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” 312 больным с предварительным клиническим диагнозом РМЖ была выполнена маммосцинтиграфия (МВИ) с использованием специализированной гамма-камеры производства фирмы GE (Discovery 750b). При проведении МВИ использовали отечественный РФП ^{99m}Tc -технетрил, который вводили внутривенно за 15 мин до сканирования. Суммарная введенная объемная активность – 500 МБк в 0,5–1 мл. Признаком опухоли на сцинтиграммах считали наличие очага(-ов) умеренной и/или выраженной повышенной патологической фиксации РФП. Информативность МВИ в диагностике РМЖ, а также чувствительность метода при различных биологических подтипах опухоли рассчитывали путем сравнения полученных сцинтиграфических данных с результатами проведенных морфологического и иммуногистохимического исследований.

Результаты. Чувствительность, специфичность и точность метода МВИ в диагностике РМЖ составили 88, 75 и 87% соответственно. Показатели чувствительности при различных биологических подтипах опухоли варьировали от 89 до 95%. Минимальные значения чувствительности выявлены при люминальном А-подтипе РМЖ.

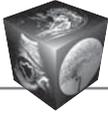
Заключение. Маммосцинтиграфия (МВИ) является дополнительным информативным способом диагностики РМЖ. Выявленные различия чувствительности метода у больных с различными биологическими подтипами РМЖ подтверждают необходимость дальнейшего изучения этой темы.

Ключевые слова: рак молочной железы, молекулярная визуализация, маммосцинтиграфия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Попова Н.С., Крживицкий П.И., Новиков С.Н., Данилов В.В., Валитова А.А., Брянцева Ж.В., Чёрная А.В., Криворотько П.В., Табагуа Т.Т., Артемьева А.С., Яганова Т.С. Радионуклидная диагностика рака молочной железы: опыт ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 35–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1157>

Поступила в редакцию: 12.03.2022. **Принята к печати:** 11.11.2022. **Опубликована online:** 28.12.2022.



Radionuclide imaging of breast cancer: experience of FSBI “N.N. Petrov National Medical Research Centre of Oncology” of the Ministry of Healthcare of Russian Federation

© Nadezhda S. Popova*, Pavel I. Krzhivitsky, Sergey N. Novikov, Vsevolod V. Danilov, Alina A. Valitova, Zhanna V. Bryantseva, Antonina V. Chernaya, Petr V. Krivorotko, Tengiz T. Tabagua, Anna S. Artemyeva, Tatyana S. Yaganova

Federal State Budget Institution “N.N. Petrov National Medical Research Centre of Oncology” of the Ministry of Healthcare of Russian Federation; 68, Leningradskaya str., Pesochny, St. Petersburg 197758, Russian Federation

Abstract. Breast cancer is one of the most common malignant neoplasms among women nowadays. Timely diagnosis is the basis for effective and successful treatment of this disease. The existing classical methods of X-ray examination (MG, ultrasound, MRI) play a major role in the detection of breast cancer, but in some cases, the diagnosis of breast cancer can be difficult. Therefore, diagnostic performance of scintimammography with specialized gamma camera called molecular breast imaging (MBI) is now of particular clinical interest.

Materials and methods. 312 patients with a preliminary clinical diagnosis of breast cancer were examined in the department of radionuclide diagnostics of N.N. Petrov Research Center of Oncology. They underwent scintimammography (MBI) with a specialized gamma camera manufactured by GE (Discovery 750b). Images of both breasts were obtained 15 min after intravenous injection of 500 MBq activity of ^{99m}Tc-MIBI. The foci of moderate and intensive radiopharmaceutical accumulation in breast were considered as a sign of a tumor. The diagnostic performance of MBI and the sensitivity in detection of various biological subtypes of cancer were calculated by comparing with the results of morphological and immunohistochemically studies.

Results. The sensitivity, specificity and accuracy of the MBI in the diagnostics of breast cancer were 88, 75 and 87%, respectively. Sensitivity of this method in detection of different biological subtypes ranged from 89% to 95% with lowest performance found in luminal A subtype.

Conclusion. Scintimammography (MBI) is an informative way of breast cancer diagnostics. The revealed differences in the sensitivity of the method in patients with different biological subtypes of breast cancer confirm the need for further study of this topic.

Keywords: breast cancer, molecular breast imaging, mammoscintigraphy

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Popova N.S., Krzhivitskiy P.I., Novikov S.N., Danilov V.V., Valitova A.A., Bryantseva Zh.V., Chernaya A.V., Krivorotko P.V., Tabagua T.T., Artemyeva A.S., Yaganova T.S. Radionuclide imaging of breast cancer: experience of FSBI “N.N. Petrov National Medical Research Centre of Oncology” of the Ministry of Healthcare of Russian Federation. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 35–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1157>

Received: 12.03.2022.

Accepted for publication: 11.11.2022.

Published online: 28.12.2022.

Список сокращений

PMЖ – рак молочной железы

MBI – Molecular breast imaging

РФП – радиофармпрепарат

УЗИ – ультразвуковое исследование

МГ – маммография

МРТ – магнитно-резонансная томография

ОФЭКТ-КТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией

ПЭТ-КТ – позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

DCIS – дуктальная карцинома *in situ*

LCIS – дольковая карцинома *in situ*

CZT – детекторы гамма-излучения CdZnTe

ER – рецепторы эстрогена

PR – рецепторы прогестерона

HER2/неи – рецепторы эпидермального фактора роста

Ki-67 – индекс пролиферативной активности

ЛО – ложноотрицательные

ЛП – ложноположительные

ИП – истинно положительные

ИО – истинно отрицательные



Введение

На сегодняшний день рак молочной железы (РМЖ) относится к наиболее частым злокачественным новообразованиям у женщин [1, 2]. Не вызывает сомнений, что условием эффективного и успешного лечения этого заболевания является своевременная и адекватная диагностика РМЖ. Существующие доступные методы инструментальной диагностики РМЖ включают в себя: эхографию (УЗИ), маммографию (МГ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), однофотонно-эмиссионную или позитронно-эмиссионную томографию, совмещенную с рентгеновской компьютерной томографией (ОФЭКТ-КТ и ПЭТ-КТ), а также маммосцинтиграфию (МВИ).

Хорошо известно, что УЗИ, МГ и МРТ являются “анатомическими” методами исследования, которые основаны на выявлении структурных нарушений в органах и тканях с миллиметровым и субмиллиметровым пространственным разрешением [3–5]. В то же время МВИ, ОФЭКТ-КТ и ПЭТ-КТ относят к методам “функциональным”, поскольку они позволяют визуализировать патофизиологические процессы, протекающие на клеточном и субклеточном уровнях [6, 7]. Необходимо отметить, что любые из представленных выше методов диагностики РМЖ имеют ряд недостатков, ограничивающих их клиническую эффективность. Так, известно, что выявление злокачественных новообразований на фоне хорошо развитой железистой ткани молочных желез с помощью классической МГ существенно затруднено [8, 9]. Решением этой проблемы может стать использование возможностей радионуклидных методов исследования. В настоящее время особый клинический интерес вызывает изучение возможностей метода МВИ, эффективность применения которого подтверждена некоторыми отечественными и зарубежными исследованиями [10, 11]. Этот радионуклидный метод исследования молочных желез позволяет не только выявить первичный РМЖ в “плотной” железе, но и установить целый ряд биологических особенностей опухолевого процесса [12]. Например, по данным крупного зарубежного метаанализа общие показатели чувствительности и специфичности МВИ в диагностике РМЖ могут достигать 95 и 80% соответственно [13]. Однако чувствительность МВИ в диагностике различных биологических подтипов РМЖ почти не изучена.

Как видно на рис. 1, специализированная маммосцинтиграфическая гамма-камера (МВИ) напоминает классический маммограф и позволяет получать скintiграфические изображения



Рис. 1. Специализированная двухдетекторная гамма-камера для молекулярной визуализации молочных желез (Molecular breast imaging или МВИ) производства фирмы General Electric (Discovery 750b). Полупроводниковые детекторы на основе кристаллов CZT указаны стрелками.

Fig. 1. Dedicated dual-head breast gamma-camera (Molecular Breast Imaging system) with semiconductor cadmium zinc telluride (CZT) detectors (arrows) produced by GE (Discovery 750b).

молочных желез в привычных для рентгенолога стандартных проекциях – краниокаудальной и медиолатеральной. Основным отличием МВИ от классической маммосцинтиграфии является наличие двух полупроводниковых (цифровых) детекторов, работающих на основе кристаллов CZT. Эти детекторы характеризуются чрезвычайно высокой чувствительностью и разрешающей способностью за счет прямой конверсии энергии гамма-квантов в электрические сигналы. При маммосцинтиграфии и МВИ в качестве радиофармпрепарата (РФП) используется меченный изотопом ^{99m}Tc -метоксиизобутилизонитрил (^{99m}Tc -MIBI). Его широкодоступным аналогом является отечественный РФП ^{99m}Tc -технетрил. Применение этого РФП позволяет оценить жизнеспособность опухолевых клеток путем определения в них митохондриальной активности, то есть процессов энергетического обмена. Известно, что накопление РФП ^{99m}Tc -MIBI в опухолевой клетке РМЖ в 9 раз выше, чем в клетке обычного эпителия [14].



Цель исследования

Изучение информативности МВИ в диагностике РМЖ, а также определение чувствительности этого метода у больных с различными биологическими подтипами опухолей.

Материал и методы

В отделении радионуклидной диагностики ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» с помощью специализированной гамма-камеры для молочных желез (МВИ) производства фирмы GE (Discovery 750b) было обследовано 312 больных с предварительным клиническим диагнозом РМЖ. Диагноз выставлялся на основе клинических данных, включающих результаты УЗИ и МГ. Возраст пациенток находился в диапазоне от 30 до 80 (средний возраст $54,9 \pm 10,85$) лет. Клиническое распределение больных в зависимости от категории опухоли «Т» было следующим: Т1 – 99 (31%), Т2 – 145 (46%), Т3 – 68 (21%). При проведении МВИ использовали отечественный РФП ^{99m}Tc -технетрил, который вводили внутривенно болюсно в вену стопы или локтевую вену на противоположной патологическому процессу руке. Суммарная вводимая объемная активность РФП составляла 500 МБк в 0,5–1,0 мл. Исследование на специализированной гамма-камере (МВИ) начинали через 15 мин после введения РФП. Для каждой железы выполняли сцинтиграфию в двух стандартных проекциях – медиолатеральной и краниокаудальной.

Время экспозиции на один снимок составляло 600 с, матрица 128×128 . Общее время исследования молочных желез на специализированной гамма-камере у одной больной (получение 4 сцинтиграмм) составляло 20 мин. Полученные данные оценивали врачи-радиологи/рентгенологи с 5-летним опытом работы в отделении радионуклидной диагностики. Критерием постановки диагноза РМЖ на полученных маммосцинтиграммах было: наличие очага(-ов) патологической гиперфиксации РФП относительно фона, за который принимали накопление препарата в паренхиме здоровой железы или подкожной жировой клетчатке (рис. 2). При этом наличие очагов с высокой и средней интенсивностью накопления РФП рассматривали как признак РМЖ. При отсутствии очагов патологического накопления РФП в молочных железах (уровень фона и ниже) выносили заключение об отсутствии злокачественного процесса.

После проведения МВИ всем пациентам независимо от полученных результатов выполнялась биопсия для подтверждения или исключения РМЖ. После этого больным с подтвержденным РМЖ проводилось оперативное лечение, которое включало в себя удаление первичной опухоли (резекция или мастэктомия) и биопсию сигнальных лимфатических узлов.

После оперативного вмешательства в морфологической лаборатории ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» устанавливали гистологический

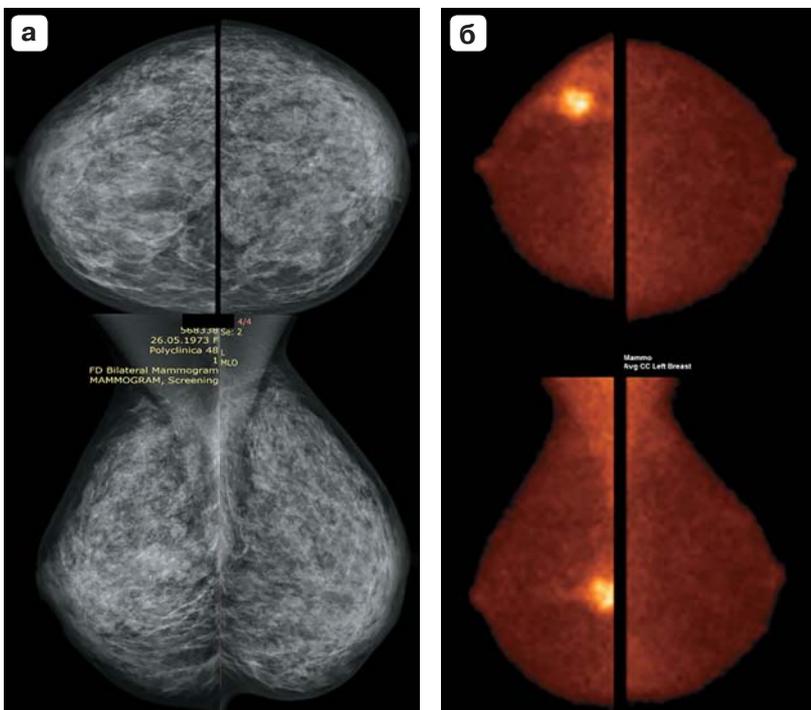
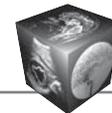


Рис. 2. Больная М., 53 года. МВИ молочных желез с РФП в краниокаудальной и медиолатеральной проекциях (а). На границе наружных квадрантов правой молочной железы четко определяется выраженный очаг патологической гиперфиксации РФП сцинтиграфическими размерами 16 мм в диаметре. На маммограммах в стандартных проекциях (б) выявление опухоли затруднено из-за выраженного железистого компонента. Гистологически у больной подтвержден инвазивный неспецифицированный РМЖ.

Fig. 2. Patient M., 53-year-old woman with suspicious of breast cancer. Mediolateral-oblique and craniocaudal (a) molecular breast imaging clearly shows one 16×16 mm lesion of ^{99m}Tc -MIBI uptake at the border of upper quadrants in right breast (arrows). Representative mammograms (b) didn't reveal tumor lesion certainly due to the expressed glandular tissue. Invasive ductal carcinoma was diagnosed by histological examination.



подтип первичной опухоли молочной железы, который классифицировали по рекомендациям ВОЗ: неинвазивный рак – дуктальная карцинома *in situ* (DCIS) или дольковая карцинома *in situ* (LCIS); инвазивный рак – неспецифицированный; инвазивный рак специфицированный – муцинозный, тубулярный, папиллярный, медуллярный. Также морфологически устанавливали степень дифференцировки опухолевых клеток: G1 – высокодифференцированный, G2 – умеренно дифференцированный и G3 – низкодифференцированный рак.

Кроме того, выполнялся иммуногистохимический анализ рецепторного статуса первичной опухоли, который включал в себя определение экспрессии рецепторов эстрогена (ER), рецепторов прогестерона (PR), рецепторов эпидермального фактора роста (HER2/neu), а также индекс пролиферативной активности (Ki-67).

По данным проведенного иммуногистохимического исследования выделялось 5 биологических подтипов РМЖ: люминальный А, люминальный В+ (HER2-положительный), люминальный В- (HER2-отрицательный), HER2 позитивный, трижды негативный. При анализе информативности метода МВИ полученные данные сравнивали с результатами послеоперационного морфологического исследования. Для расчета чувствительности, специфичности и точности определяли ложноотрицательные (ЛО), ложноположительные (ЛП), истинно положительные (ИП) и истинно отрицательные (ИО) результаты. При анализе диагностических возможностей МВИ при различных биологических подтипах РМЖ рассчитывали чувствительность метода.

Результаты

По результатам морфологического исследования удаленных препаратов диагноз инвазивного РМЖ был поставлен у 304 (96%) из 312 обследованных больных. Размеры опухоли составляли от 7 до 54 (в среднем 24) мм. Мультифокальный/мультицентричный рак гистологически был определен в 42 (13%) случаях, в остальных наблюдениях найден солитарный опухолевый процесс (рис. 3). Показатели информативности МВИ в диагностике РМЖ были следующими: чувствительность метода – 88%, специфичность – 75% и точность – 87% (табл. 1).

При проведении анализа причин ЛО-заключений в обследованной нами группе больных РМЖ (n = 312) оказалось, что в 12 случаях опухолевые узлы были расположены в области субмаммарной складки или у грудной стенки. Таким образом, эти новообразования могли оказаться за пределами зоны сканирования из-за неточной укладки

молочной железы на гамма-камере. В дальнейшем эти пациенты были исключены из анализа по чувствительности метода МВИ у пациентов с различными биологическими подтипами РМЖ. Иммуногистохимическое исследование с определением биологических подтипов РМЖ было проведено у 282 (90%) больных: люминальный А-подтип обнаружен у 74 (26%), люминальный В- – у 95 (34%), люминальный В+ – у 28 (10%), трижды негативный – у 59 (21%) и HER2+ – у 26 (9%) пациенток. В этой группе нами были рассчитаны ИП- и ЛО-результаты метода МВИ при различных биологических подтипах опухоли с уче-

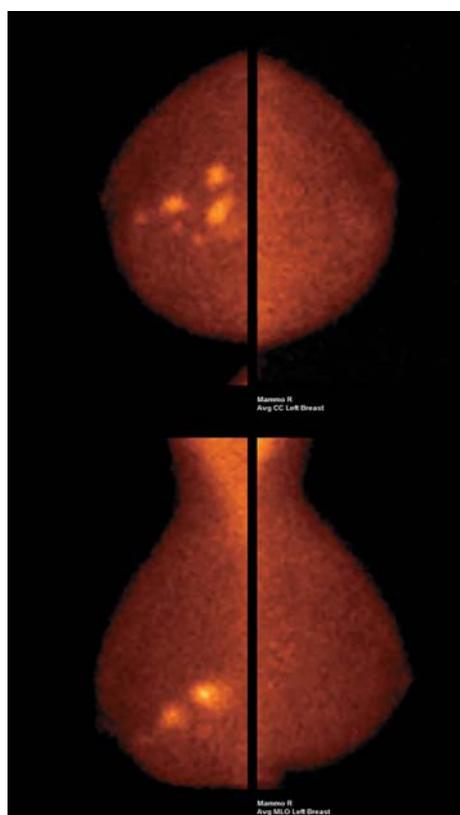


Рис. 3. Больная Б., 35 лет. МВИ молочных желез с РФП в краниокаудальной и медиолатеральной проекциях. На границе нижних квадрантов правой молочной железы четко определяются очаги (N6) патологической гиперфиксации РФП скинтиграфическими размерами от 8 × 10 мм до 27 × 17 мм. Гистологически у больной подтверждена мультицентричная опухоль правой молочной железы. Инвазивная неспецифицированная (NST) карцинома G2.

Fig. 3. Patient B., 35-year-old woman with suspicious of breast cancer. Medirolateral-oblique and craniocaudal breast imaging clearly shows multiple (six) 8 × 10 to 27 × 17 mm of ^{99m}Tc-MIBI uptake at the border of inner quadrants in right breast. Multicentric invasive ductal (NST) carcinoma (grade 2) was diagnosed by histological examination.

**Таблица 1.** Показатели информативности метода молекулярной визуализации молочных желез (МВІ) с РФП ^{99m}Tc-технетрил в диагностике РМЖ у обследованных больных (n = 312)**Table 1.** Diagnostic performance of mammoscintigraphy/molecular breast imaging with radiopharmaceutical ^{99m}Tc-technetrite in breast cancer patients. TP – true positive, FN – false negative, TN – true negative, FP – false positive, BC – breast cancer

Результаты исследования МВІ Results of MBI	Абс. число наблюдений The number of patients in groups depending on the nature of the conclusions	Показатели информативности Diagnostic performance		
		чувствительность Ч = ИП/(ИП+ЛО) sensitivity = = TP/(TP+FP)	специфичность = = ИО/(ЛП+ИО) specificity = = TN/(TP+FN)	точность Т = (ИП+ИО)/N accuracy = = (TP+TN)/N
ИП / TP	266	0,88	0,75	0,87
ИО / TN	6			
ЛП / FP	2			
ЛО / FN	38			
Итого / Total	312			

том размеров последних (до 1 см и более). Полученные результаты представлены в табл. 2, 3.

При расчете информативности МВІ у больных с гистологически верифицированным РМЖ различных подтипов к ЛО-результатам относили все случаи, когда опухоль не накапливала РФП выше уровня фона, к ИП – все случаи с патологически повышенным накоплением РФП (умеренная и выраженная интенсивность накопления РФП).

Как видно из табл. 2, 3, у 37 (8%) из 282 больных размеры РМЖ не превышали 10 мм. При этом у 9 (4%) из них накопления РФП в очаге не наблюдалось.

Чувствительность метода МВІ у больных с различными биологическими подтипами первичной опухоли, согласно данным табл. 2, 3, представлена в табл.4. Примечательно, что опухоли размерами более 1 см наиболее часто не накапливали РФП и пропускались при люминальном А-подтипе РМЖ – 9,5% случаев.

Как видно из данных табл. 4, показатели чувствительности метода МВІ находились в пределах от 89 до 95%, достигая максимальных значений при люминальном В- и минимальных при люминальном А-подтипах. Общая чувствительность метода МВІ в диагностике РМЖ в этой группе больных была чрезвычайно высокой и составила 92%.

Обсуждение

Наш опыт проведения скintiграфии молочных желез с использованием современной специализированной двухдетекторной гамма-камеры (МВІ) и отечественного РФП ^{99m}Tc-технетрил показал, что метод является высокоточным инструментом диагностики РМЖ. Это подтверждается целым

рядом зарубежных и отечественных исследований, отмечающих высокие показатели чувствительности и специфичности, причем наиболее эффективным оказалось использование МВІ у женщин, имеющих “плотные” молочные железы на маммограммах. По данным А. Spanu и соавт. (2011), существенная диагностическая ценность МВІ установлена у 30,2% (141/467) больных [15]. Так, у 26 (5,5%) женщин РМЖ определялся исключительно на маммосцинтиграммах и был пропущен на обычных маммограммах. Кроме этого, при наличии на маммограммах подозрительных очагов, классифицированных как BI-RADS 4, выполнение МВІ характеризовалось высокими показателями предсказательной ценности отрицательного ответа, достигающими 82,5%. Эти данные, по мнению авторов, позволяют более дифференцированно подойти к отбору пациентов для проведения биопсии. Более высокие показатели информативности МВІ по сравнению с МГ были отмечены также и в диагностике мультицентричного РМЖ.

Несомненно, что динамическая МРТ молочных желез с внутривенным контрастированием является доказанным эффективным способом диагностики первичной опухоли и обоснованно включена в алгоритм обследования больных с подозрением на РМЖ. Вместе с тем метод МРТ также имеет некоторые ограничения. Прямое сравнение диагностических возможностей МРТ и МВІ показало, что МРТ имеет более высокую чувствительность, но меньшую специфичность – 100 и 89% и 25 и 71% соответственно [16]. Полученные отечественными исследователями данные также свидетельствуют о необходимости проведения рандо-

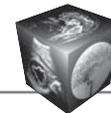


Таблица 2. Результаты метода молекулярной визуализации молочных желез (МВИ) с РФП ^{99m}Tc -технетрил в диагностике различных подтипов РМЖ у обследованных больных (n = 282)

Table 2. Comparative analysis of the intensity of accumulation in the tumor of the radiopharmaceutical ^{99m}Tc -technetrite in various biological subtypes of breast cancer. BC – breast cancer

Метод МВИ Methods of MVI	Люминальный А-подтип РМЖ Luminal A subtype of BC		Люминальный В ⁻ -подтип РМЖ Luminal B ⁻ subtype of BC		Люминальный В ⁺ -подтип РМЖ Luminal B ⁺ subtype of BC		итого total
	размер первичной опухоли менее 1 см The size of primary tumor less 1 cm	размер первичной опухоли более 1 см The size of primary tumor more 1 cm	размер первичной опухоли менее 1 см The size of primary tumor less 1 cm	размер первичной опухоли более 1 см The size of primary tumor more 1 cm	размер первичной опухоли менее 1 см The size of primary tumor less 1 cm	размер первичной опухоли более 1 см The size of primary tumor more 1 cm	
Опухоль не накапливает РФП Without uptake	2 (18)	6 (9,5)	3 (25)	1 (1,2)	2 (40)	1 (4,3)	3 (10,7)
Опухоль с умеренной интенсивностью поглощения РФП Moderate uptake	1 (9)	18 (28,5)	4 (33)	19 (22,8)	3 (60)	1 (4,3)	4 (14,3)
Опухоль с выраженной интенсивностью поглощения РФП Intense uptake	8 (73)	39 (62)	5 (42)	63 (76)	0 (0)	21 (91,4)	21 (75)
Итого Total	11 (100)	63 (100)	12 (100)	83 (100)	5 (100)	23 (100)	28 (100)



Таблица 3. Результаты метода молекулярной визуализации молочных желез (МВИ) с РФП ^{99m}Tc-технетрил в диагностике различных подтипов РМЖ у обследованных больных (n = 282)

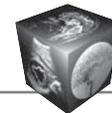
Table 3. Comparative analysis of the intensity of accumulation in the tumor of the radiopharmaceutical ^{99m}Tc-technetrite in various biological subtypes of breast cancer. BC – breast cancer

Метод МВИ Methods of MBI	Трижды негативный подтип РМЖ Triple negative subtype of BC			Her2+ подтип РМЖ HER2 positive subtype of BC			итого total
	размер первичной опухоли менее 1 см The size of primary tumor less 1 cm	размер первичной опухоли более 1 см The size of primary tumor more 1cm	итого total	размер первичной опухоли менее 1 см The size of primary tumor less 1 cm	размер первичной опухоли более 1 см The size of primary tumor more 1cm	итого total	
Опухоль не накапливает РФП Without uptake	2 (25)	3 (5,9)	5 (8,5)	0 (0)	2 (8)	2 (7,7)	
Опухоль с умеренной интенсивностью поглощения РФП Moderate uptake	4 (50)	7 (13,7)	11 (18,6)	0 (0)	2 (8)	2 (7,7)	
Опухоль с выраженной интенсивностью поглощения РФП Intense uptake	2 (25)	41 (80,4)	43 (73)	1 (100)	21 (84)	22 (84,6)	
Итого Total	8 (100)	51 (100)	59 (100)	1 (100)	25 (100)	26 (100)	

Таблица 4. Чувствительность метода молекулярной визуализации молочных желез (МВИ) с РФП ^{99m}Tc-технетрил у больных с различными биологическими подтипами РМЖ (n = 282)

Table 4. Sensitivity of radionuclide methods (MSG/MBI) of the radiopharmaceutical ^{99m}Tc-technetrite in the diagnosis of various subtypes of breast cancer (n = 282). MSG – mammoscintigraphy, MBI – molecular breast imaging, TP – true positive, FN – false negative

Биологические подтипы РМЖ Biologicals subtypes BC	Абс. Total	Результаты исследования МВИ Results of MBI		Показатель информативности МВИ Diagnostic performance MBI	
		ИП (TP)	ЛО (FN)	чувствительность = ИП/(ИП+ЛО) sensitivity = TP/(TP+FN)	
Люминальный А (Lum A)	74	66	8	0,89	
Люминальный В- (Lum B-)	95	91	4	0,95	
Люминальный В+ (Lum B+)	28	25	3	0,89	
Трижды негативный (Triple negative)	59	54	5	0,91	
HER2+ (HER2 positive)	26	24	2	0,92	
Итого (Total)	282	260	22	0,92	



мизированных исследований, посвященных изучению информативности МРТ и МВІ в диагностике РМЖ и его метастазов в регионарных лимфатических узлах [17, 18].

В нашем исследовании изучение информативности МВІ при различных биологических подтипах показало, что метод имеет более низкую чувствительность – менее 90% при люминальном А- и В⁺-подтипах РМЖ. Кроме того, нами получены данные, показывающие, что в ряде наблюдений опухоли размерами более 10 мм (особенно люминальный А-подтип) не накапливают РФП. Это может быть связано с биологическими или молекулярными особенностями первичной опухоли. Однако подтверждение выявленных нами различий при визуализации разных биологических подтипов РМЖ возможно лишь при проведении дальнейшей работы и статистического анализа большего количества случаев.

В целом необходимо отметить, что, несмотря на полученные нами многообещающие результаты, проведение сцинтиграфии молочных желез с РФП ^{99m}Tc-технетрил с помощью специализированной гамма-камеры (МВІ) можно рассматривать как ценный, но лишь дополнительный метод диагностики РМЖ. На сегодняшний день метод МВІ не может быть использован в отрыве от классических лучевых методов визуализации РМЖ.

Заключение

Опыт проведения сцинтиграфии молочных желез с РФП ^{99m}Tc-технетрил на специализированной гамма-камере (МВІ) в ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» показал, что метод является информативным способом диагностики РМЖ. Чувствительность, специфичность и точность метода составили 88, 75 и 87% соответственно. Выявленные различия по чувствительности метода у больных с различными биологическими подтипами опухоли (89–95%) подтверждают необходимость дальнейшего изучения особенностей радионуклидной визуализации РМЖ.

Участие авторов

Попова Н.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, статистическая обработка данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Крживицкий П.И. – ответственность за целостность всех частей статьи, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Новиков С.Н. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста.

Данилов В.В., Валитова А.А., Брянцева Ж.В., Чёрная А.В., Криворотко П.В., Табагуа Т.Т., Артемьева А.С., Яганова Т.С. – сбор и обработка данных.

Authors' participation

Popova N.S. – conducting research, collection and analysis of data, writing text, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, statistical analysis, text preparation and editing.

Krzhivitskiy P.I. – responsibility for the integrity of all parts of the article, text preparation and editing, approval of the final version of the article, text preparation and editing.

Novikov S.N. – concept and design of the study, text preparation and editing.

Danilov V.V., Valitova A.A., Bryantseva Zh.V., Chernaya A.V., Krivorotko P.V., Tabagua T.T., Artemyeva A.S., Yaganova T.S. – collection and analysis of data.

Список литературы

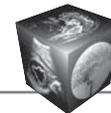
1. Мерабишвили В.М. Злокачественные новообразования в Северо-Западном федеральном округе России / Под ред. проф. Беляева А.М. СПб., 2018: 16–17.
2. Halperin C.E. Principles and Practice of Radiation oncology. 6th ed. Halperin C.E. et al. Philadelphia: Wolters Kluwer-Lippincott Williams&Wilkins, 2013: 568–590.
3. Ринк П. Магнитный резонанс в медицине / Под ред. проф. Ринка П.: Пер. с англ. Oxford: Blackwell, Scientific Publications, 1995: 4–29. ISBN 5-9231-0320-6
4. Прокоп М. Спиральная и многослойная компьютерная томография. В 3-х томах. Т. 2. Учебное пособие / Прокоп М., Галански М.: Пер. с англ. Зубарева А.В. и Шотемора Ш.Ш. М.: МЕДпресс-информ, 2006–2007: 629–631. ISBN 978-5-98322-739-2
5. Канаев С.В., Новиков С.Н., Зотова О.В., Гиршович М.М., Жукова Л.А., Семиглазов В.Ф., Криворотко П.В., Иванов В.Г. Перспективы использования методов ядерной медицины у больных раком молочной железы. *Вопросы онкологии*. 2009; 55 (61): 661–670.
6. Наркевич Б.Я., Костылев В.А. Физические основы ядерной медицины. М.: АМФ-Пресс, 2001: 59.
7. Крылов А.С., Рыжков А.Д., Ширяев С.В., Гончаров М.О., Крылова М.А., Комановская Д.А., Билик М.Е., Каспшик С.М., Михайлова Е.В., Станякина Е.Е., Жуков Г.А. ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc-технетрилом в диагностике злокачественных опухолей головы и шеи у детей. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020; 65 (1): 27–36. <http://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-1-27-36>
8. Чёрная А.В., Канаев С.В., Новиков С.Н., Крживицкий П.И., Криворотко П.В., Жукова Л.А., Бусько Е.А. Диагностическая значимость маммографии и маммосцинтиграфии с ^{99m}Tc-MIBI при выявлении минимального рака молочной железы. *Вопросы онкологии*. 2017; 63 (2): 274–280.
9. Goldsmith S.J., Parsons W., Guiberteau M.J. et al. SNM Practice Guideline for Breast Scintigraphy with Breast-Specific g-Cameras 1.0. *J. Nucl. Med. Technol.* 2010; 38: 219–224. <https://doi.org/10.2967/jnmt.110.082271>
10. Тицкая А.А., Чернов В.И., Слонимская Е.М., Синилкин И.Г., Зельчан Р.В. Маммосцинтиграфия



- с ^{99m}Tc -МИБИ в диагностике рака молочной железы. *Сибирский медицинский журнал*. 2010; 25 (4): 92–95.
11. Чёрная А.В., Крживицкий П.И., Бусько Е.А., Криворотко П.В., Артемьева А.С., Попова Н.С., Данилов В.В., Семиглазов В.Ф., Новиков С.Н., Канаев С.В. Роль цифровой маммографии, маммосцинтиграфии с ^{99m}Tc -метоксиизобутилизонитрилом (МИБИ) и ультразвукового исследования в диагностике мультицентричного рака молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2019; 15 (4): 12–22.
 12. Величко С.А., Слонимская Е.М., Фролова И.Г., Бухарин Д.Г., Дорошенко А.В. Способ прогнозирования “малых” форм рака молочной железы на фоне фиброзно-кистозной болезни. *Бюллетень сибирской медицины*. 2017; 16 (1): 13–19.
 13. Sun Y., Wei W., Yang H.W. et al. Clinical usefulness of breast-specific gamma imaging as an adjunct modality to mammography for diagnosis of breast cancer: A systemic review and meta-analysis. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2013; 40 (3): 450–463.
 14. Cwikla J.B., Buscombe J.R., Kolasinska A.D. et al. Correlation between uptake of ^{99m}Tc -sestamibi and prognostic factors of breast cancer. *Anticancer Res*. 1999; 19: 2299–2304.
 15. Spanu A., Sanna D., Chessa F. et al. The usefulness of Tc-99m-tetrofosmin SPECT/CT in the detection of residual tumors and axillary lymph node metastases in breast cancer patients following neoadjuvant therapy. *Clin. Nuclear Med*. 2011; 36 (11): 997–1002.
 16. Kim B.S. Usefulness of breast-specific gamma imaging as an adjunct modality in breast cancer patients with dense breast: a comparative study with MRI. *Ann. Nucl. Med*. 2012; 26: 131–137.
 17. Крживицкий П.И., Новиков С.Н., Канаев С.В., Клиценко О.А., Ильин Н.Д., Попова Н.С., Пономарева О.И., Черная А.В., Труфанова Е.С., Криворотко П.В. ОФЭКТ-КТ в диагностике метастатического поражения лимфатических узлов у больных раком молочной железы. *Вопросы онкологии*. 2017; 63 (2): 261–273.
 18. Novikov S.N., Krivorotko P.V., Kanaev S.V. et al. Combination of Breast Scintigraphy and Ultrasound is Promising Tool for Diagnosis and Staging of Breast Cancer. *Eur. J. Cancer*. 2012; 48 (Suppl. 1): 612.
 6. Narkevich B.Ya., Kostylev V.A. Physical foundations of nuclear medicine. M.: AMF-Press, 2001: 59. (In Russian)
 7. Krylov A.S., Ryzhkov A.D., Shiryayev S.V., Goncharov M.O., Krylova M.A., Komanovskaya D.A., Bilik M.E., Kaspshik S.M., Mikhailova E.V., Stanyakina E.E., Zhukov G.A. SPECT/CT with ^{99m}Tc -technetrite in the diagnosis of malignant tumors of the head and neck in children. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2020; 65 (1): 27–36. <http://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-1-27-36> (In Russian)
 8. Chernaya A.V., Kanaev S.V., Novikov S.N., Krzhivitsky P.I., Krivorotko P.V., Zhukova L.A., Busko E.A. Diagnostic significance of mammography and mammoscintigraphy with ^{99m}Tc -MIBI in detecting minimal breast cancer. *Problems of oncology*. 2017; 63 (2): 274–280. (In Russian)
 9. Goldsmith S.J., Parsons W., Guiberteau M.J. et al. SNM Practice Guideline for Breast Scintigraphy with Breast-Specific g-Cameras 1.0. *J. Nucl. Med. Technol*. 2010; 38: 219–224. <https://doi.org/10.2967/jnmt.110.082271>
 10. Titskaya A.A., Chernov V.I., Slonimskaya E.M., Sinilkin I.G., Zelchan R.V. Mammoscintigraphy with ^{99m}Tc -MIBI in the diagnosis of breast cancer. *Siberian Medical Journal*. 2010; 25(4): 92–95. (In Russian)
 11. Chernaya A.V., Krzhivitsky P.I., Busko E.A., Krivorotko P.V., Artemyeva A.S., Popova N.S., Danilov V.V., Semiglazov V.F., Novikov S.N., Kanaev S.V. The role of digital mammography, mammoscintigraphy with ^{99m}Tc -methoxyisobutyl isonitrile (MIBI) and ultrasound in the diagnosis of multicentric breast cancer. *Tumors of the Female Reproductive System*. 2019; 15 (4): 12–22. (In Russian)
 12. Velichko S.A., Slonimskaya E.M., Frolova I.G., Bukharin D.G., Doroshenko A.V. A method for predicting “small” forms of breast cancer against the background of fibrocystic disease. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2017; 16 (1): 13–19. (In Russian)
 13. Sun Y., Wei W., Yang H.W. et al. Clinical usefulness of breast-specific gamma imaging as an adjunct modality to mammography for diagnosis of breast cancer: A systemic review and meta-analysis. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2013; 40 (3): 450–463.
 14. Cwikla J.B., Buscombe J.R., Kolasinska A.D. et al. Correlation between uptake of ^{99m}Tc -sestamibi and prognostic factors of breast cancer. *Anticancer Res*. 1999; 19: 2299–2304.
 15. Spanu A., Sanna D., Chessa F. et al. The usefulness of Tc-99m-tetrofosmin SPECT/CT in the detection of residual tumors and axillary lymph node metastases in breast cancer patients following neoadjuvant therapy. *Clin. Nuclear Med*. 2011; 36 (11): 997–1002.
 16. Kim B.S. Usefulness of breast-specific gamma imaging as an adjunct modality in breast cancer patients with dense breast: a comparative study with MRI. *Ann. Nucl. Med*. 2012; 26: 131–137.
 17. Krzhivitsky P.I., Novikov S.N., Kanaev S.V., Klitsenko O.A., Iliin N.D., Popova N.S., Ponomareva O.I., Chernaya A.V., Trufanova E.S., Krivorotko P.V. SPECT-CT in the diagnosis of metastatic lesions of the lymph nodes in patients with breast cancer. *Problems of Oncology*. 2017; 63 (2): 261–273. (In Russian)
 18. Novikov S.N., Krivorotko P.V., Kanaev S.V. et al. Combination of Breast Scintigraphy and Ultrasound is Promising Tool for Diagnosis and Staging of Breast Cancer. *Eur. J. Cancer*. 2012; 48 (Suppl. 1): 612.

References

1. Merabishvili V.M. Malignant neoplasms in the Northwestern Federal District of Russia / Ed. prof. Belyaev A.M. St. Petersburg, 2018: 16–17. (In Russian)
2. Halperin C.E. Principles and Practice of Radiation oncology. 6th ed. Halperin C.E. et al. Philadelphia: Wolters Kluwer-Lippincott Williams&Wilkins, 2013: 568–590.
3. Rink P. Magnetic resonance in medicine / Ed. prof. Rink P.: Translate from English. Oxford: Blackwell, Scientific Publications, 1995: 4–29. ISBN 5-9231-0320-6 (In Russian)
4. Prokop M. Spiral and multilayer computed tomography. In 3 vol. Vol. 2. Textbook / Prokop M., Galanski M.: Translate from English. Zubarev A.V. and Shotemor Sh.Sh. M: MEDpress-inform, 2006–2007: 629–631. ISBN 978-5-98322-739-2 (In Russian)
5. Kanaev S.V., Novikov S.N., Zotova O.V., Girshovich M.M., Zhukova L.A., Semiglazov V.F., Krivorotko P.V., Ivanov V.G. Prospects for the use of nuclear medicine methods in patients with breast cancer. *Problems of oncology*. 2009; 55 (61): 661–670. (In Russian)



Для корреспонденции*: Попова Надежда Сергеевна – e-mail: yfl.if@mail.ru

Попова Надежда Сергеевна – врач радиолог/рентгенолог отделения радионуклидной диагностики ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-3130-3624>. E-mail: yfl.if@mail.ru

Крживицкий Павел Иванович – доктор мед. наук, заведующий отделением радионуклидной диагностики, старший научный сотрудник отделения радиационной онкологии и ядерной медицины, врач-радиолог ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-6864-6348>. E-mail: krzh@mail.ru

Новиков Сергей Николаевич – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий отделением радиотерапии, заведующий научным отделением радиационной онкологии и ядерной медицины ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>. E-mail: krokon@mail.ru

Данилов Всеволод Вячеславович – врач-рентгенолог отделения радионуклидной диагностики ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-9902-9414>. E-mail: sevadani50@gmail.com

Валитова Алина Альбертовна – врач-радиолог отделения радионуклидной диагностики ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1279-4667>. E-mail: valitva.alina@gmail.com

Брянцева Жанна Викторовна – канд. мед. наук, врач-радиотерапевт отделения радиотерапии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-9189-6417>. E-mail: zhanna-dr@mail.ru

Чёрная Антонина Викторовна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач-рентгенолог ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7975-3165>. E-mail: dr.chernaya@mail.ru

Криворотко Петр Владимирович – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по науке, ведущий научный сотрудник, врач-онколог, врач-пластический хирург отделения опухолей молочной железы ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4898-9159>. E-mail: dr.krivorotko@mail.ru

Табагуа Тенгиз Тенгизович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник, врач-онколог ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-1471-9473>. E-mail: tedo8308@mail.ru

Артемьева Анна Сергеевна – канд. мед. наук, доцент отдела учебно-методической работы, заведующая отделением – врач-патологоанатом, руководитель научной лаборатории морфологии опухолей ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-2948-397X>. E-mail: oinochoya@gmail.com

Яганова Татьяна Сергеевна – клинический ординатор 2-го года обучения отделения радиотерапии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-3711-8881>. E-mail: tanya55822@gmail.com

Contact*: Nadezhda S. Popova – e-mail: yfl.if@mail.ru

Nadezhda S. Popova – Doctor of Nuclear Medicine Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-3130-3624>. E-mail: yfl.if@mail.ru

Pavel I. Krzhivitsky – Doct. of Sci. (Med.), Head of Nuclear Medicine Department, Senior Researcher of the Department of Radiation Oncology and Nuclear Medicine, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-6864-6348>. E-mail: krzh@mail.ru

Sergey N. Novikov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiotherapy Department, Head of the Scientific Department of Radiation Oncology and Nuclear Medicine, Leading Researcher, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>. E-mail: krokon@mail.ru

Vsevolod V. Danilov – Doctor of Nuclear Medicine Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-9902-9414>. E-mail: sevadani50@gmail.com

Alina A. Valitova – Doctor of Nuclear Medicine Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1279-4667>. E-mail: valitva.alina@gmail.com

Zhanna V. Bryantseva – Cand. of Sci. (Med.), radiotherapist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-9189-6417>. E-mail: zhanna-dr@mail.ru

Antonina V. Chernaya – Cand. of Sci. (Med.), senior scientist of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, radiologist N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7975-3165>. E-mail: dr.chernaya@mail.ru

Petr V. Krivorotko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Acting Deputy Director for Science, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4898-9159>. E-mail: dr.krivorotko@mail.ru

Tengiz T. Tabagua – Cand. of Sci. (Med.), senior scientist of the Scientific Department, oncologist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-1471-9473>. E-mail: tedo8308@mail.ru

Anna S. Artemyeva – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Scientific Laboratory of Tumor Morphology, Head of the Pathology Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-2948-397X>. E-mail: oinochoya@gmail.com

Tatyana S. Yaganova – clinical resident of oncology, Radiotherapy Department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-3711-8881>. E-mail: tanya55822@gmail.com



Молочная железа. Специальная сессия под редакцией профессора С.С. Багненко
Breast. Special session edited by professor S.S. Bagnenko

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1165>

Методика фьюжн-биопсии, или виртуальной сонографии в режиме реального времени (RVS), – первый опыт верификации зон контрастирования молочной железы под совмещенным УЗ/МР-контролем

© Бусько Е.А.^{1,2*}, Шагал М.А.¹, Васильев А.В.¹, Аполлонова В.С.¹, Целуйко А.И.¹, Табагуа Т. Т.^{1,4}, Тятьков С.А.¹, Кулиш А.В.¹, Багненко С.С.^{1,3}, Шевкунов Л.Н.¹

¹ ФГБУ “Национальный медицинский центр онкологии им. Н.Н. Петрова”; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”; 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет”; 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова” Минздрава России; 197022 Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8, Российская Федерация

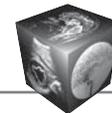
К актуальным проблемам современной онкологии относится ранняя диагностика рака молочной железы. Однако сложности возникают не только на этапе диагностики, но и при верификации процесса. Взятие материала путем чрескожной трепанобиопсии под контролем медицинской визуализации является “золотым стандартом” верификации непальпируемых образований молочной железы, ключевым моментом является выбор метода визуального контроля. Однако на данный момент нет универсальной методики, обладающей всеми требованиями: хорошей визуализацией очага, удобством и доступностью выполнения биопсии. Фьюжн-биопсия, или виртуальная сонография в режиме реального времени, смогла совместить диагностические преимущества МРТ и доступность метода УЗИ.

Цель исследования: оптимизировать методику фьюжн-биопсии под совмещенным УЗ/МР-контролем для верификации патологических образований молочной железы, выявленных по результатам МРТ и оккультных при УЗИ и МГ.

Материал и методы. В исследование вошли данные 30 пациенток с отягощенным онкологическим анамнезом и выявленными патологическими очагами в молочных железах по результатам МРТ с динамическим контрастным усилением (ДКУ) (категория BI-RADS 4, 5) и оккультными при МГ УЗИ. Всем пациентам выполняли предбиопсийную МР-разметку, сопоставление изображений МРТ и УЗИ в режиме реального времени, трепанобиопсию патологического очага или эксцизионную биопсию с последующим морфологическим исследованием.

Результаты. Методика проведения фьюжн-биопсии молочной железы была отработана на основании научных публикаций и оптимизирована с учетом технологического оснащения НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова. Был разработан алгоритм выполнения процедуры, включающий следующие этапы: оценка “диагностической” МРТ молочной железы с ДКУ (в пронпозиции) для оценки изменений молочных желез, выявления патологического очага; подготовительный этап – предбиопсийная МР-разметка (в позиции супинации) с МР-контрастными метками; сопоставление на ультразвуковом аппарате изображений МРТ и УЗИ; выполнение трепанобиопсии; гистологическое исследование.

Заключение. Фьюжн-биопсия является перспективной методикой забора гистологического материала, которая может получить широкое распространение в диагностике патологических образований молочной железы. Данная методика объединяет в себе простоту использования УЗИ как метода визуального контроля при выполнении биопсии патологических изменений и высокую чувствительность МРТ при диагностике патологии молочных желез.



Ключевые слова: МРТ, УЗИ, биопсия молочной железы, рак молочной железы, фьюжн-биопсия, виртуальная сонография в режиме реального времени

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Бусько Е.А., Шагал М.А., Васильев А.В., Аполлонова В.С., Целуйко А.И., Табагуа Т.Т., Тятков С.А., Кулиш А.В., Багненко С.С., Шевкунов Л.Н. Методика фьюжн-биопсии, или виртуальной сонографии в режиме реального времени (RVS), – первый опыт верификации зон контрастирования молочной железы под совместным УЗ/МР-контролем. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 46–56. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1165>

Fusion biopsy or real time virtual sonography (RVS) technique – the first experience in verification of hypervascular breast lesions under combined US/MR control

© Ekaterina A. Busko^{1,2*}, Maria A. Shagal¹, Alexander V. Vasiliev¹, Vera S. Apollonova¹, Andrey I. Tseluiko¹, Tengiz T. Tabagua^{1,4}, Stanislav A. Tiatkov¹, Anna V. Kulish¹, Sergey S. Bagnenko^{1,3}, Lev N. Shevkunov¹

¹ N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68, Leningradskaya str., Pesochny, St. Petersburg, 197758, Russian Federation

² Saint-Petersburg State University; 7/9, Universitetskaya emb., St. Petersburg 199034, Russian Federation

³ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University; 2, Litovskaya str., St. Petersburg 194100, Russian Federation

⁴ Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; 6-8, Lev Tolstoy str., St. Petersburg 197022, Russian Federation

One of the actual problems of oncology is the early diagnosis of breast cancer. However, there are some difficulties not only in diagnostic but also in the verification of lesions. Image-guided cor-biopsy nowadays became the gold standard for verification of non-palpable breast lesions. The main issue is to choose the method of visualization. According to up-to-date recommendations, there is no universal method with all requirements (high visualization quality, convenience, and accessibility for biopsy). Fusion-biopsy or virtual real-time sonography can combine MRI diagnostic potential and facility of US

Aim: to leverage the technique of fusion biopsy under combined ultrasound/MR control for verification of breast lesions identified only on MRI and occult on MG and US.

Methods. 30 high-risk patients, who had pathological breast lesions detected by diagnostic CE-MRI, classified as BI-RADS 4, 5 yet occult on the other visualization methods were enrolled in the study. All patients underwent supine MRI prebiopsy examination, real-time virtual sonography of the lesions, image-guided biopsy or excisional biopsy, histopathologic examination.

Results. The breast fusion-biopsy method was developed based on up-to-date scientific publications and optimized for the technical equipment of N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology. According to the designed protocol of examination, there were the following steps: interpretation of breast CE-MRI in the standard prone position for breast lesion detection, prebiopsy CE-MRI performed in the supine position, real-time virtual sonography for comparison of breast MRI and US, histopathologic examination.

Conclusion. being one of the perspectives methodic of morphological verification Fusion-biopsy might become a more common procedure in breast lesions diagnostics. The simplicity of US-guided biopsy and high MRI breast diagnostic sensitivity are combined in fusion-biopsy technology.

Keywords: MRI, ultrasound, breast biopsy, breast cancer, fusion biopsy, real-time virtual sonography

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Busko E.A., Shagal M.A., Vasiliev A.V., Apollonova V.S., Tseluiko A.I., Tabagua T.T., Tiatkov S.A., Kulish A.V., Bagnenko S.S., Shevkunov L.N. Fusion biopsy or real time virtual sonography (RVS) technique – the first experience in verification of hypervascular breast lesions under combined US/MR control. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 46–56. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1165>

Received: 31.03.2022.

Accepted for publication: 11.11.2022.

Published online: 28.12.2022.



Введение

Одной из актуальных проблем современной онкологии является ранняя диагностика рака молочной железы (РМЖ). Однако сложности возникают не только на этапе диагностики, но и на этапе верификации процесса, особенно непальпируемых образований, требующих обязательной визуальной навигации при биопсии [1, 2].

В соответствии с актуальными рекомендациями, опубликованными в 2010 г. Европейским обществом визуализации молочной железы EUSOBI [3], все выявленные новообразования, подозрительные на злокачественные, требуют гистологической верификации перед дальнейшим оперативным или химиотерапевтическим лечением.

Взятие материала путем чрескожной трепанобиопсии под контролем медицинской визуализации практически полностью заменяет диагностические хирургические вмешательства [2]. Для верификации РМЖ ключевое значение имеет адекватное взятие гистологического материала с дальнейшим гистологическим и иммуногистологическим исследованием для определения рецепторного статуса опухоли [4].

Для наведения трепан-иглы может быть использован ультразвуковой, маммографический и магнитно-резонансный контроль [5].

Наиболее часто используемым и широкодоступным методом визуального контроля является ультразвуковое исследование (УЗИ). Взятие материала под ультразвуковым контролем возможно исключительно при хорошей визуализации изменений в молочной железе по УЗИ. Проведение данной методики занимает минимальное время, не требует специального оборудования и достаточно легко переносится пациентками [5].

Биопсия под контролем маммографии (МГ) (маммотест) проводится реже, так как визуализация патологических изменений по результатам МГ возможна в случае низкой плотности ткани молочной железы (типы А и В по классификации АСР), в то время как в случае высокой плотности ткани молочной железы (типы С и D) визуализация патологических изменений крайне затруднена. Процедура сопряжена с наличием лучевой нагрузки, связанной с выполнением серии снимков не только для четкой визуализации патологических изменений, но и последующим контролем правильности выполнения биопсии, требует дополнительного оборудования, такого как специализированная приставка, проведение процедуры возможно исключительно в кабинете маммографии, занимает больше времени, чем выполнение биоп-

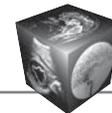
сии под контролем ультразвука. Основное показание к проведению маммотеста является верификация зон скопления микрокальцинатов [6].

Несомненно, магнитно-резонансная томография (МРТ) молочных желез с динамическим контрастным усилением (ДКУ) является одной из наиболее чувствительных методик с диагностической эффективностью 86–100% [7–10]. Однако биопсия под контролем МРТ крайне редко применяется для визуального контроля при заборе материала, что связано с техническими сложностями, длительностью процедуры, необходимостью дополнительного приобретения специального оборудования (приставка для биопсии, магнитные биопсийные иглы), высокой стоимостью процедуры, неудобным для пациента положением лежа на животе [11, 12].

Начиная с 2012 г. появилась техническая возможность совмещения на базе ультразвукового аппарата изображений, полученных при помощи МРТ, с результатами УЗИ в реальном времени. Изначально методика разрабатывалась для диагностики образований печени [13], однако получила наиболее широкое применение в области онкоурологии для диагностики патологических образований предстательной железы, на данный момент широко применяется в большинстве онкологических медицинских учреждений, носит название фьюжн-биопсии, или виртуальной сонографии в режиме реального времени – real time virtual sonography – RVS [14].

Методика основана на распознавании положения УЗ-датчика в пространстве с помощью магнитного поля, генерируемого специальным устройством. Программное обеспечение устроено таким образом, что при изменении положения датчика соответственно меняется УЗ-изображение на мониторе, а также синхронизированное с ним изображение выбранной модальности [15]. Данная методика позволяет совместить изображения и выполнить фьюжн-биопсию образования, выявленного по данным МРТ и не визуализируемого при УЗИ в режиме реального времени [16].

На данный момент опыт применения фьюжн-биопсии образований молочной железы достаточно мало освещен в зарубежных публикациях, отечественных работ на эту тему в научной литературе не представлено, что и определило цель нашего исследования: оптимизировать методику фьюжн-биопсии под совмещенным УЗ/МР-контролем для верификации патологических образований молочной железы, выявленных по результатам МРТ и оккультных при УЗИ и МГ.



Материал и методы

Исследование проводилось на базе «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» с 2019 по 2021 г. В исследуемую группу были включены данные 30 женщин с отягощенным онкологическим анамнезом: в 46,7% случаев наблюдался семейный РМЖ и/или яичников; у 13,3% пациенток были выявлены различные генные мутации; у 40% пациенток в анамнезе отмечались онкологические заболевания различных локализаций; 13,3% составили пациентки с предшествующим комбинированным лечением по поводу РМЖ. Средний возраст составил 44 (от 29 до 64) года. В группе превалировал тип С строения молочных желез – распределение типов плотности по классификации ACR составило: А-тип – 6,67%, В-тип – 33,3%, С-тип – 53,3%, D-тип – 6,67%. Критерии включения пациенток в исследование: наличие патологических изменений в молочной железе по результатам МРТ, классифицируемых как категория BI-RADS 4 или 5 и оккультных по данным МГ и УЗИ. МРТ выполнялась с использованием стандартного протокола сканирования с ДКУ с гадолиний-содержащим контрастным препаратом с болюсным способом введения контрастного вещества с помощью инжектора на аппаратах с индукцией магнитного поля не менее 1,5 Тл с использованием body-катушки (Magnetom Aero, Siemens, Германия).

В 71% случаев пациенткам была выполнена рентгеновская МГ на цифровом маммографе Sonographe DS (GE, США) по стандартной методике в краниокаудальной и медиолатеральных проекциях.

УЗИ с эластографией и RVS проводились на УЗ-сканере экспертного класса Hitachi HI-VISION Ascendus с использованием высокочастотного линейного датчика с частотой 6–15 МГц.

Трепанобиопсия выполнялась при помощи автоматической биопсийной системы многократного использования Bard Magnum с иглами для мультифокальной биопсии G14 L16 см. Для получения информативного материала для гистологического и иммуногистохимического анализа производился забор 3–5 столбиков.

Две пациентки ранее уже подвергались попыткам взятия материала без визуальной навигации из проекции определяемых по данным МРТ патологических изменений молочных желез, при гистологическом исследовании была получена ткань молочной железы, что было расценено как неудовлетворительный результат.

В результате было выполнено 30 предбиопсийных МР-разметок, 29 чрескожных трепанобиопсий и в 1 случае после маркировки патологического

очага была выполнена хирургическая эксцизионная биопсия молочной железы.

Результаты

По данным диагностической МРТ наблюдалось следующее распределение зон патологического контрастирования, которые были отнесены к категории BI-RADS 4 или 5: регионарные – 4 (13,3%), линейные – 13 (43,35%), фокальные – 13 (43,35%) (рис. 1–3). Средняя протяженность изменений составила 14,1 (от 6 до 25) мм, в большинстве случаев выявлялись единичные гипervasкулярные очаги (86,7%), в 4 (13,3%) случаях наблюдались множественные участки. По данным МГ и УЗИ патологических образований в проекции выявляемых при МРТ зон контрастирования определено не было.

По данным гистологического исследования: в 2 (6,7%) случаях был выявлен дольковый инвазивный РМЖ (в 1 случае мультицентрическая форма), также в 2 (6,7%) случаях – дуктальная карцинома *in situ*, в 2 (6,7%) случаях – внутрипротоковая цистаденопапиллома, в 12 (40%) случаях – доброкачественные изменения протоков молочной железы, в 4 (13,3%) случаях – участки аденоза, 8 (26,6%) случаев составили фиброзные изменения стромы железы.

Методика проведения фьюжн-биопсии была нами отработана на основании научных публикаций и оптимизирована с учетом технологического оснащения НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова. Разработанный алгоритм включал несколько этапов:

- оценка “диагностической” МРТ молочной железы с ДКУ (в пронпозиции) с использованием катушки для визуализации молочных желез для оценки изменений в молочных железах, выявления зоны интереса;
- подготовительный этап – предбиопсийная МР-разметка (в позиции супинации) с использованием body-катушки;
- сопоставление и слияние на УЗ-аппарате изображений МРТ и УЗИ;
- выполнение трепанобиопсии под совмещенным МР/УЗ-контролем;
- гистологическое исследование.

Предбиопсийная МР-разметка имела следующие особенности проведения – выполнялась в положении пациентки лежа на спине, рука со стороны исследуемой молочной железы была заведена за голову. Всем пациенткам проводилась МР-разметка – на кожу исследуемой молочной железы устанавливались четыре МР-контрастные метки, расположенные на 12, 3, 6, 9 часах условного циферблата (рис. 4). Далее выполнялось стандарт-

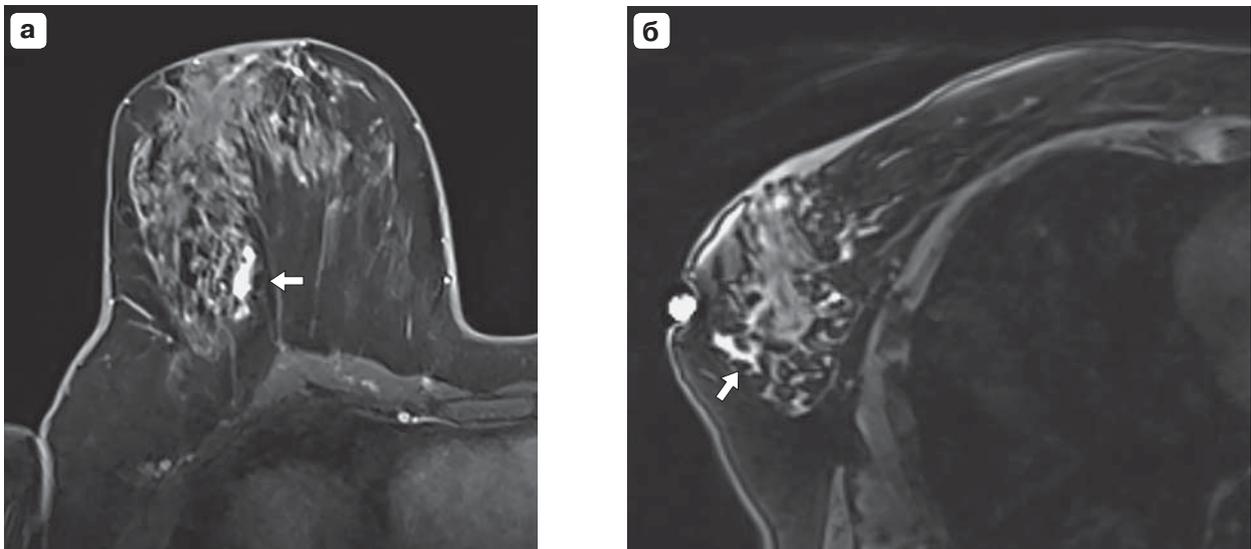


Рис. 1. Линейный гипervasкулярный участок вдоль протоков (BI-RADS 4) в правой молочной железе (**а**) при МРТ молочных желез с ДКУ с использованием катушки для визуализации молочных желез в пронпозиции, T1-взвешенные изображения с жироподавлением; **б** – при предбиопсийной МР-разметке железы с ДКУ молочной железы в аксиальной проекции с использованием body-катушки в позиции супинации. Гистологическое заключение: инвазивная дольковая карцинома правой молочной железы.

Fig. 1. Linear hypervascular non-mass enhancement (NME) along the ducts (BI-RADS 4) in the right breast (**a**) dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) with a breast-coil in the pron-position, T1-weighted, fat-suppressed; **b** – pre-biopsy MR-marking of the breast DCE-MRI in the axial projection using the body-coil in the supine position. Histological result: Invasive lobular carcinomas of the right breast.

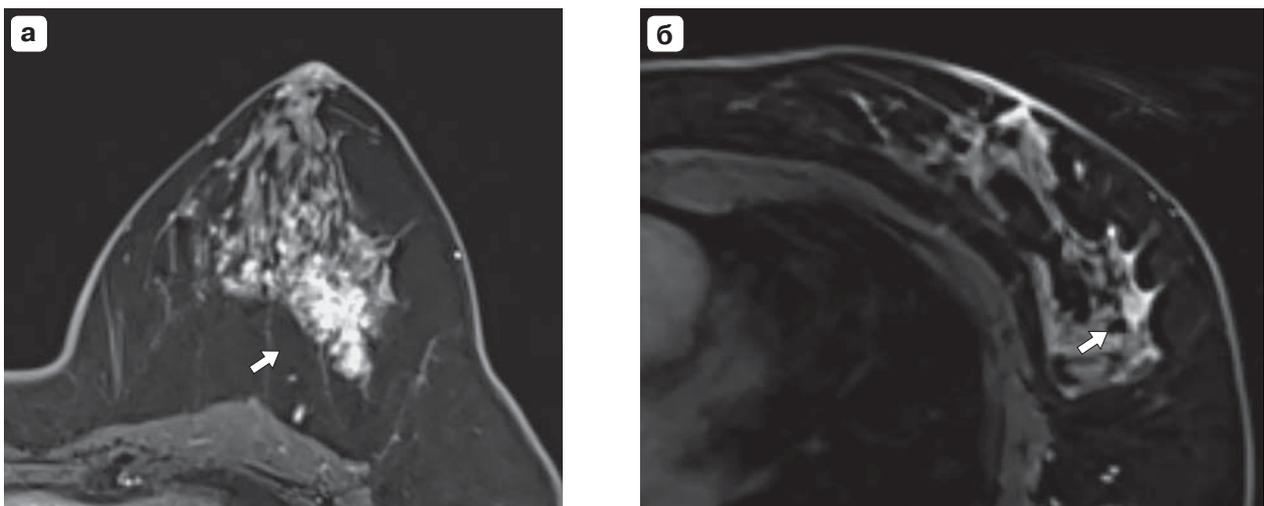


Рис. 2. Региональная зона контрастирования (BI-RADS 4) в левой молочной железе (**а**) при МРТ молочных желез с ДКУ с использованием катушки для визуализации молочных желез в пронпозиции, T1-взвешенные изображения с жироподавлением; **б** – при предбиопсийной МР-разметке железы с ДКУ молочной железы в аксиальной проекции с использованием body-катушки в позиции супинации. Гистологическое заключение: внутрипротоковая папиллома на фоне явления протоковой гиперплазии.

Fig. 2. Regional NME (BI-RADS 4) in the left breast (**a**) DCE-MRI with a breast-coil in the pron-position, T1-weighted, fat-suppressed; **b** – pre-biopsy MR-marking of the breast DCE-MRI in the axial projection using the body-coil in the supine position. Histological result: Intraductal papilloma of the breast against the background of ductal hyperplasia.

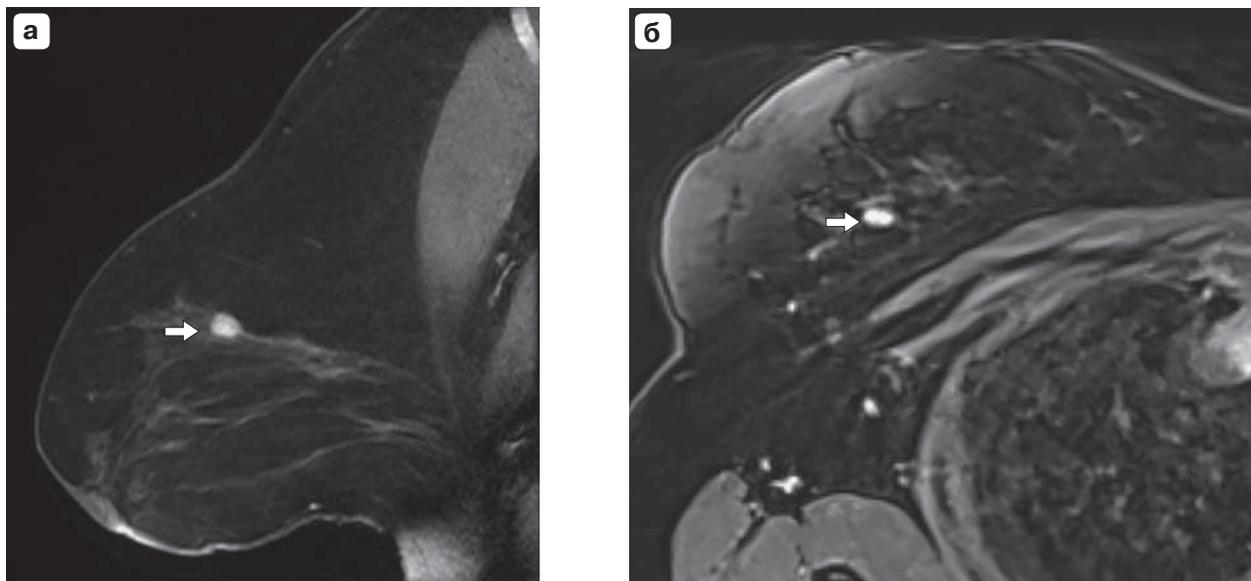


Рис. 3. Фокальный гипervasкулярный очаг (BI-RADS 4) в правой молочной железе (**а**) при МРТ молочных желез с ДКУ с использованием катушки для визуализации молочных желез в пронпозиции, T1-взвешенные изображения с жироподавлением в сагиттальной проекции; **б** – при предбиопсийной МР-разметке железы с ДКУ молочной железы в аксиальной проекции с использованием body-катушки в позиции супинации. Гистологическое заключение: фиброаденома правой молочной железы.

Fig. 3. Focal hypervascular lesion (BI-RADS 4) in the right breast (**a**) DCE-MRI with a breast-coil in the pron-position, T1-weighted, fat-suppressed; **b** – pre-biopsy MR-marking of the breast DCE-MRI in the axial projection using the body-coil in the supine position. Histological result: fibroadenoma of the right breast.

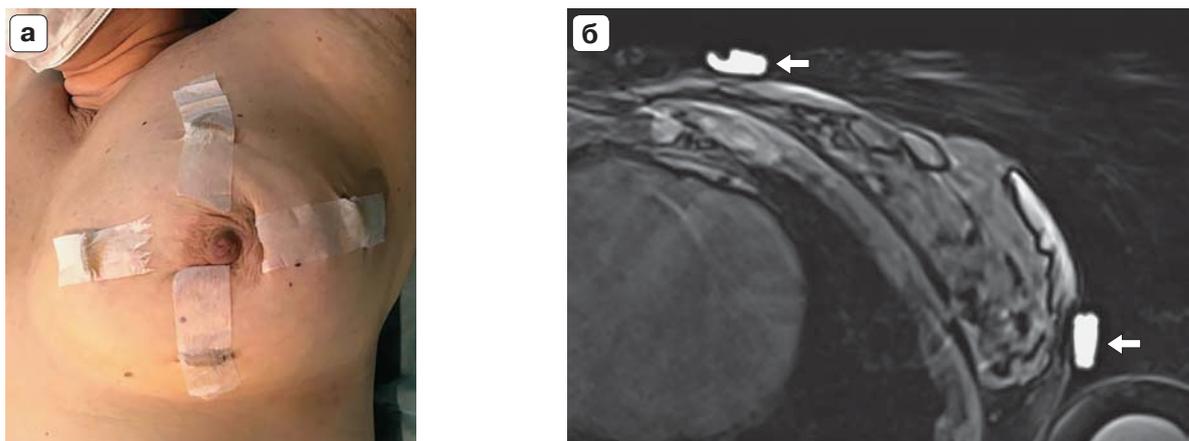


Рис. 4. Предбиопсийная МР-разметка. **а** – положение МР-контрастных меток на коже; **б** – визуализация МР-контрастных меток при предбиопсийном МР-сканировании.

Fig. 4. Pre-biopsy MR-marking of the breast. **a** – position of MR contrast marks on the skin; **b** – visualization of MR-contrast marks during pre-biopsy MR scanning.

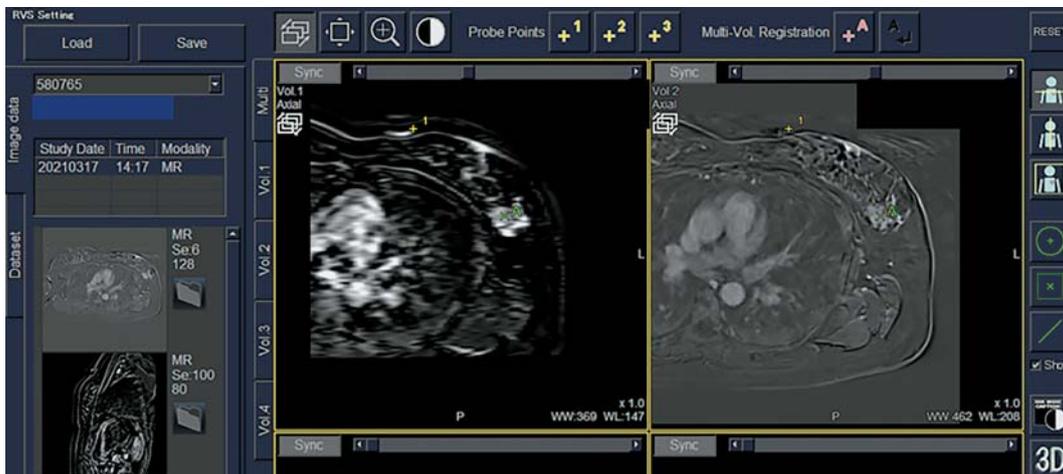


Рис. 5. Совмещение меток на МР- и УЗ-изображениях.

Fig. 5. Superposition of marks on MR and US images.

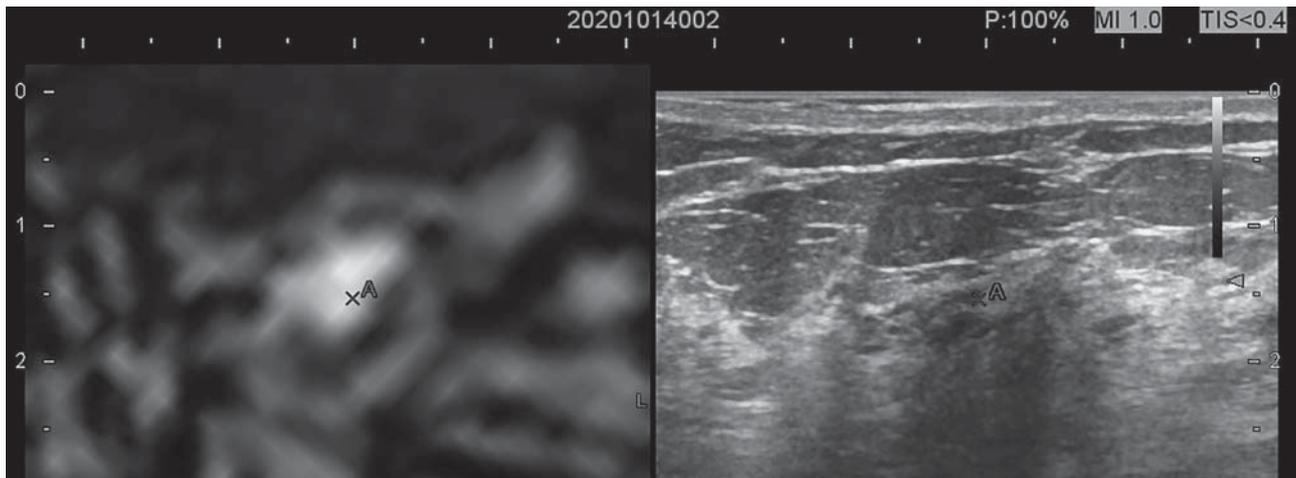


Рис. 6. Поиск зоны интереса и синхронизация МР- и УЗ-изображений на УЗ-аппарате. Метка А, установленная на МР-изображении, синхронизируется с зоной интереса на УЗИ.

Fig. 6. Searching for a region of interest (ROI) and synchronization of MR and US images on an ultrasound scanner. Mark A, is placed on the MR image and synchronized with the ROI on the ultrasound.

ное сканирование с динамическим контрастным усилением с болюсным введением гадолиний-содержащего контрастного препарата (Гадовист) с использованием body-катушки.

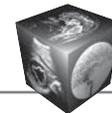
После сканирования исследование записывалось на цифровой носитель в формате DICOM и экспортировалось в базу данных УЗ-сканера, на котором в дальнейшем производились слияние данных, поиск зоны интереса и взятие гистологического материала.

Пациентка укладывалась на кушетку в позицию, аналогичной предбиопсийной МР-разметке. Генератор магнитного поля устанавливался максимально близко к области проведения биопсии,

после чего все движения пациентки были исключены. На УЗ-датчик фиксировались сенсоры положения, которые обеспечивали синхронизацию УЗ-картины с МР-срезами [17]. Далее производилось совмещение ранее установленных меток на МР-данных и при УЗИ (рис. 5).

После “привязки” изображений при перемещении УЗ-датчика синхронно менялись МР-срезы и производился поиск зоны интереса (рис. 6).

После локализации зоны интереса она оценивалась при мультипараметрическом УЗИ с применением ЦДК и эластографии, производился анализ полученной информации, в 60% случаев даже при локализации зоны интереса патологи-



ческие изменения при УЗИ отсутствовали. Далее производилась трепанобиопсия под местной анестезией.

Обсуждение

Полученные собственные результаты и опыт зарубежных коллег демонстрируют высокий потенциал применения фьюжн-биопсии для верификации патологических очагов молочной железы. Васкуляризированные изменения молочных желез, определяемые при МРТ, не всегда коррелируют с МГ и УЗИ [18]. По данным исследования E.P. Pons и соавт., проведенного в 2016 г., частота выявления патологических очагов, классифицируемых как категории BI-RADS 4–5, по данным совмещенного МРТ и УЗИ в режиме реального времени (90,7%) была существенно выше, чем при УЗИ в В-режиме (43%) [19].

Таким образом, технология слияния МР- и УЗ-данных позволяет улучшить обнаружение оккультных для УЗИ изменений и произвести точный забор гистологического материала. Собственный опыт использования фьюжн-биопсии подтверждает литературные данные – технология фьюжн может использоваться как альтернатива биопсии под МР-контролем, так как она обладает сопоставимой высокой точностью и является менее “тяжелой” для пациентки. Однако процедура является высокотехнологичной и для точного попадания в цель и адекватного забора гистологического материала необходимо строго соблюдать методику исследования.

Исследователи из Южной Кореи А.У. Park и В.К. Seo в 2016 г. продемонстрировали возможности и подробно описали методику выполнения фьюжн-биопсии васкуляризированных образований молочной железы. Исследование показало перспективные возможности методики не только для молочной железы, но и аксиллярных лимфатических узлов, а также простоту и удобство его использования [15].

По результатам собственного исследования определяемые по данным МРТ подозрительные на рак зоны контрастирования только в 13% случаев были верифицированы как злокачественный процесс, что подтверждает литературные данные о высокой чувствительности и низкой специфичности МРТ.

По данным M. Goto и соавт., опубликованным в 2022 г., совмещение МРТ и УЗИ в режиме реального времени являлось методикой “second-look”. В данном исследовании было выполнено МР-исследование молочных желез у 20 пациенток, в результате при МРТ выявлен 21 патологический очаг, не определяемый по результатам УЗИ. При сопо-

ставлении изображений МРТ с УЗИ в режиме реального времени 18 очагов были определены при УЗИ. После морфологической верификации 50% случаев были расценены как доброкачественные изменения, в 50% был подтвержден злокачественный рост (из них 22% – инвазивная карцинома, 78% – внутритротоковая карцинома) [20].

Таким образом, фьюжн-биопсия путем технологической и когнитивной корреляции данных МРТ и УЗИ способствует накоплению знаний, что в будущем позволит уменьшить количество неоправданных биопсий.

Внедренная в клиническую практику НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова методика фьюжн-биопсии может быть воспроизводима в условиях медицинского учреждения, оснащенного МР-томографом и УЗ-сканером с модулем виртуальной сонографии – RVS.

Заключение

Фьюжн-биопсия является перспективной методикой забора гистологического материала, которая может получить широкое распространение в диагностике патологических образований молочной железы. Данная методика объединяет в себе простоту использования УЗИ как метода визуального контроля при выполнении биопсии патологических изменений и высокую чувствительность МРТ при диагностике патологии молочных желез.

Участие авторов

Бусько Е.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Шагал М.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Васильев А.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Аполлонова В.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Целуйко А.И. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Табагуа Т.Т. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Тяжков С.А. – анализ и интерпретация полученных данных.

Кулиш А.В. – анализ и интерпретация полученных данных.

Багненко С.С. – написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Шевкунов Л.Н. – написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.



Authors' participation

Busko E.A. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Shagal M.A. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Vasiliev A.V. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Apollonova V.S. – conducting research, collection and analysis of data.

Tseluiko A.I. – conducting research, collection and analysis of data.

Tabagua T.T. – conducting research, collection and analysis of data.

Tiatkov S.A. – analysis and interpretation of the obtained data.

Kulish A.V. – analysis and interpretation of the obtained data.

Bagenko S.S. – writing text, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Shevkunov L.N. – writing text, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Атаев А.Г., Багненко С.С., Бойков И.В. и др. Лучевая диагностика: Учебник для студентов медицинских вузов / Под ред. Г.Е. Труфанова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 416 с.
2. Семиглазов В.Ф., Семиглазов В.В. Скрининг рака молочной железы. *Практическая онкология*. 2010; 11 (2): 61–62.
3. Evans A. Breast ultrasound: recommendations for information to women and referring physicians by the European Society of Breast Imaging. *Insights Imaging*. 2018; Vol 9: 449–461. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0636-z>.
4. Мазо М.Л., Рожкова Н.И., Прокопенко С.П., Бурдина И.И., Запирова С.Б., Якобс О.Э. Инвазивная лучевая диагностика рака молочной железы. Тонкоигольная биопсия или трепан-биопсия? *Медицинская визуализация*. 2015; 4: 79–86.
5. Бусько Е.А., Семиглазов В.В., Аполлонова В.С. и др. Интервенционные технологии в онкомаммологии. СПб.: ФГБУ НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова Минздрава России, 2020. 84 с.
6. Ульянова Р.Х., Чёрная А.В., Криворотько П.В., Новиков С.Н., Канаев С.В., Артемьева А.С., Шевкунов Л.Н., Тятков С.А., Данилов В.В. Дифференциальная диагностика патологии молочной железы с помощью типов накопления контрастного препарата при контрастной спектральной двухэнергетической маммографии. *Вопросы онкологии*. 2020; 66 (3): 252–261. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-3-252-261>
7. Jung I., Han K., Kim M.J. et al. Annual Trends in Ultrasonography-Guided 14-Gauge Core Needle Biopsy for Breast Lesions. *Korean J. Radiol.* 2020; 21 (3): 259–267. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0695>
8. Серебрякова С.В., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Юхно Е.А. Магнитно-резонансная томография с контрастным усилением в дифференциальной диагностике узловых образований молочных желез. *Трансляционная медицина*. 2016; 3 (5): 82–94. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2016-3-5-82-94>
9. Дитцель М., Мазо М.Л., Рожкова Н.И., Хоружик С.А., Куплевацкая Д.И., Бусько Е.А., Ходикян Г.К., Балтыцер П.А.Т. Как использовать шкалу кайзера для принятия диагностических решений при мультипараметрической МРТ молочной железы. *REJR*. 2020; 10 (3): 58–76. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-3-58-76>
10. Шумакова Т.А., Савелло В.Е. Комплексная лучевая диагностика рака молочной железы у женщин после увеличивающей маммопластики силиконовыми гелевыми имплантатами. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2014; 3: 36–46. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2014-0-3-36-46>
11. Papalouka V., Kilburn-Toppin F., Gaskarth M., Gilbert F. MRI-guided breast biopsy: a review of technique, indications, and radiological-pathological correlations. *Clin. Radiol.* 2018; 73 (10): 908.e17–908.e25. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2018.05.029>
12. Мазо М.Л., Якобс О.Э., Пучкова О.С., Фельдшеров М.В., Кондратьев Е.В. Первый опыт применения вакуумной аспирационной биопсии молочной железы под МТР-наведением. *Медицинский алфавит*. 2020; 29: 25–31. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-29-25-31>
13. Jung E.M., Friedrich C., Hoffstetter P. et al. Volume navigation with contrast enhanced ultrasound and image fusion for percutaneous interventions: first results. *PLoS One*. 2012; 7 (3): e33956. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033956>
14. Kuru T.H., Tulea C., Simpfendorfer T. et al. MRT-navigierte stereotaktische Prostatabiopsie : Echtzeitfusion von MRT und transrektalem Ultraschall zu perinealen Prostatastanzbiopsien [MRI navigated stereotactic prostate biopsy: fusion of MRI and real-time transrectal ultrasound images for perineal prostate biopsies]. *Urologe A*. 2012; 51 (1): 50–56. <https://doi.org/10.1007/s00120-011-2707-3>
15. Park A.Y., Seo B.K. Real-Time MRI Navigated Ultrasound for Preoperative Tumor Evaluation in Breast Cancer Patients: Technique and Clinical Implementation. *Korean J. Radiol.* 2016; 17 (5): 695–705. <https://doi.org/10.3348/kjr.2016.17.5.695>
16. Nakashima K., Uematsu T., Harada T.L. et al. MRI-detected breast lesions: clinical implications and evaluation based on MRI/ultrasonography fusion technology. *Jpn J. Radiol.* 2019; 37: 685–693. <https://doi.org/10.1007/s11604-019-00866-8>
17. Тухбатуллин М.Г. Fusion технологии в многопрофильной клинике. *Практическая медицина*. 2018; 1 (112): 65–68.
18. Fausto A., Fanizzi A., Volterrani L. et al. Feasibility, Image Quality and Clinical Evaluation of Contrast-Enhanced Breast MRI Performed in a Supine Position Compared to the Standard Prone Position. *Cancers*. 2020; 12 (9): 2364. <https://doi.org/10.3390/cancers12092364>
19. Pons E.P., Azcón F.M., Casas M.C. et al. Real-time MRI navigated US: role in diagnosis and guided biopsy of incidental breast lesions and axillary lymph nodes



detected on breast MRI but not on second look US. *Eur. J. Radiol.* 2014; 83 (6): 942–950. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.03.006>

20. Goto M., Nakano S., Saito M. et al. Evaluation of an MRI/US fusion technique for the detection of non-mass enhancement of breast lesions detected by MRI yet occult on conventional B-mode second-look US. *J. Med. Ultrason.* 2022; 49 (2): 269–278. <https://doi.org/10.1007/s10396-021-01175-2>

References

1. Ataev A.G., Bagnenko S.S., Boikov I.V. et al. Radiation diagnostics: a textbook for students of medical universities. / Ed. G.E. Trufanov. M.: GEOTAR-Media, 2009. 416 p. (In Russian)
2. Semiglazov V.F., Semiglazov V.V. Screening for breast cancer. *Practical Oncology.* 2010; 11 (2): 61–62. (In Russian)
3. Evans A. Breast ultrasound: recommendations for information to women and referring physicians by the European Society of Breast Imaging. *Insights Imaging.* 2018; Vol 9: 449–461. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0636-z>.
4. Mazo M.L., Rozhkova N.I., Prokopenko S.P., Burdina I.I., Zapirova S.B., Yakobs O.E. Diagnostics of Breast Lesions. A Fine-Needle Aspiration Biopsy or a Core-Biopsy? *Medical Visualization.* 2015; 4:79–86. (In Russian)
5. Busko E.A., Semiglazov V.V., Apollonova V.S. et al. Intervention technologies in oncomammology. SPb.: N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Health of Russia, 2020. 84 p. (In Russian)
6. Ulyanova R.Kh., Chernaya A.V., Krivorotko P.V., Novikov S.N., Kanaev S.V., Artem'eva A.S., Shevkunov L.N., Tyatkov S.A., Danilov V.V. Differential diagnosis of breast pathology using types of contrast agent accumulation in contrast spectral dual-energy mammography. *Issues of Oncology.* 2020; 66 (3): 252–261. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-3-252-261> (In Russian)
7. Jung I., Han K., Kim M.J. et al. Annual Trends in Ultrasonography-Guided 14-Gauge Core Needle Biopsy for Breast Lesions. *Korean J. Radiol.* 2020; 21 (3): 259–267. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0695>
8. Serebryakova S.V., Trufanov G.E., Fokin V.A., Yukhno E.A. The magnetic resonance mammography with dynamic contrast enhancement in the differential diagnostics of breast nodes. *Translational Medicine.* 2016; 3 (5): 82–94. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2016-3-5-82-94> (In Russian)
9. Dietzel M., Mazo M.L., Rozhkova N.V., Kharuzhyk S.A., Kuplevatskaya D.I., Busko E.A., Hodikan G.K., Baltzer P.A.T. How to use the kaiser score as a clinical decision rule for diagnosis in multiparametric breast MRI. *REJR.* 2020; 10 (3): 58–76. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-3-58-76> (In Russian)
10. Shumakova T.A., Savello V.Y. Complex radiological diagnosis of a breast cancer at women after augmentation

mammoplasty of silicone gel implants. *Tumors of Female Reproductive System.* 2014; 3: 36–46. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2014-0-3-36-46> (In Russian)

11. Papalouka V., Kilburn-Toppin F., Gaskarth M., Gilbert F. MRI-guided breast biopsy: a review of technique, indications, and radiological-pathological correlations. *Clin. Radiol.* 2018; 73 (10): 908.e17–908.e25. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2018.05.029>
12. Mazo M.L., Jacobs O.E., Puchkova O.S., Feldsherov M.V., Kondratyev E.V. First experience with MRI-guided vacuum aspirated breast biopsy. *Medical Alphabet.* 2020; 29: 25–31. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-29-25-31> (In Russian)
13. Jung E.M., Friedrich C., Hoffstetter P. et al. Volume navigation with contrast enhanced ultrasound and image fusion for percutaneous interventions: first results. *PLoS One.* 2012; 7 (3): e33956. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033956>
14. Kuru T.H., Tulea C., Simpfendorfer T. et al. MRT-navigierte stereotaktische Prostatabiopsie : Echtzeitfusion von MRT und transrektalem Ultraschall zu perinealen Prostatastanzbiopsien [MRI navigated stereotactic prostate biopsy: fusion of MRI and real-time transrectal ultrasound images for perineal prostate biopsies]. *Urologe A.* 2012; 51 (1): 50–56. <https://doi.org/10.1007/s00120-011-2707-3>
15. Park A.Y., Seo B.K. Real-Time MRI Navigated Ultrasound for Preoperative Tumor Evaluation in Breast Cancer Patients: Technique and Clinical Implementation. *Korean J. Radiol.* 2016; 17 (5): 695–705. <https://doi.org/10.3348/kjr.2016.17.5.695>
16. Nakashima K., Uematsu T., Harada T.L. et al. MRI-detected breast lesions: clinical implications and evaluation based on MRI/ultrasonography fusion technology. *Jpn J. Radiol.* 2019; 37: 685–693. <https://doi.org/10.1007/s11604-019-00866-8>
17. Tukhbatullin M.G. Fusion technology in a multidisciplinary clinic. *Practical Medicine.* 2018; 1 (112): 65–68. (In Russian)
18. Fausto A., Fanizzi A., Volterrani L. et al. Feasibility, Image Quality and Clinical Evaluation of Contrast-Enhanced Breast MRI Performed in a Supine Position Compared to the Standard Prone Position. *Cancers.* 2020; 12 (9): 2364. <https://doi.org/10.3390/cancers12092364>
19. Pons E.P., Azcón F.M., Casas M.C. et al. Real-time MRI navigated US: role in diagnosis and guided biopsy of incidental breast lesions and axillary lymph nodes detected on breast MRI but not on second look US. *Eur. J. Radiol.* 2014; 83 (6): 942–950. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.03.006>
20. Goto M., Nakano S., Saito M. et al. Evaluation of an MRI/US fusion technique for the detection of non-mass enhancement of breast lesions detected by MRI yet occult on conventional B-mode second-look US. *J. Med. Ultrason.* 2022; 49 (2): 269–278. <https://doi.org/10.1007/s10396-021-01175-2>



Для корреспонденции*: Бусько Екатерина Александровна – 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация. Тел.: +7-921-906-72-83. E-mail: katrn@mail.ru

Бусько Екатерина Александровна – доктор мед. наук, доцент, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”; доцент НК и ОЦ “Лучевая диагностика и ядерная медицина”, ФГБОУ ВО “СПбГУ”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-0940-6491>. E-mail: katrn@mail.ru

Шагал Мария Алексеевна – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-2856-4516>. E-mail: dr.shagal978@gmail.com

Васильев Александр Викторович – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-8692-1489>. E-mail: 24vav42@gmail.com

Аполлонова Вера Сергеевна – врач-онколог клинично-диагностического отделения ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-8196-9766>. E-mail: vsapollonova@mail.ru

Целуйко Андрей Игоревич – врач-онколог клинично-диагностического отделения ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-8384-5786>. E-mail: tselalex@rambler.ru

Табagua Тенгиз Тенгизович – канд. мед. наук, заведующий отделением, научный сотрудник отделения опухолей молочной железы ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”. Ассистент кафедры онкологии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова. <https://orcid.org/0000-0003-1471-9473>. E-mail: tedo8308@mail.ru

Тятков Станислав Александрович – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1877-8852>. E-mail: dr.Stan80@gmail.com

Кулиш Анна Васильевна – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-8274-4967>. E-mail: anka24@inbox.ru

Багненко Сергей Сергеевич – доктор мед. наук, доцент, заведующий – ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”; профессор кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии ФГБОУ ВО “СПбГПМУ”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>. E-mail: bagnenko_ss@mail.ru

Шевкунов Лев Николаевич – канд. мед. наук, заведующий отделением лучевой диагностики, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4533-1658>. E-mail: levka1978@mail.ru

Contact*: Ekaterina A. Busko – 68, Leningradsкая str., Pesochny, Saint-Petersburg 197758, Russian Federation. Phone: + 7-921-906-72-83. E-mail: katrn@mail.ru

Ekaterina A. Busko – Doct. of Sci. (Med.), Leading Researcher of Research Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology; Associate Professor of the Clinical Research and Education Center “Radiation diagnostics and nuclear medicine”, Saint-Petersburg State University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-0940-6491>. E-mail: katrn@mail.ru

Maria A. Shagal – radiologist of the Department of Diagnostic Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-2856-4516>. E-mail: dr.shagal978@gmail.com

Alexander V. Vasiliev – radiologist of the Department of Diagnostic Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-8692-1489>. E-mail: 24vav42@gmail.com

Vera S. Apollonova – oncologist, Clinical Diagnostic Department, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-8196-9766>. E-mail: vsapollonova@mail.ru

Andrey I. Tseluiko – oncologist, Clinical Diagnostic Department, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-8384-5786>. E-mail: tselalex@rambler.ru

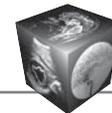
Tengiz T. Tabagua – Cand. of Sci. (Med.), Head of Department of Breast Tumors, Researcher of Department of Breast Tumors, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology. Assistant of the Department of Oncology, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-1471-9473>. E-mail: tedo8308@mail.ru

Stanislav A. Tiatkov – radiologist of the Department of Diagnostic Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1877-8852>. E-mail: dr.Stan80@gmail.com

Anna V. Kulish – radiologist of the Department of Diagnostic Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-8274-4967>. E-mail: anka24@inbox.ru

Sergey S. Bagnenko – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher and the Head of the Research Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology; Professor of the Department of Innovative Techniques of Diagnostics and Radiation Therapy, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>. E-mail: bagnenko_ss@mail.ru

Lev N. Shevkunov – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Diagnostic Radiology, Senior Researcher of Research Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4533-1658>. E-mail: levka1978@mail.ru



Молочная железа. Специальная сессия под редакцией профессора С.С. Багненко
Breast. Special session edited by professor S.S. Bagnenko

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1166>

Магнитно-резонансная маммография в диагностике гистологического класса филлоидных опухолей

© Серебрякова С.В.^{1,2*}, Юхно Е.А.², Куцкая А.О.³, Смирнова В.О.⁴

¹ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России; 194044 Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации; 194044 Санкт-Петербург, улица Академика Лебедева, 6, Российская Федерация

³ ФГКУ “Поликлиника №4 Федеральной таможенной службы”; 196105 Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 141, стр. 1, Российская Федерация

⁴ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация

Цель исследования: ретроспективно оценить данные МР-маммографии филлоидных опухолей молочной железы и провести корреляцию МР-семиотики данных новообразований с гистологическим классом.

Материал и методы. Проанализированы данные МР-маммографии 27 пациенток (средний возраст 37,8 года) с филлоидными опухолями молочных желез, подтвержденными гистологически.

При анализе учитывались форма и структура опухоли, характеристики ее краев, размер и тип накопления контрастного препарата, гиперинтенсивный сигнал от опухолевой ткани на T1ВИ, наличие гипо- или изоинтенсивного сигнала от опухолевой ткани относительно нормальной ткани железы на T2ВИ; наличие в толще опухоли кистозных включений и тип их контуров.

Результаты. Анализ включал 18 случаев доброкачественных образований, 4 пограничных и 5 злокачественных филлоидных образований. Достоверно коррелировали с гистологическим классом опухоли такие признаки, как неровные контуры кистозных включений в структуре опухоли ($p = 0,003$), гипо- или изоинтенсивный относительно нормальной ткани железы сигнал от образования на T2ВИ ($p = 0,005$). Гиперинтенсивный сигнал от образования на T1ВИ чаще встречался при злокачественных (3/5) и пограничных (2/4) образованиях, чем при доброкачественных (2/18), однако данная зависимость оказалась статистически недостоверной ($p = 0,021$). Гиперинтенсивный сигнал от образования на T1ВИ и кистозные включения с неровными контурами при гистологическом исследовании соответствовали кровоизлияниям и участкам некроза. Гипо- или изоинтенсивные на T2ВИ участки при патоморфологическом исследовании соответствовали участкам гиперцеллюлярности стромы.

Заключение. Отдельные МР-признаки позволяют спрогнозировать гистологический тип филлоидных опухолей молочной железы, а также данные МР-маммографии способствуют выбору оптимальной локализации при проведении биопсии.

Ключевые слова: молочная железа, филлоидная опухоль, магнитно-резонансная томография

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Серебрякова С.В., Юхно Е.А., Куцкая А.О., Смирнова В.О. Магнитно-резонансная маммография в диагностике гистологического класса филлоидных опухолей. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 57–68. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1166>

Поступила в редакцию: 31.03.2022. **Принята к печати:** 11.11.2022. **Опубликована online:** 28.12.2022.



The MR mammography of phyllodes tumors of different histological grades

© Svetlana V. Serebryakova^{1, 2*}, Elena A. Yukhno², Anastasiya O. Kutckaya³, Victoria O. Smirnova⁴

¹ Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters; 4/2, Academic Lebedev str., St. Petersburg 194044, Russian Federation

² S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia; 6, Academician Lebedev str., St. Petersburg 194044, Russian Federation

³ Polyclinic №4 of the Federal Customs Service; 1-141, Moskovsky prosp., St. Petersburg 196105, Russian Federation

⁴ N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68, Leningradskaya str., Pesochny, St. Petersburg 197758, Russian Federation

Purpose: to evaluate retrospectively the MR data of the breast phyllodes tumors and to perform comparative analysis of the MR signs and the histological grade of the phyllodes tumors.

Materials and methods. The analyses enrolled 27 pathologically confirmed phyllodes tumors (mean age of patient 37.8 y.o.). Following features were evaluated: tumor shape and structure, margins, size, type of contrast enhancement, foci of high signal intensity on the T1-WI, foci of hypo- or isointense signal on the T2-WI comparing with intact breast tissue, presence of cystic inclusions and the type of their margins.

Results. The study included 18 benign, 4 borderline and 5 malignant phyllodes tumors. The following features showed significant correlation with the tumor grade: irregular margins of the cystic foci ($p = 0.003$), foci of hypo- or isointense signal on the T2-WI compared with intact breast tissue ($p = 0.005$). Foci of high signal intensity on the T1-WI were often revealed in the malignant (3/5) and borderline tumors (2/4), but this dependence was not significant ($p = 0.021$). According to pathomorphological correlation the foci of the high signal intensity on the T1-WI corresponded to hemorrhages, while cystic foci with irregular margins were revealed to be foci of necrosis. The foci of hypo- or isointense signal on the T2-WI compared with intact breast tissue corresponded to the hypercellular stroma.

Conclusion. Specific features of phyllodes tumors are useful in differentiation of their histological types; furthermore the MR mammography provides accurate data for planning the point of biopsy.

Keywords: breast, phyllodes tumor, Magnetic Resonance Imaging

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Serebryakova S.V., Yuhno E.A., Kutckaya A.O., Smirnova V.O. The MR mammography of phyllodes tumors of different histological grades. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 57–68. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1166>

Received: 31.03.2022.

Accepted for publication: 11.11.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

Филлоидные опухоли молочной железы относятся к редким образованиям, составляя менее 1% всех опухолей молочной железы и 2–3% случаев фиброэпителиальной неоплазии [1]. В подавляющем большинстве случаев данная патология встречается у женщин активного гормонального периода, и средний возраст составляет 39 ± 9 лет. Филлоидные опухоли имеют двухкомпонентное строение и состоят из эпителиальных элементов и соединительнотканной стромы. Выделяют 3 гистологических варианта этих опухолей, различающихся соотношением стромального и эпителиального компонентов, четкостью контуров опухоли, клеточностью стромального компонента, ядерным

полиморфизмом, числом фигур митозов и наличием гетерологичных элементов. Средний возраст больных с доброкачественной филлоидной опухолью достоверно меньше, чем при пограничном и злокачественном вариантах (33 года против 43 и 46 лет соответственно) [2]. Около 10–30% листовидных опухолей являются злокачественными [3].

Клиническая картина не отличается специфичностью и варьирует от небольших опухолей с четкими крупнобугристыми контурами до новообразований, занимающих всю молочную железу, склонных к быстрому росту и деформации контуров молочной железы [4]. Отмечается 3 типа роста филлоидных опухолей: медленный (отсут-



ствии роста в течение более 4 мес, быстрый рост – увеличение размеров опухоли независимо от времени обнаружения, двухфазный – медленный рост сменяется быстрым [5]. Частота мультицентричности достигает 32% [6]. У 10–15% пациентов наблюдается аксиллярная лимфаденопатия [7].

Редкостью данных новообразований, своеобразием клинического течения и полиморфизмом морфологического строения объясняются ограниченная осведомленность о них врачей и разнородность их взглядов как на природу указанных процессов, так и на принципы лечебных подходов.

Частота местного рецидива доброкачественных филлоидных опухолей достигает 9,5%, при пограничных – 43%, при злокачественных – 45% [8], более того, отдаленные метастазы встречаются при злокачественных вариантах филлоидных опухолей до 22% [22]. На данный момент хирургическое лечение филлоидных опухолей предполагает иссечение опухоли либо выполнение мастэктомии при больших размерах с дальнейшей реконструктивной маммопластикой. Полное иссечение доброкачественных филлоидных опухолей допустимо без оценки краев резекции, но для пограничных и злокачественных необходимо выполнение резекции с отступом не менее 1 см либо тотальной мастэктомии [9, 10].

Тонкоигольная аспирационная биопсия не всегда является информативной в проведении дифференциальной диагностики между злокачественными и доброкачественными филлоидными опухолями, так как чаще всего в структуре строны одного и того же узла встречаются и те, и другие участки строения [11, 12]. К тому же по данным тонкоигольной аспирационной биопсии невозможно дифференцировать филлоидную опухоль и фибroadеному [13]. Рекомендовано проведение core-биопсии [14].

Согласно данным предыдущих исследований [15, 16], рентгеновская маммография и УЗИ молочных желез не предоставляют достаточное количество данных для дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных филлоидных образований. Помимо этого, на данный момент недостаточно изученными остаются МР-характеристики данного вида опухолей. D.M. Farria и соавт. [17] описали МР-семиотику 4 доброкачественных филлоидных опухолей молочной железы, при этом все образования демонстрировали быстрое накопление контрастного вещества при проведении исследования с динамическим контрастированием. T. Kinoshita и соавт. [18], проанализировав данные МР-исследований 8 пациенток с доброкачественными филлоидными опухолями

молочных желез, описывают их ровные контуры, лобулярную или полигональную форму и встречающуюся иногда кистозную перестройку или наличие внутренних перегородок.

Наше исследование было направлено на выявление возможных корреляций между гистологическим классом опухоли и ее МР-признаками, а также выбора оптимальной локализации для проведения биопсии.

Цель исследования

Ретроспективная оценка МР-признаков филлоидных опухолей молочной железы и сравнение их с гистологическим типом опухоли.

Материал и методы

Проанализированы данные МР-маммографии 27 пациенток (средний возраст – 37,8 года) с филлоидными опухолями молочных желез, где диагноз был верифицирован с помощью гистологического исследования. Во всех случаях перед МР-исследованием пациенткам выполнялась аспирационная биопсия с цитологическим анализом материала, в 7 случаях после МР-маммографии дополнительно была проведена пункционная биопсия.

Магнитно-резонансную томографию молочных желез выполняли на аппарате Magnetom Symphony (Siemens) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл, используя специальную поверхностную катушку “breast coil”. Сначала выполняли Т2ВИ без и с использованием жироводавления для первичной оценки структуры молочных желез в аксиальной и корональной плоскостях, захватывая зону интереса молочные железы и подмышечную область. Для динамического контрастного усиления использовали Т1ВИ 3D-FLASH FS в аксиальной плоскости с одной преконтрастной серией и шестью постконтрастными (5 сразу после внутривенного введения парамагнитного контрастного вещества и 1 отсроченную через 7–10 мин). В качестве парамагнитных контрастных веществ использовали полумолярные и одномолярные парамагнитные контрастные средства [19].

При анализе МР-изображений учитывались форма образования (округлая, овоидная, дольчатая, неправильная), контуры образования (гладкие, неровные, лучистые) и характер контрастного усиления (однородное, неоднородное, периферическое кольцевидное, накопление контрастного препарата внутренними перегородками, отсутствие контрастирования внутренних перегородок, центральное накопление, отсутствие накопления). Кроме того, оценивались такие параметры, как размер опухоли; интенсивность сигнала от ново-



образования выше, чем от интактной ткани железы в T1-взвешенности; интенсивность сигнала от опухоли ниже или идентична сигналу от интактной ткани железы в T2-взвешенности; наличие в опухоли участков кистозной перестройки с неровными контурами; наличие в опухоли участков кистозной перестройки с гладкими контурами; тип кривой динамического контрастного усиления.

В завершение исследования осуществляли постпроцессорную обработку полученных данных, которая включала в себя: методику цифровой субтракции (вычитания), построение MIP-реконструкций, динамических кривых захвата и выведения контрастного вещества различными отделами образования. Затем анализировали изменение МР-сигнала в выбранных областях во всех сериях динамического сканирования. За 0% принимали интенсивность сигнала от ткани образования до контрастного усиления. Данные анализа представляли либо в табличном виде, либо в виде графической зависимости изменения интенсивности сигнала при прохождении болюса парамагнитного контрастного средства от времени с последующим построением перфузионных цветовых карт: накопления (wash-in), вымывания (wash-out) контрастного вещества, степень увеличения максимальной интенсивности сигнала за время динамического измерения (MIP time), вычисление интеграла положительного накопления (площадь под кривой, PEI) и времени появления максимального перфузионного сигнала (ТТР).

Кривые время–интенсивность сигнала классифицировались на 3 типа в зависимости от сигнальных характеристик опухоли в течение 4 последних фаз контрастного усиления: 1) постоянный, при котором отмечалось неуклонное нарастание интенсивности сигнала от опухоли, 2) плато, при котором после первичного повышения в отсроченную фазу интенсивность сигнала оставалась постоянной, 3) вымывание, для которого было характерно пиковое накопление контрастного препарата в отсроченную фазу с последующим падением интенсивности сигнала [20].

Учитывая результаты всех методов исследования, планировали объем оперативного вмешательства для каждой пациентки.

Гистологическому исследованию подвергались материалы хирургической резекции. В соответствии с критериями оценки филоидных опухолей по классификации опухолей молочной железы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 2019) опухоли подразделялись на 3 типа: доброкачественные, пограничные и злокачественные [21]. Доброкачественными считались образования с экспансивными краями, с минимальной или

умеренной клеточностью стромы при отсутствии разрастания стромы и гетерологичных элементов; стромальные клетки без атипии и с низкой митотической активностью (0–4 митоза в 10 полях зрения большого увеличения микроскопа или менее 2,5 митоза/мм²). Критериями злокачественности филоидной опухоли являются: инфильтративные контуры образования, высокая клеточность стромы и избыточный стромальный рост, возможное присутствие гетерологичных элементов; выраженная атипия клеток стромы и высокая митотическая активность (более 10 митозов в 10 полях зрения большого увеличения микроскопа или более 5 митозов/мм²) (рис. 1).

Данные патоморфологического исследования сопоставлялись с такими МР-характеристиками опухоли, как повышенный сигнал на T1ВИ, пониженный или изоинтенсивный с железистой тканью сигнал на T2ВИ, наличие участков кистозной перестройки с неровными контурами и включениями с понижением перфузии.

Данные МР-маммографии и гистологических исследований подвергались статистическому анализу с целью определения корреляции.

Для установления зависимости между размером опухоли и гистологическим типом выполнялся анализ коэффициента Spearman. Разница в пропорции положительных МР-данных в 3 категориях (доброкачественный, пограничный и злокачественный типы опухоли) оценивались с использованием теста Fisher с коррекцией Bonferroni. Показателем статистической значимости после поправки Bonferroni считалось значение $p = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Анализ включал 18 случаев доброкачественных образований, 4 пограничных и 5 злокачественных филоидных образований. В среднем максимальный диаметр доброкачественных филоидных опухолей составил $5,6 \pm 2,7$ см, пограничных – $7,1 \pm 3,2$ см и злокачественных – $7,7 \pm 2,0$ см (см. таблицу). Статистически значимой зависимости между размером опухоли и ее гистологическим типом выявлено не было ($p = 0,173$, $p = 0,276$). Достоверно коррелировали с гистологическим классом опухоли такие признаки, как неровные контуры кистозных включений в структуре опухоли ($p = 0,003$).

Среди опухолей с наличием участков кистозной перестройки с неровными контурами ($p = 0,003$) и опухолей с МР-сигналом в T2-взвешенности гипо- или изоинтенсивным по сравнению с неизменной тканью железы ($p = 0,005$) было выявлено большее число злокачественных новообразований. Повышение интенсивности сигнала от ткани

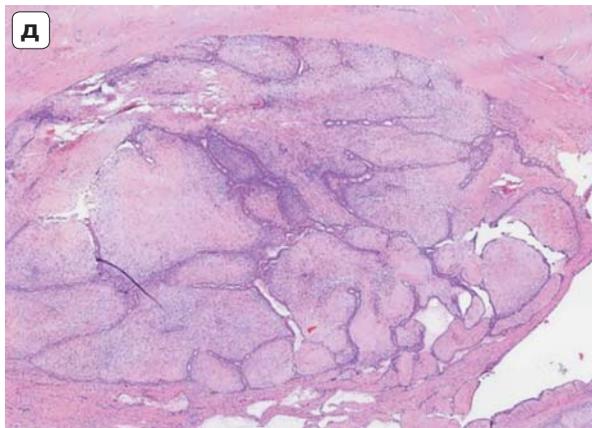
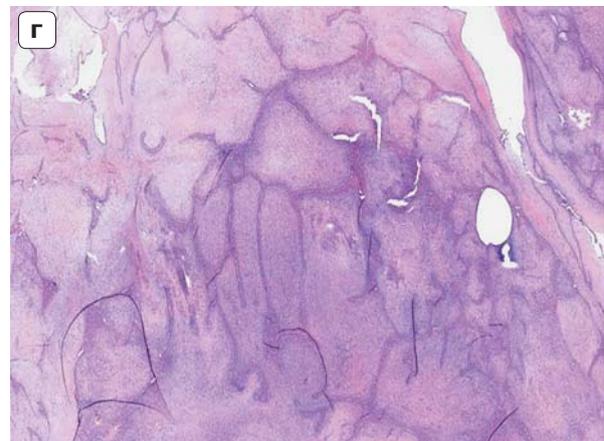
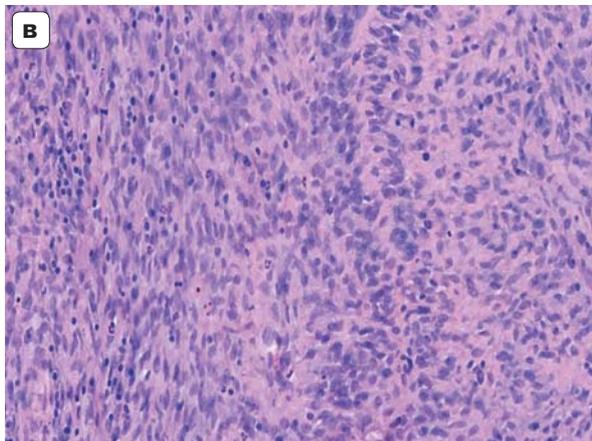
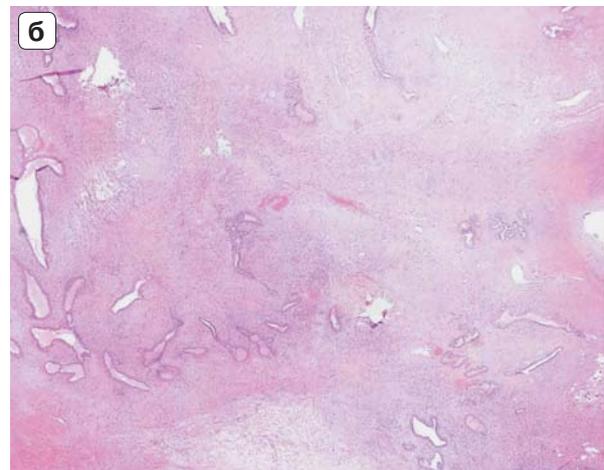
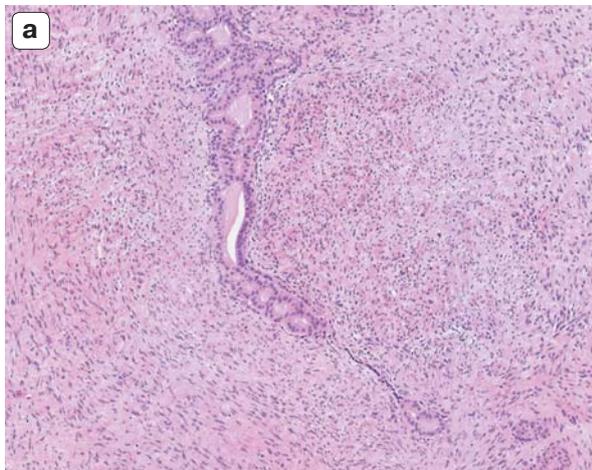


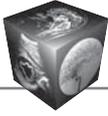
Рис. 1. а – доброкачественная филоидная опухоль, окраска гематоксилином и эозином, $\times 50$; б – доброкачественная филоидная опухоль, окраска гематоксилином и эозином, $\times 10$; в – злокачественная филоидная опухоль, окраска гематоксилином и эозином, $\times 100$; г – злокачественная филоидная опухоль, окраска гематоксилином и эозином, $\times 20$; д – пограничная филоидная опухоль, окраска гематоксилином и эозином, $\times 10$.

Fig. 1. а – benign phyllodes tumor, stained with hematoxylin and eosin, $\times 50$; б – benign phyllodes tumor, stained with hematoxylin and eosin, $\times 10$; в – malignant phyllodes tumor, stained with hematoxylin and eosin, $\times 100$; г – malignant phyllodes tumor, stained with hematoxylin and eosin, $\times 20$; д – borderline phyllodes tumor, stained with hematoxylin and eosin, $\times 10$.

опухоли по сравнению с паренхимой молочной железы в Т1-взвешенности чаще наблюдалось среди злокачественных (3 из 5) и пограничных новообразований (2 из 4), чем в группе доброкачественных филоидных опухолей (2 из 18), однако данная корреляция не явилась статистически значимой ($p = 0,021$). Частота встречаемости в опухолевой ткани кистозных включений с гладкими

стенками не коррелировала со злокачественным классом листовидных опухолей ($p = 0,637$), тогда как перфузия демонстрировала статистически значимую зависимость с гистологическим типом ($p = 0,001$, $p = -0,876$).

Кистозные включения с неровными контурами в структуре опухоли соответствовали участкам некроза; гиперинтенсивные на Т1ВИ участки –

**Таблица.** Корреляция МР-симптомов и гистологических типов филлоидных опухолей молочных желез**Table.** Correlation of MR symptoms and histological grade of phyllodes tumors

Характеристика опухоли Tumors characteristics		Доброкачественные Benign (n = 18)	Пограничные Borderline (n = 4)	Злокачественные Malignant (n = 5)
Размер, см / Size, cm		5,6 ± 2,7	7,1 ± 3,2	7,7 ± 2,0
Форма Form	округлая / round	1	0	0
	овоидная / oval	1	0	0
	дольчатая / lobular	16	4	5
	неправильная / irregular	0	0	0
Контуры Margins	гладкие / smooth	18	4	5
	неровные / irregular	0	0	0
	лучистые / spiculated	0	0	0
Характер контрастного усиления Contrast enhancement	однородное / homogeneous	5	1	0
	неоднородное / heterogeneous	5	1	2
	кольцевидное / ring-shaped	0	0	1
	отсутствие контрастирования внутренних перегородок no enhancement internal sept	8	3	1
	контрастирование внутренних перегородок enhancement internal septa	0	0	0
	центральное накопление central enhancement	0	0	0
	отсутствие накопления no enhancement	0	0	0
Участки кистозной перестройки Cystic restructuring	с гладкими контурами smooth wall	18	3	2
	с неровными контурами irregular wall	0	1	3
Гиперинтенсивный МР-сигнал на T1ВИ High signal intensity on T1 WI		2	2	3
Изо-гипоинтенсивный МР-сигнал на T2ВИ Low or equal signal on T2 WI		1	2	3
Тип кривой динамического контрастного усиления Type of time-signal intensity curve	II	12	2	3
	III	7	2	2

кровоизлияниям, а участки гипо- или изоинтенсивного сигнала по сравнению с интактной тканью железы на T2ВИ соответствовали зонам повышенной стромальной клеточности (рис. 2–4).

Согласно результатам проведенного анализа, было выявлено, что злокачественному типу филлоидных опухолей соответствуют следующие МР-признаки: очаги повышенного сигнала по сравнению с паренхимой молочной железы на T1ВИ, кистозные включения с неровными контура-

ми, участки более низкого или изоинтенсивного сигнала по сравнению с паренхимой железы на T2ВИ.

L. Liberman и соавт. [15] опубликовали сравнительный анализ данных маммографии и УЗИ филлоидных опухолей с результатами гистологического исследования. По их данным признаком злокачественного характера неопластического роста служил размер опухоли более 3 см, тогда как прочие характеристики злокачественных

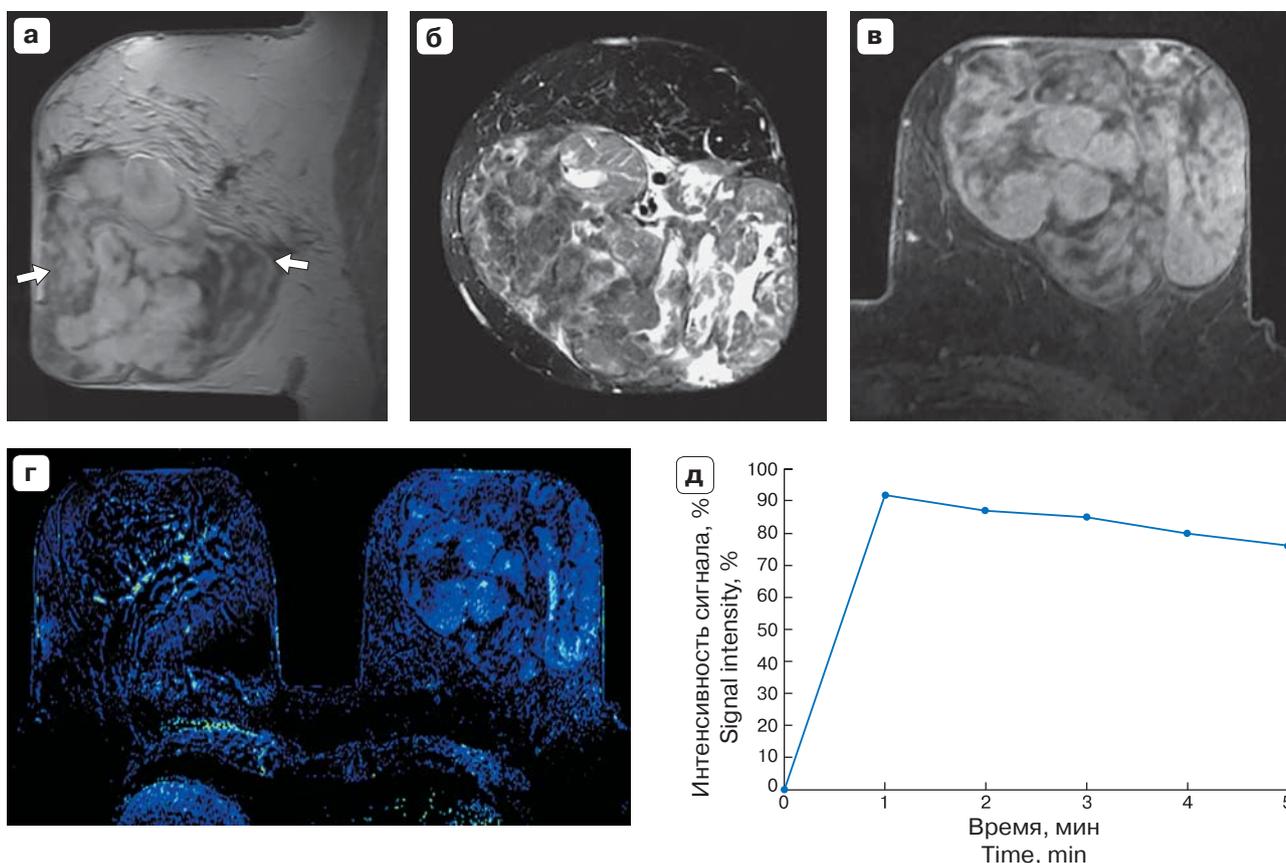
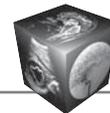


Рис.2. Пограничная филоидная опухоль левой молочной железы у пациентки 53 лет. МРТ.

а – на сагиттальном бесконтрастном T1ВИ определяется образование, характеризующееся участками гипо- и гиперинтенсивного сигнала относительно окружающей ткани (стрелки);

б – на корональном T2ВИ в последовательности инверсия-восстановление с коротким T1 определяется образование с четкими контурами и гетерогенным МР-сигналом;

в – на аксиальном постконтрастном T1ВИ определяется образование, характеризующееся гетерогенным паттерном накопления контрастного препарата. Стенка образования характеризуется неравномерной толщиной и кистозными включениями;

г – MIP time map (перфузия). Зона с низким МР-сигналом соответствовала гиперцеллюлярной строме;

д – динамическая кривая демонстрирует паттерн контрастного препарата по типу плато.

Fig. 2. Borderline phyllodes tumor of the left breast in a 53-year-old patient. MRI.

a – sagittal nonenhanced T1, a formation characterized by areas of low-signal-intensity and hyperintensive signal relative to the surrounding tissue (arrows);

б – coronal T2, in the inversion-recovery sequence with a short T1, a formation with clear contours and a heterogeneous MR signal;

в – axial post-contrast T1, a formation characterized by a heterogeneous pattern of accumulation of a contrast preparation is determined. The wall of the formation is characterized by uneven thickness and cystic inclusions;

г – MIP time map (perfusion). Zones with a low MR signal corresponded to a hypercellular stroma;

д – The time-signal intensity curve demonstrates the pattern of the contrast agent according to the plateau type.

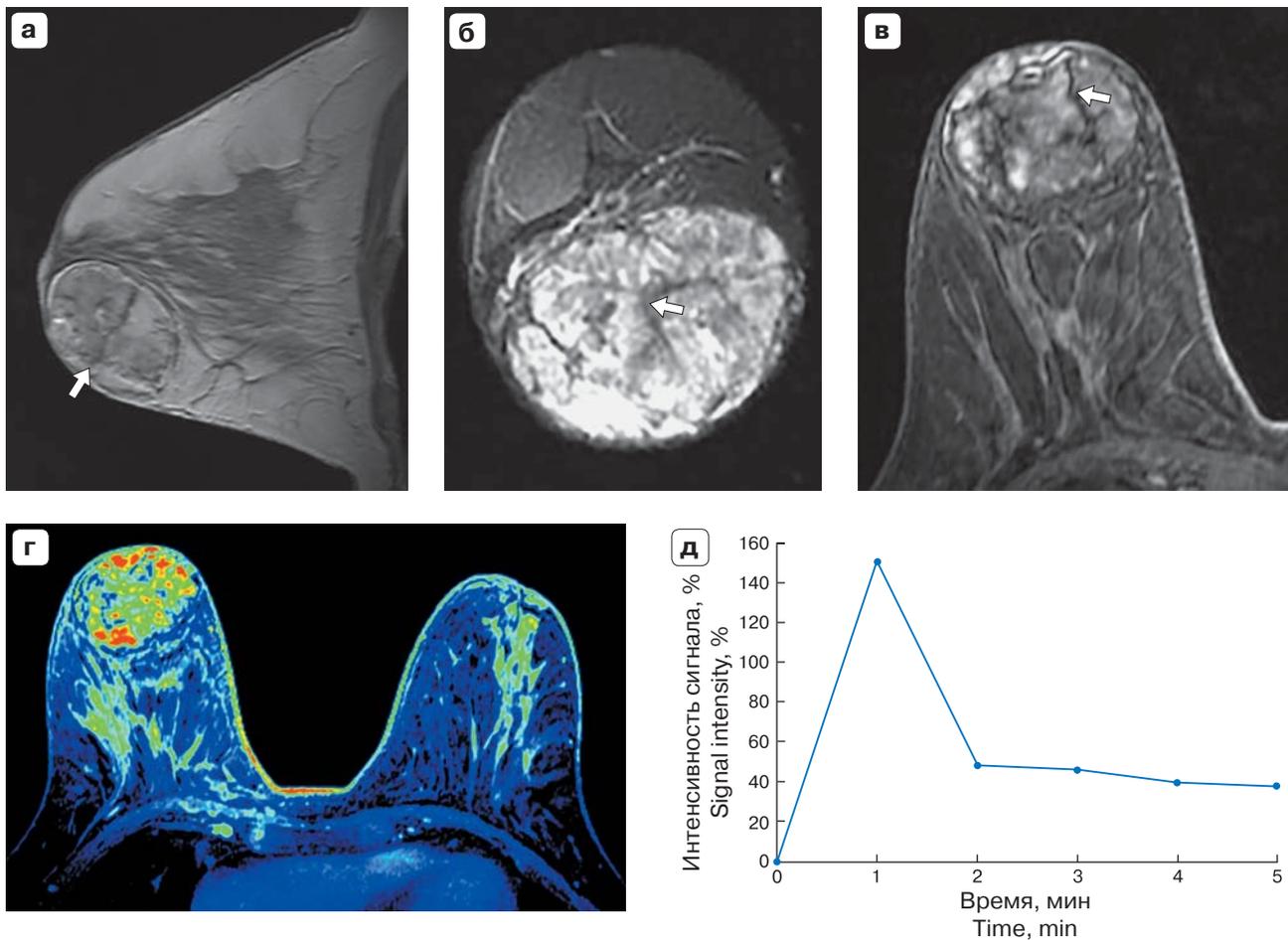


Рис. 3. Злокачественная филоидная опухоль правой молочной железы у пациентки 29 лет. МРТ.

а – на сагиттальном бесконтрастном T1ВИ определяется образование, характеризующееся участками гипо- и гиперинтенсивного сигнала относительно окружающей ткани (стрелка);

б – на корональном T2ВИ в последовательности инверсия-восстановление с коротким T1 определяется образование с четкими контурами и гетерогенным МР-сигналом. В центральном отделе опухоли выявляется участок (стрелка), изоинтенсивный окружающей ткани;

в – на аксиальном постконтрастном T1ВИ определяется образование, характеризующееся гетерогенным паттерном накопления контрастного препарата. Стенка образования характеризуется неравномерной толщиной и кистозными включениями (стрелка);

г – MIP time map (перфузия). Зона с низким МР-сигналом соответствовала гиперцеллюлярной строме;

д – динамическая кривая демонстрирует паттерн контрастирования по типу вымывания.

Fig. 3. Malignant phyllodes tumor of the right breast in a 29-year-old patient. MRI.

a – sagittal nonenhanced T1, a formation characterized by areas of low-signal and hyperintense signal relative to the surrounding tissue is determined (arrow);

б – coronal T2, in the inversion-recovery sequence with a short T1, a formation with clear contours and a heterogeneous MR signal is determined. In the central part of the tumor, an area (arrow) isointense of the surrounding tissue is detected;

в – axial contrast-enhanced T1, a formation characterized by a heterogeneous pattern of accumulation of a contrast preparation is determined. The wall of the formation is characterized by uneven thickness and cystic inclusions (arrow);

г – MIP time map (perfusion). The zone with a low MR signal corresponded to a hypercellular stroma;

д – The time-signal intensity curve demonstrates a pattern of contrast by the type of washout.

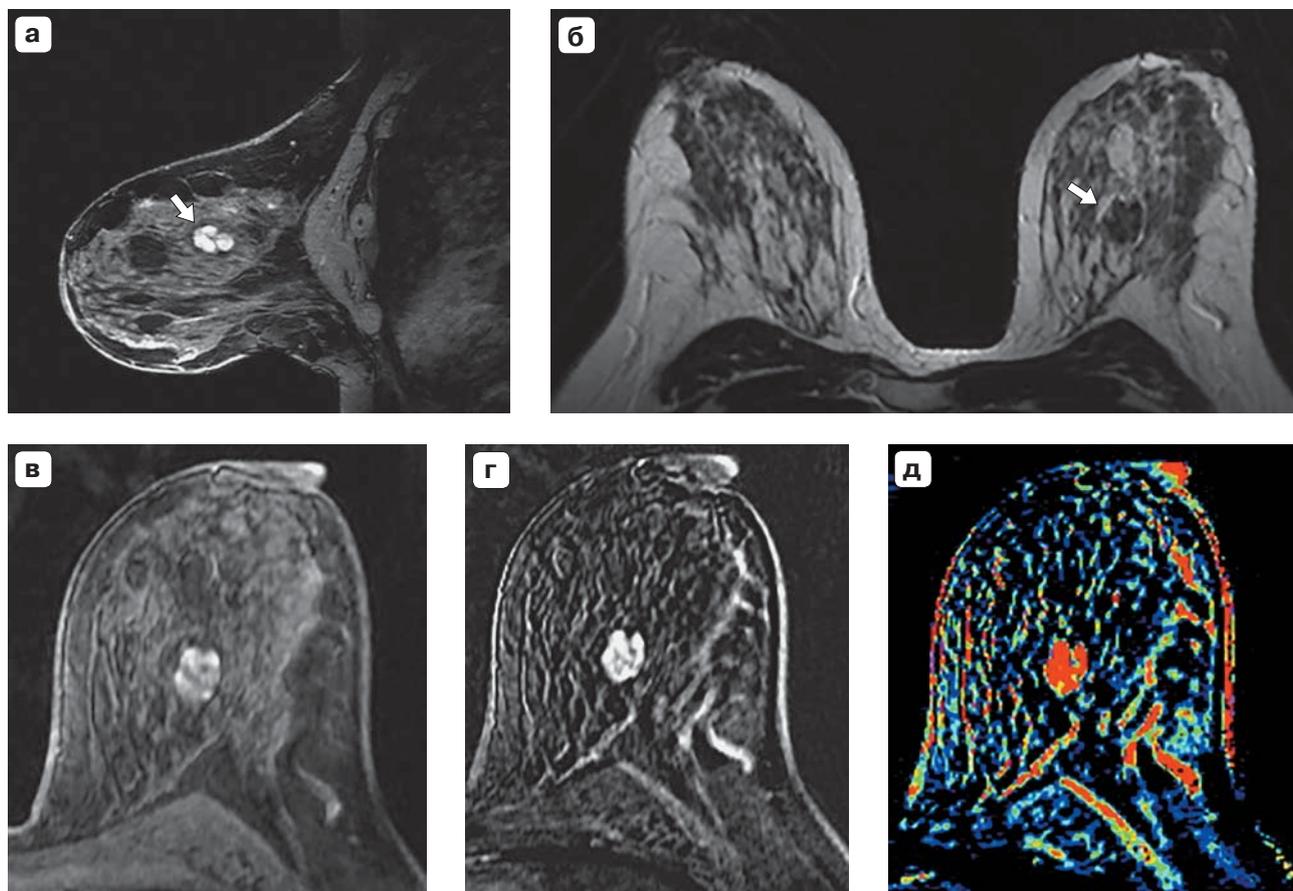
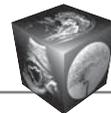


Рис. 4. Доброкачественная филоидная опухоль левой молочной железы у пациентки 40 лет. МРТ.

а – на сагиттальном бесконтрастном T2ВИ определяется образование с четкими контурами с наличием кистозных включений, гиперинтенсивное относительно окружающей ткани с наличием гладких внутренних перегородок (стрелка);

б – на аксиальном T1ВИ в последовательности данное образование имеет гипоинтенсивный MR-сигнал (стрелка);

в – на аксиальном постконтрастном T1ВИ и субтракционном (**г**) определяется образование, характеризующееся гетерогенным паттерном накопления контрастного препарата;

г – MIP time map (перфузия). Преимущественный повышенный сигнал свидетельствует о низкой стромальной клеточности;

д – динамическая кривая демонстрирует паттерн контрастирования по типу плато.

Fig. 4. Benign phyllodes tumor of the left breast in a 40-year-old patient. MRI.

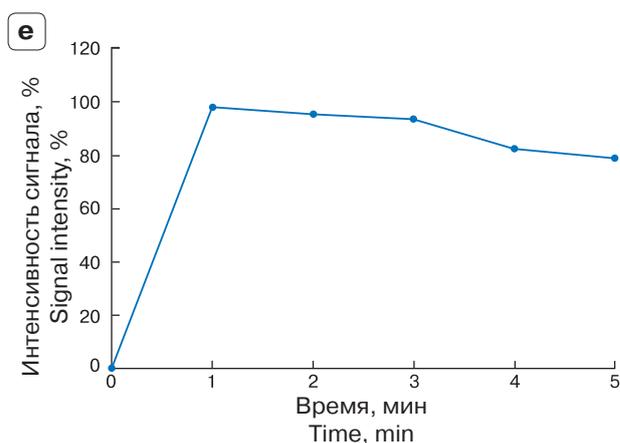
а – on a sagittal nonenhanced T2, a formation with clear contours with the presence of cystic inclusions is determined, hyperintensive relative to the surrounding tissue with the presence of smooth internal partitions (arrow);

б – on the axial T1 in the sequence, this formation has a hypointensive MR signal (arrow);

в – on the axial contrast-enhanced T1 and subtraction (**г**), the formation is determined, characterized by a heterogeneous pattern of accumulation of contrast preparation;

г – MIP time map (perfusion). The predominant increased signal indicates low stromal cell content;

д – the time-signal intensity curve demonstrates a plateau-type contrast pattern.





и доброкачественных филлоидных новообразований в существенной степени перекрывались. По результатам этой работы УЗ-признаками филлоидных опухолей явились внутренние эхогенные включения, дорсальные изменения эхо и наличие участков кистозной трансформации. Однако в проведенном анализе не рассматривался такой показатель, как характер контуров кистозных включений.

При гистологическом исследовании филлоидные опухоли могут иметь в своем строении участки папиллярного строения, пролабирующие в кистозные пространства, и при УЗИ в структуре опухолей данного типа часто выявляются кистозные включения. Таким образом, характер контуров кистозных включений представляется важным дифференциальным признаком пограничных и злокачественных филлоидных опухолей. МР-маммография в большей степени подходит для анализа их внутренней архитектоники, чем УЗИ.

В некоторых исследованиях были описаны характерные МР-признаки доброкачественных филлоидных опухолей [17, 18]. Это объемные образования округлой и дольчатой формы с четкими контурами, гипер- и изоинтенсивного сигнала на T2ВИ, гипоинтенсивного сигнала на T1ВИ, с наличием внутренних перегородок и кистозных включений, при динамическом контрастном усилении происходило быстрое накопление контрастного препарата либо прогредиентное нарастание контрастного усиления.

В настоящем исследовании статистически значимой связи между типом кривой интенсивность сигнала–время и гистологическим типом опухоли выявлено не было. В целом 12 из 18 доброкачественных филлоидных опухолей демонстрировали изначально быстрое накопление контрастного препарата. В МР-маммографии изначально быстрое контрастное усиление принято рассматривать как признак злокачественного роста, однако, по видимому, это не относится к филлоидным новообразованиям. Полученные нами результаты согласуются с данными D.M. Farría [17] и T. Kinoshita [18]. Возможно, такой паттерн накопления контрастного препарата отражает наличие в доброкачественных листовидных опухолях эпителиального компонента.

Проведенный нами анализ показал отсутствие статистически значимой связи между формой опухоли, характером ее контуров, типом ее контрастирования и гистологическим классом. Такие МР-признаки, как тип контуров, характер контрастирования и тип динамической кривой, имеют значение в дифференциальной диагностике до-

брокачественных и злокачественных филлоидных опухолей. Кольцевидное накопление контрастного препарата является типичным признаком злокачественного роста. Все филлоидные опухоли в исследуемой группе характеризовались ровными контурами, паттерн контрастирования при этом не демонстрировал статистически значимой связи с гистологическим типом опухоли. Таким образом, мы считаем, что помимо классических признаков, таких как кольцевидное накопление контрастного препарата, лучистость контуров и тип динамической кривой, в диагностике гистологического класса листовидных опухолей имеют значение сигнальные характеристики в T1- и T2-взвешенности, характер контуров кистозных включений.

Одной из основных диагностических проблем, связанных с филлоидными опухолями молочных желез, является то, что ни цитологический анализ аспирата, ни УЗИ, ни маммография не позволяют дифференцировать новообразования данного типа от фиброаденом. По данным цитологического исследования аспирата доброкачественные филлоидные опухоли молочных желез нередко ошибочно принимаются за фиброаденомы. В соответствии с результатами настоящей работы гипоинтенсивные на T2ВИ включения и/или участки пониженной перфузии в структуре образования соответствуют зонам повышенной клеточности интерстиция, что позволяет использовать МР-маммографию для планирования точки взятия биопсии.

Заключение

В прогнозировании гистологического типа филлоидных опухолей молочной железы имеют значение только отдельные МР-признаки, такие как характер контуров кистозных включений, интенсивность сигнала на T1ВИ. Для выбора оптимальной локализации при проведении биопсии служат участки повышенной клеточности, которые имеют преимущественно гипоинтенсивный сигнал на T2ВИ и перфузионных картах.

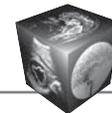
Участие авторов

Серебрякова С.В. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Южно Е.А. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста,

Куцкая А.О. – обработка данных.

Смирнова В.О. – сбор и обработка данных.



Authors' participation

Serebryakova S.V. – collection and analysis of data, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Yukhno E.A. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Kutckaya A.O. – analysis of data.

Smirnova V.O. – collection and analysis of data.

Список литературы

- Zhang Y., Kleer C.G. Phyllodes Tumor of the Breast: Histopathologic Features, Differential Diagnosis, and Molecular/Genetic Updates. *Arch. Pathol. Lab. Med.* 2016; 140 (7): 665–671. <https://doi.org/10.5858/arpa.2016-0042-RA>
- Ibreaheem M.H., Naguib S., Gamal M. et al. Phyllodes Tumors of the Breast (the Egyptian Experience). *Indian J. Surg. Oncol.* 2020; 11 (3): 423–432. <https://doi.org/10.1007/s13193-020-01107-5>
- Papas Y., Asmar A.E., Ghandour F., Hajj I. Malignant phyllodes tumors of the breast: A comprehensive literature review. *Breast J.* 2020; 26 (2): 240–244. <https://doi.org/10.1111/tbj.13523>
- Fernández-Ferreira R., Arroyave-Ramírez A., Motola-Kuba D. et al. Giant Benign Mammary Phyllodes Tumor: Report of a Case and Review of the Literature. *Case Rep. Oncol.* 2021; 14 (1): 123–133. <https://doi.org/10.1159/000510741>
- Шу В., Артемьева А.С., Бусько Е.А., Семиглазов В.В., Семиглазова Т.Ю. Проблемы диагностики и лечения филоидных опухолей молочной железы. *Ученые записки Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова.* 2016; 23 (4): 69–72. <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2016-23-4-69-72>
- Mangi A.A., Smith B.L., Gadd M.A. et al. Surgical management of phyllodes tumors. *Arch. Surg. (Chicago, Ill, 1960).* 1990; 134 (5): 487–493. <https://doi.org/10.1001/archsurg.134.5.487>
- Tan H., Zhang S., Liu H. et al. Imaging findings in phyllodes tumors of the breast. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (1): e62–e69. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.01.085>
- Шу В., Артемьева А.С., Бусько Е.А., Семиглазов В.В., Семиглазова Т.Ю. Проблемы диагностики и лечения фиброэпителиальных и неэпителиальных опухолей молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы.* 2017; 13 (1): 10–13. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2017-13-1-10-13>
- Gradishar W.J., Anderson B.O., Balassanian R. et al. Breast Cancer, Version 4.2017, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J. Natl. Compr. Canc. Netw.* 2018; 16 (3): 310–320. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2018.0012>
- Ogunbiyi S., Perry A., Jakate K. et al. Phyllodes tumour of the breast and margins: How much is enough. *Can. J. Surg.* 2019; 62 (1): E19–E21. <https://doi.org/10.1503/cjs.005718>
- Petrek J.A. Phyllodes tumors. In: Harris J.R., Lippman S., Morrow M. et al., eds. *Disease of the breast.* 2nd ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins, 2000: 669–674.
- Barwijk-Machała M., Reszeć J., Baltaziak M. et al. Proliferating activity in the epithelial and stromal component of fibroadenomas and phyllodes tumours of

the breast. *Roczniki Akademii Medycznej w Białymstoku.* 1995; 49, Suppl. 1: 55–57.

- Krishnamurthy S., Ashfaq R., Shin H.J., Sneige N. Distinction of phyllodes tumor from fibroadenoma: a reappraisal of an old problem. *Cancer.* 2000; 90 (6): 342–349.
- Chaudhary D., Singh V., Mallya V. et al. Utility of Trucut Biopsy in Diagnosing Phyllodes Tumor. *J. Mid-life Health.* 2019; 10 (3): 135–140. https://doi.org/10.4103/jmh.JMH_146_18
- Lieberman L., Bonaccio E., Hamele-Bena D. et al. Benign and malignant phyllodes tumors: mammographic and sonographic findings. *Radiology.* 1996; 198 (1): 121–124. <https://doi.org/10.1148/radiology.198.1.8539362>
- Chao T.C., Lo Y.F., Chen S.C., Chen M.F. Sonographic features of phyllodes tumors of the breast. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2002; 20 (1): 64–71. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.2002.00736.x>
- Farría D.M., Gorczyca D.P., Barsky S.H. et al. Benign phyllodes tumor of the breast: MR imaging features. *Am. J. Roentgenol.* 1996; 167 (1): 187–189. <https://doi.org/10.2214/ajr.167.1.8659370>
- Kinoshita T., Fukutomi T., Kubochi K. Magnetic resonance imaging of benign phyllodes tumors of the breast. *Breast J.* 2004; 10 (3): 232–236. <https://doi.org/10.1111/j.1075-122X.2004.21316.x>
- Серебрякова С.В., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Юхно Е.А. Магнитно-резонансная томография с контрастным усилением в дифференциальной диагностике узловых образований. *Визуализация в медицине.* 2016; 1: 10–21.
- Шумакова Т.А., Солнцева И.А., Сафронова О.Б., Савелло В.Е., Серебрякова С.В. Применение международной классификации BI-RADS в маммологической практике. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2018. 208 с.
- Tan P.H., Ellis I., Allison K. et al.; WHO Classification of Tumours Editorial Board. The 2019 World Health Organization classification of tumours of the breast. *Histopathology.* 2020; 77 (2): 181–185. <https://doi.org/10.1111/his.14091>

References

- Zhang Y., Kleer C.G. Phyllodes Tumor of the Breast: Histopathologic Features, Differential Diagnosis, and Molecular/Genetic Updates. *Arch. Pathol. Lab. Med.* 2016; 140 (7): 665–671. <https://doi.org/10.5858/arpa.2016-0042-RA>
- Ibreaheem M.H., Naguib S., Gamal M. et al. Phyllodes Tumors of the Breast (the Egyptian Experience). *Indian J. Surg. Oncol.* 2020; 11 (3): 423–432. <https://doi.org/10.1007/s13193-020-01107-5>
- Papas Y., Asmar A.E., Ghandour F., Hajj I. Malignant phyllodes tumors of the breast: A comprehensive literature review. *Breast J.* 2020; 26 (2): 240–244. <https://doi.org/10.1111/tbj.13523>
- Fernández-Ferreira R., Arroyave-Ramírez A., Motola-Kuba D. et al. Giant Benign Mammary Phyllodes Tumor: Report of a Case and Review of the Literature. *Case Rep. Oncol.* 2021; 14 (1): 123–133. <https://doi.org/10.1159/000510741>
- Shu V., Artemieva A.A., Busco E.A., Semiglazov V.V., Semiglazova T.Y. Problems of diagnostics and treatment of breast phyllodes tumors. *The Scientific Notes of the Pavlov University.* 2016; 23 (4): 69–72. <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2016-23-4-69-72> (In Russian)



6. Mangi A.A., Smith B.L., Gadd M.A. et al. Surgical management of phyllodes tumors. *Arch. Surg.* (Chicago, Ill, 1960). 1990; 134 (5): 487–493. <https://doi.org/10.1001/archsurg.134.5.487>
7. Tan H., Zhang S., Liu H. et al. Imaging findings in phyllodes tumors of the breast. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (1): e62–e69. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.01.085>
8. Shu V., Artemieva A.S., Busco E.A., Semiglazov V.V., Semiglazova T.Yu. Problems of diagnostics and treatment of the epithelial and non-epithelial breast tumors. *Tumors of Female Reproductive System.* 2017; 13 (1): 10–13. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2017-13-1-10-13> (In Russian)
9. Gradishar W.J., Anderson B.O., Balassanian R. et al. Breast Cancer, Version 4.2017, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J. Natl. Compr. Canc. Netw.* 2018; 16 (3): 310–320. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2018.0012>
10. Ogunbiyi S., Perry A., Jakate K. et al. Phyllodes tumour of the breast and margins: How much is enough. *Can. J. Surg.* 2019; 62 (1): E19–E21. <https://doi.org/10.1503/cjs.005718>
11. Petrek J.A. Phyllodes tumors. In: Harris J.R., Lippman S., Morrow M. et al., eds. *Disease of the breast.* 2nd ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins, 2000: 669–674.
12. Barwifik-Machala M., Reszeć J., Baltaziak M. et al. Proliferating activity in the epithelial and stromal component of fibroadenomas and phyllodes tumours of the breast. *Roczniki Akademii Medycznej w Białymstoku.* 1995; 49, Suppl. 1: 55–57.
13. Krishnamurthy S., Ashfaq R., Shin H.J., Sneige N. Distinction of phyllodes tumor from fibroadenoma: a reappraisal of an old problem. *Cancer.* 2000; 90 (6): 342–349.
14. Chaudhary D., Singh V., Mallya V. et al. Utility of Trucut Biopsy in Diagnosing Phyllodes Tumor. *J. Mid-life Health.* 2019; 10 (3): 135–140. https://doi.org/10.4103/jmh.JMH_146_18
15. Liberman L., Bonaccio E., Hamele-Bena D. et al. Benign and malignant phyllodes tumors: mammographic and sonographic findings. *Radiology.* 1996; 198 (1): 121–124. <https://doi.org/10.1148/radiology.198.1.8539362>
16. Chao T.C., Lo Y.F., Chen S.C., Chen M.F. Sonographic features of phyllodes tumors of the breast. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2002; 20 (1): 64–71. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.2002.00736.x>
17. Farria D.M., Gorczyca D.P., Barsky S.H. et al. Benign phyllodes tumor of the breast: MR imaging features. *Am. J. Roentgenol.* 1996; 167 (1): 187–189. <https://doi.org/10.2214/ajr.167.1.8659370>
18. Kinoshita T., Fukutomi T., Kubochi K. Magnetic resonance imaging of benign phyllodes tumors of the breast. *Breast J.* 2004; 10 (3): 232–236. <https://doi.org/10.1111/j.1075-122X.2004.21316.x>
19. Serebrjakova S.V., Trufanov G.E., Fokin V.A., Juhnno E.A. The magnetic resonance mammography with dynamic contrast enhancement in the differential diagnostics of breast nodes. *Visualization in medicine.* 2016; 1: 10–21. (In Russian)
20. Shumakova T.A., Solntseva I.A., Safronova O.B., Savello V.E., Serebryakova S.V. Application of the international BI-RADS classification in mammology: a guide for physicians. St. Petersburg: ELBI-SPb, 2018. 208 p. (In Russian)
21. Tan P.H., Ellis I., Allison K. et al.; WHO Classification of Tumours Editorial Board. The 2019 World Health Organization classification of tumours of the breast. *Histopathology.* 2020; 77 (2): 181–185. <https://doi.org/10.1111/his.14091>

Для корреспонденции*: Серебрякова Светлана Владимировна – e-mail: medicine@arcerm.spb.ru

Серебрякова Светлана Владимировна – доктор мед. наук, доцент, профессор кафедры Института дополнительного профессионального образования “Экстремальная медицина”, кафедра терапии и интегративной медицины; заведующая кабинетом МРТ клиники №1 ФГБУ “Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова” МЧС России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-9142-4957>

Южно Елена Антоновна – канд. мед. наук, заведующая кабинетом – врач-рентгенолог кафедры рентгенодиагностики и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики клиники рентгенодиагностики и ультразвуковой диагностики ФГБВОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-2386-711X>

Куцкая Анастасия Олеговна – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики с (кабинетом УЗИ) ФГКУ “Поликлиника №4 Федеральной таможенной службы”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4415-5456>

Смирнова Виктория Олеговна – врач-патологоанатом патологоанатомического отделения ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4528-9720>.

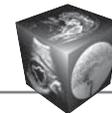
Contact*: Svetlana V. Serebryakova – E-mail: medicine@arcerm.spb.ru

Svetlana V. Serebryakova – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Therapy and Integrative Medicine of the Institute of Continuing Professional Education “Extreme Medicine”; Head of the MRI office of Clinic № 1, Federal State Budgetary Institute “The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine” the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-9142-4957>

Elena A. Yuhnno – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist of the Department of Diagnostic Radiology of Clinic of Rentgenoradiology and Ultrasound Diagnostics, S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-2386-711X>

Anastasiya O. Kutckaya – Radiologist of the Department of Diagnostic Radiology with Ultrasound Diagnostics of Polyclinic №4 of the Federal Customs Service, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4415-5456>

Victoria O. Smirnova – Pathologist of the Pathological Anatomical Department of the Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Petrov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4528-9720>. E-mail: bashlyk_viktoria@mail.ru



Молочная железа. Специальная сессия под редакцией профессора С.С. Багненко
Breast. Special session edited by professor S.S. Bagnenko

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1196>

Классификация осложнений увеличения молочных желез силиконовыми гелевыми имплантатами

© Шумакова Т.А.^{1,2*}, Савелло В.Е.^{1,2}, Серебрякова С.В.³, Афанасьева И.С.^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России; 197022 Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8, Российская Федерация

² ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе»; 192242 Санкт-Петербург, Будапештская ул., д.3, лит. А, Российская Федерация

³ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России; 194044 Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2, Российская Федерация

Цель исследования: изучение, статистическая обработка и классификация осложнений, возникших после аугментации молочных желез силиконовыми гелевыми имплантатами.

Материал и методы. Выполнено комплексное клиничко-лучевое обследование 590 женщин после увеличивающей (аугментационной) маммопластики силиконовыми гелевыми имплантатами. При этом различные осложнения были выявлены у 223 (37.8%) женщин. Лучевое обследование молочных желез включало рентгеновскую маммографию, ультразвуковое исследование и магнитно-резонансную томографию.

Результаты. Анализ полученных данных позволил все выявленные осложнения эндопротезирования молочных желез разделить на 3 группы в зависимости от этиологии и патогенеза их возникновения.

Заключение. Предложенная классификация осложнений аугментации молочных желез с помощью силиконовых гелевых имплантатов, основанная на их этиологии и патогенезе, позволит выбрать оптимальный метод лечения и прогнозировать его эффективность.

Ключевые слова: силиконовые имплантаты, молочные железы, осложнения, УЗИ, МРТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Шумакова Т.А., Савелло В.Е., Серебрякова С.В., Афанасьева И.С. Классификация осложнений увеличения молочных желез силиконовыми гелевыми имплантатами. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 69–78. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1196>

Поступила в редакцию: 28.04.2022. Принята к печати: 11.11.2022. Опубликовано online: 28.12.2022.

Classification of complications of breast augmentation with silicone gel implants

© Tatyana A. Shumakova^{1,2*}, Victor E. Savello^{1,2}, Svetlana V. Serebryakova³,
Irina S. Afanasieva^{1,2}

¹ Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation; 6-8, L'va Tolstogo str., St. Petersburg, 197022, Russian Federation

² I.I. Dzhanelidze Saint-Petersburg Scientific-Research Institute of Emergency Medicine; 3-A, Budapeshtskaya str., St. Petersburg 192242, Russian Federation

³ Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters; 4/2, Academic Lebedev str., St. Petersburg 194044, Russian Federation



Aim: Studying, statistical processing and classification of complications that arose after breast augmentation with silicone gel implants.

Material and methods. Complex clinic-radiological examination of 590 women after a breast augmentation with silicone gel implants was performed. Various complications after breast augmentation were diagnosed in 223 (37.8%) cases. Radiology examination included X-ray mammography, ultrasound and magnetic resonance imaging (X-ray, US and MRI).

Results. The analysis of the data obtained allowed us to divide all the identified complications of breast augmentation into 3 groups depending on the etiology and pathogenesis of their occurrence.

Conclusion. The proposed classification of complications of breast augmentation using silicone gel implants, based on their etiology and pathogenesis, will allow to choose the optimal treatment method predicting its efficiency.

Keywords: silicone implant, breast, complications, sonography, magnetic resonance imaging

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Shumakova T.A., Savello V.E., Serebryakova S.V., Afanaseva I.S. Classification of complications of breast augmentation with silicone gel implants. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 69–78. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1196>

Received: 28.04.2022.

Accepted for publication: 11.11.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

В настоящее время наиболее распространенным и безопасным видом аугментационной маммопластики является эндопротезирование молочных желез силиконовыми гелевыми имплантатами [1–3]. С увеличением количества пластических операций возрастает и риск развития осложнений, которые отличаются большим разнообразием [4, 5]. Диагностика и лечение осложнений аугментационной маммопластики являются актуальной проблемой современной клинической медицины [6, 7].

По мнению большинства пластических хирургов, осложнения эндопротезирования молочной железы можно разделить на общехирургические (развивающиеся в раннем послеоперационном периоде) и специфические (характерные для данного вида пластических операций) [8, 9].

Частота развития ранних, общехирургических осложнений в большинстве случаев зависит от квалификации хирурга и соблюдения техники операции. К ним относят: гематомы в раннем послеоперационном периоде; скопление серозной жидкости вокруг имплантата (серома); инфицирование, нагноение ложа эндопротеза; нарушения чувствительности кожи; образование гипертрофических и коллоидных рубцов [8, 10–13]. По данным различных авторов, они встречаются от 0,25 до 1% случаев [3, 4, 14].

К специфическим поздним осложнениям, развивающимся спустя год и более после эндопротезирования, относят: констриктивный фиброз и фиброзно-капсулярную контрактуру [15–17, 28, 29]; разрыв имплантата [18–20]; силикогранулемы в тканях молочных желез [21]; косметические дефекты (смещение от правильной позиции, деформации, грыжи протезов через разрывы пери-

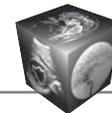
протезной фиброзной капсулы и др.) [22]; серомы в ложе имплантатов [23–25, 30], пролежни с некрозом кожи над протезом [26]; дефляции протеза [27], специфическое реактивное увеличение размеров и изменение структуры аксиллярных лимфатических узлов [31].

До недавнего времени при обследовании молочных желез после увеличивающей маммопластики пластические хирурги использовали только клинические методы обследования (анализ жалоб, анамнеза, осмотр и пальпация молочных желез), что не позволяло в подавляющем большинстве случаев своевременно диагностировать и установить характер развившихся осложнений [32, 33].

Многие авторы в последнее время отмечают важное место комплекса лучевых методов исследования в диагностике осложнений после внедрения имплантатов [34–36].

Оценка состояния имплантата и диагностика осложнений, развивающихся после эндопротезирования, классической рентгеновской маммографией (РМГ) ограничена. [7, 37]. Многие авторы отмечают важность выявления осложнений аугментации молочных желез силиконовыми гелевыми имплантатами с помощью ультразвукового исследования (УЗИ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) [38–44].

Анализ литературы показал, что в настоящее время отсутствует этиопатогенетическая классификация осложнений аугментационной маммопластики силиконовыми гелевыми имплантатами, учитывающая корреляции развившихся осложнений с клиническими жалобами, возрастом пациентки и показаниями к операции, а также возможности их выявления методами лучевой диагностики, что обуславливает выбор адекватного лечения.



Цель исследования

Изучение результатов клинко-лучевого обследования, статистическая обработка и создание этиопатогенетической классификации осложнений, возникших после увеличения молочных желез силиконовыми гелевыми имплантатами.

Материал и методы

Комплексное клинко-лучевое обследование выполнено 590 женщинам после увеличивающих эстетических и пластических операций на молочных железах, выполненных в клиниках эстетической и реконструктивной медицины Санкт-Петербурга в период с 1998 по 2020 г., а также пациенткам, выполнявшим подобные операции в других городах России, в зарубежных странах и обратившимся для проведения контрольного клинко-лучевого обследования. Все пациентки, принимавшие участие в исследовании, были разделены на 3 группы по виду выполненных пластических операций на молочной железе (I – аугментационная, II – редукционная и III – комбинированная маммопластика).

Аугментационная, или увеличивающая, маммопластика была представлена самым безопасным на сегодняшний день и поэтому широко распространенным методом – эндопротезированием молочных желез силиконовыми и полиуретановыми имплантатами. Эта группа включала наибольшее количество женщин – 524 (88,8%) (рис. 1).

Из гистограммы видно, что наибольшему количеству пациенток (524 (88,8%)) выполнена увеличивающая маммопластика с помощью эндопротезов, что подтверждает высокую безопасность этого вида эстетической коррекции формы и размеров молочных желез. Изолированные операции по уменьшению размеров молочных желез встречались нечасто (26 (4,4%)), в то же время комбинация методик применялась в 40 (6,8%) случаях.

Возраст пациенток колебался от 17 до 72 лет. Средний возраст составил $38,5 \pm 9,8$ года (стандартная ошибка 0,4). Молодые женщины в возрасте от 21 года до 50 лет, наиболее часто в возрастном промежутке 31–40 лет (3-я группа) преимущественно выполняли увеличение молочных желез силиконовыми имплантатами (рис. 2).

Показаниями к выполнению эстетической коррекции формы и размеров молочных желез были: микромастия, гипоплазия и инволюция молочных желез, мастоптоз и макромастия, аномалии развития, рубцовые деформации, а также осложнения ранее выполненных пластических операций. Отмечалась средняя степень корреляционной зависимости между возрастом женщин и показаниями

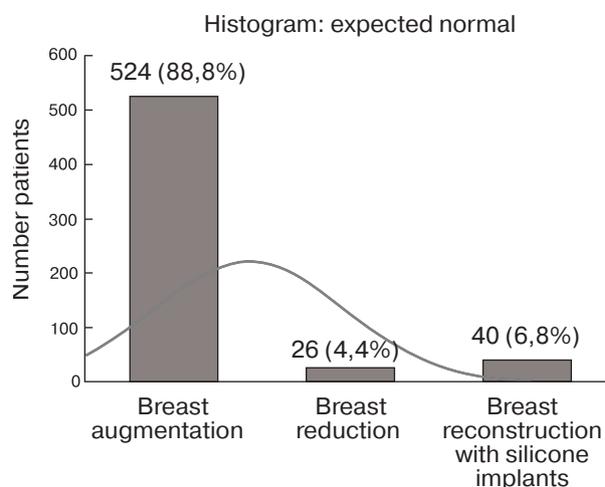


Рис. 1. Виды эстетических операций на молочной железе.

Fig. 1. Types of aesthetic breast surgery.

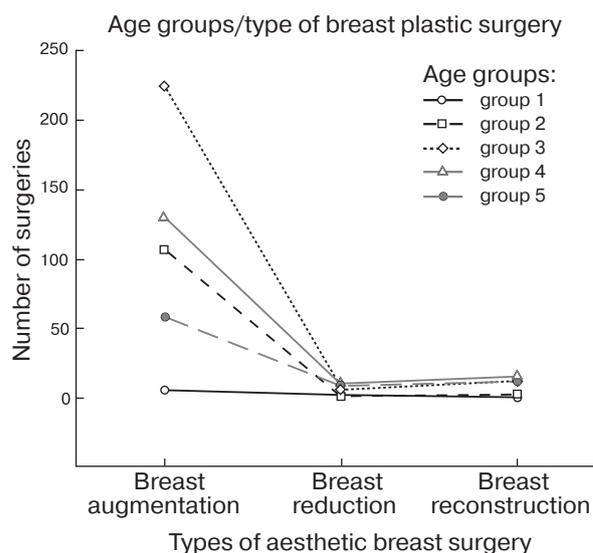


Рис. 2. Распределение пациенток в группах по возрасту (группа 1 – до 20 лет, группа 2 – 21–30 лет, группа 3 – 31–40 лет, группа 4 – 41–50 лет, группа 5 – >50 лет).

Fig. 2. Distribution of patients in groups by age (group 1 – up to 20 years old, group 2 – 21–30 years old, group 3 – 31–40 years old, group 4 – 41–50 years old, group 5 – over 50 years old).

к выполнению пластической операции с коэффициентом корреляции Пирсона $r = 0,41$ (рис. 3).

Из всех пациенток после эндопротезирования молочных желез силиконовыми имплантатами выделили контрольную группу женщин – 347 (66,2%), у которых не было жалоб, они были удовлетворены полученным результатом пластической операции



и при комплексном клинико-лучевом обследовании не было выявлено патологических изменений, связанных с развитием послеоперационных осложнений. Данная группа пациенток использовалась для оценки чувствительности и специфичности лучевых диагностических методов исследования.

Осложнения после различных видов пластических операций были выявлены в 243 (41,2%), а после эндопротезирования силиконовыми имплантатами в 223 (37,8%) случаях. Столь высокий процент выявленных осложнений обусловлен особенностями нашей выборки пациентов, вошедших в исследование. К нам, преимущественно, обращались пациентки с наличием жалоб и неудовлетворенные косметическим эффектом, полученным после выполнения пластической операции.

Все жалобы после эстетической маммопластики мы разделили на клинические и эстетические. Клинические жалобы: боли в молочных железах различного характера (14,3%), наличие диффузных или очаговых уплотнений (26,7%), увеличение размеров и гиперемия кожных покровов молочных желез (9,9%), рубцовая деформация молочных желез, нарушение иннервации и чувствительности сосково-ареолярного комплекса и всей молочной железы (6,1%).

Эстетические жалобы: неудовлетворенность пациентки полученным размером, формой и консистенцией молочных желез после выполненной маммопластики (13%), потеря контурного эффекта (21,4%), ухудшение формы молочных желез (17,7%) вследствие различных причин (вторичный птоз, рипплинг, дислокации имплантатов, деформация и асимметрия молочных желез), грубые, гипертрофированные послеоперационные рубцы молочных желез (0,95%).

Отмечалась высокая корреляционная зависимость ($r = 0,76$) между неудовлетворенностью женщины эстетическим эффектом увеличивающей операции и жалобами, появившимися у пациенток после маммопластики (рис. 4).

Лучевое обследование включало РМГ, УЗИ и МРТ. РМГ выполняли с помощью маммографов ALFA-RT (Instrumentarium Imaging, Финляндия) и LORAD-M (Hologic, США) пациенткам старше 45 лет в двух классических проекциях. УЗИ выполняли на аппаратах ALOKA-SSD-a5 (Aloka, Япония), LOGIQ-500 (GE, США) всем пациенткам по стандартизированной методике. МРТ проводили на аппаратах MAGNETOM VISION (Siemens, Германия), INTERA (Philips, Нидерланды), SIGNA HDi (GE, США) 1,5 Тл.

Наиболее частым лучевым обследованием молочных желез после эстетических операций было

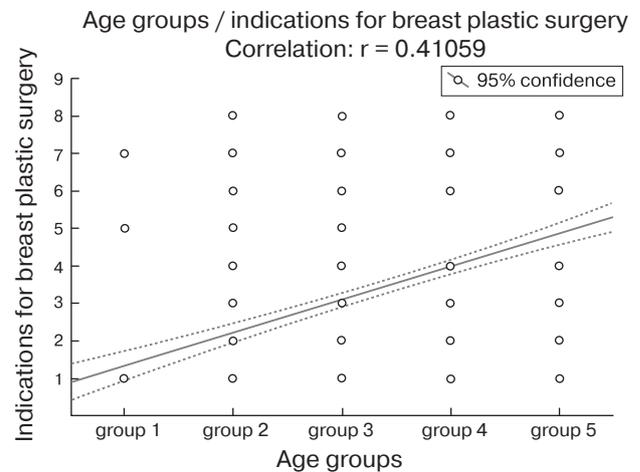


Рис. 3. Корреляционная зависимость между возрастом пациенток и показаниями к пластической операции.

Fig. 3. Correlation between the age of patients and indications for plastic surgery (1 – micromastia (10,51%), 2 – hypoplasia breast (32,03%), 3 – involution breast (26,27%), 4 – mastoptosis breast (14,07%), 5 – breast development anomaly (1,02%), 6 – scarring of the breast (1,86%), 7 – macromastia (2,88%), 8 – complications from previous breast surgeries (11,36%)).

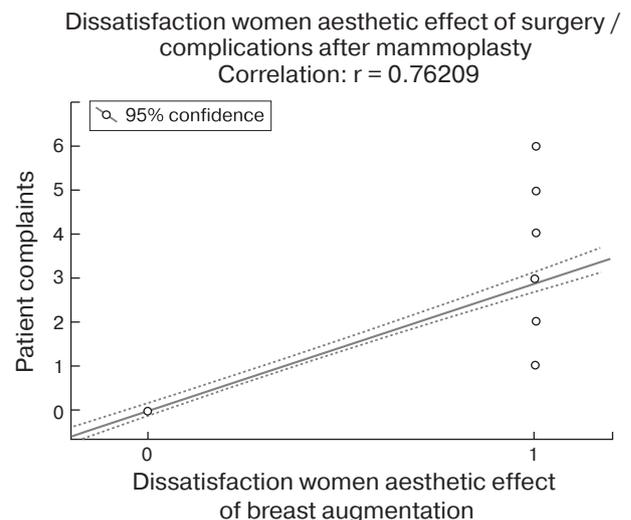


Рис. 4. Корреляционная зависимость между неудовлетворенностью косметическим эффектом пластической операции и развившимися осложнениями.

Fig. 4. Correlation between dissatisfaction with the cosmetic effect of plastic surgery and developed complications (1 – breast asymmetry (49,07%), 2 – rippling (2,48%), 3 – secondary ptosis (6,21%), 4 – dissatisfied with the shape of the breast (13,04%), 5 – dissatisfied with breast size (3,73%), 6 – dissatisfied with breast density (25,47%)).

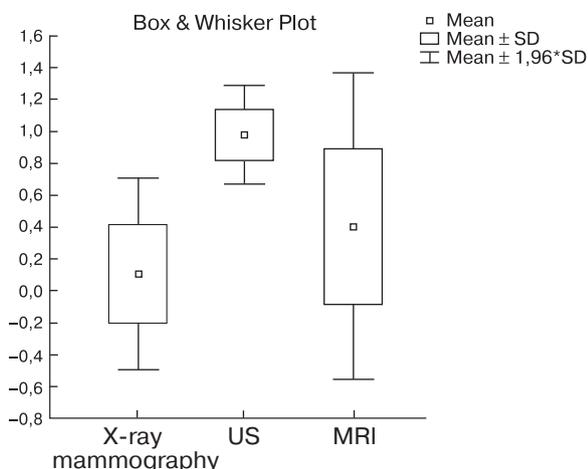


Рис. 5. Количество проведенных лучевых исследований после выполненных пластических операций.

Fig. 5. Number of radiological examinations performed after plastic surgery.

УЗИ, потому что это наиболее простой, дешевый и доступный метод лучевой диагностики. В то же время применение РМГ было ограничено возрастом пациенток, трудностями выполнения и недостаточной диагностической значимостью в выявлении осложнений маммопластики (рис. 5).

В ходе исследования применяли следующие процедуры и методы статистического анализа: определение числовых характеристик переменных; оценка соответствия эмпирического закона распределения количественных переменных теоретическому закону нормального распределения по критерию Колмогорова–Смирнова; оценка значимости различий средних значений количественных показателей в независимых выборках по Т-тесту Стьюдента; проверка гипотезы о происхождении групп, сформированных по качественному признаку, из одной и той же популяции проводилась на основе построения таблиц сопряженности наблюдаемых и ожидаемых частот; применялся критерий χ^2 Пирсона, при его неустойчивости использовался двусторонний точный тест Фишера; логистический регрессионный анализ.

Статистический анализ результатов исследования выполняли с использованием IBM-совместимого компьютера класса Pentium 4D с объемом ОЗУ 1024 Мб и тактовой частотой 3000 МГц в стандартной конфигурации. В исследовании использовали пакеты прикладных программ: Statistica for Windows 6.0 – для статистического анализа, MS Office 2003 – для организации и формирования матрицы данных, подготовки графиков и диаграмм.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных позволил нам предложить оригинальную классификацию, в соответствии с которой все выявленные осложнения эндопротезирования молочных желез разделены на 3 группы в зависимости от этиологии и патогенеза их возникновения.

К группе I были отнесены осложнения, возникшие вследствие нарушения методики операции (ошибки хирургов, допущенные при планировании и/или выполнении хирургической операции). Это наиболее часто встречаемая группа осложнений – 105 (47,1%) случаев от всех выявленных осложнений. К этой группе осложнений эндопротезирования были отнесены: патологический отек молочной железы (синдром ASIA), серома, гематома, капсулит, нагноение, повреждение млечных протоков (дуктоэктазия, деформация, протоковые кисты), пневмоторакс, лимфоцеле/лимфокиста, асимметрия молочных желез, гипертрофированные рубцы.

Группа II включала реактивные осложнения в 55 (24,7%) случаях, развившиеся в ответ на внедрение инородного тела (силиконового имплантата) в организм человека. В группу вошли следующие осложнения: фиброзно-капсулярная контрактура и констриктивный фиброз перипротезной капсулы, обызвествление перипротезной капсулы, силикогранулемы, силиконовая лимфаденопатия.

Группа III состояла из специфических для силиконовых имплантатов осложнений: разрыв имплантата, имплант-ассоциированная крупноклеточная лимфома (BIA-ALCL) и встречалась в 63 (28,2%) случаях.

Виды и частота выявленных осложнений эндопротезирования с распределением их по группам представлены в таблице.

Из таблицы видно, что наиболее часто встречаются осложнения I группы (47,1%), связанные с ошибками пластических хирургов при планировании и выполнении аугментации молочных желез. А самым часто встречаемым осложнением эндопротезирования был разрыв имплантата (27,8%).

Все осложнения I группы в зависимости от срока их возникновения нами разделены на ранние и поздние. Ранние осложнения развивались в течение месяца после эндопротезирования. К ним отнесли: гематому, серому, нагноение, повреждение млечных протоков, пневмоторакс, лимфоцеле.

Обусловлены эти осложнения нарушением техники операции (недостаточным гемостазом в ходе операции, нарушением правил асептики, использованием протеза слишком большого размера, отступлением от правильной техники формирования ложа протеза и т.д.). Клинически они

**Таблица.** Частота осложнений аугментации молочных желез силиконовыми имплантатами (n = 223)**Table.** Complication rate of breast augmentation with silicone implants (n = 223)

№	Виды осложнений аугментации молочных желез силиконовыми имплантатами Types of complications of breast augmentation with silicone implants	Количество осложнений Number of complications	
		абс. / abs.	%
I группа / I group		105	47,1
1	Патологический отек молочной железы / Pathological edema of the breast	4	1,8
2	Серома / Seroma	33	14,8
3	Гематома / Hematoma	9	4,1
4	Капсулит / Capsulitis	3	1,3
5	Нагноение / Infection	3	1,3
6	Повреждение млечных протоков / Damage to the milk ducts	2	0,9
7	Пневмоторакс / Pneumothorax	2	0,9
8	Лимфоцеле/лимфокиста / Lymphocele/lymphocyst	6	2,7
9	Асимметрия молочных желез / Breast asymmetry	41	18,4
10	Гипертрофированные рубцы / Hypertrophic scars	2	0,9
II группа / II group		55	24,7
1	Фиброзно-капсулярная контрактура / Fibrocapsular contracture	35	15,7
2	Обызвествление перипротезной капсулы Calcification of the periprosthetic capsule	3	1,3
3	Силикогранулемы / Silicogranulomas	10	4,5
4	Силиконовая лимфаденопатия / Silicone lymphadenopathy	7	3,2
III группа / III group		63	28,2
1	Разрыв имплантата / Implant rupture	62	27,8
2	Лимфома (BIA-ALCL) / Lymphoma (BIA-ALCL)	1	0,4
Всего / Total		223	100

проявлялись болями, увеличением размеров и асимметрией молочных желез, гиперемией и гипертермией кожи, нарушением функции дыхания и кашлем, дополнительным образованием мягкоэластической консистенции в аксиллярной области.

Поздние осложнения выявляли спустя год после операции. Причины развития этих осложнений были полиморфны и обусловлены всеми этиологическими факторами (реакцией ткани молочной железы на имплантат как на инородное тело; нарушением методики, погрешностями и ошибками в ходе выполнения операции, а также наличием внутренних скрытых дефектов самих эндопротезов). В группу поздних осложнений вошли: патологический отек молочной железы, гематома, серома, капсулит, фиброзно-капсулярная контрактура, обызвествление капсулы имплантата, силикогранулемы, силиконовая лимфаденопатия, разрыв имплантата, лимфома (BIA-ALCL), асимметрия имплантатов, гипертрофические рубцы.

Отмечается значимо высокая корреляционная связь между группами и видами осложнений

эндопротезирования с коэффициентом Пирсона, $r = 0,96$ (рис. 6), а также сроками их возникновения ($r = 0,83$) (рис. 7).

Отмечается значимо высокая корреляционная связь между группами развившихся осложнений эндопротезирования и тактикой ведения женщин с коэффициентом Пирсона, $r = 0,81$. При выявленных осложнениях в зависимости от степени их выраженности и возможности регрессирования проводили консервативное (медикаментозное) и/или малоинвазивное лечение, такое как, например, пункционная аспирация содержимого капсулы при сероме под ультразвуковой навигацией, дренирование плевральной полости и др.

В случае невозможности ликвидировать развившиеся осложнение консервативными или малоинвазивными методами лечения выполняли хирургическое лечение, которое включало: открытую капсулотомию с удалением гематомы или серомы ложа имплантата, открытую капсулотомию с полной или частичной резекцией перипротезной фиброзной капсулы и одномоментной

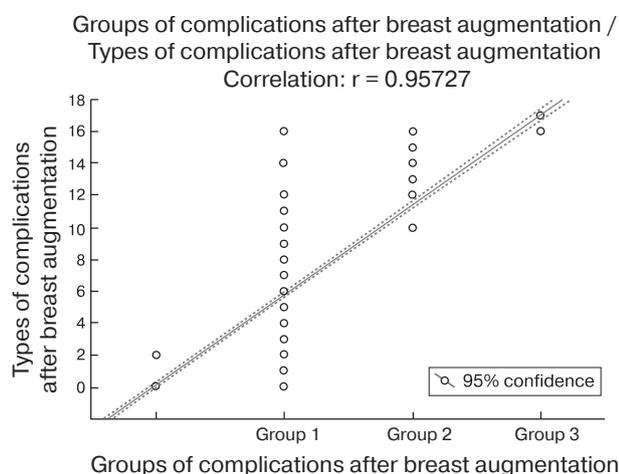


Рис. 6. Корреляционная зависимость между группами и видами осложнений аугментации.

Fig. 6. Correlation dependence between groups and types of augmentation complications.

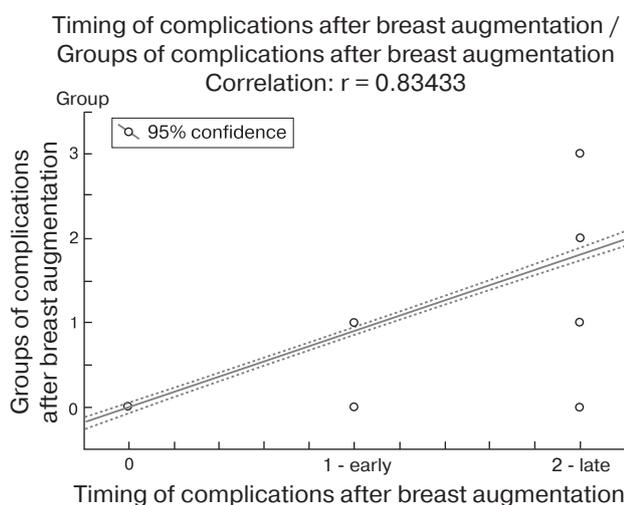


Рис. 7. Корреляционная зависимость между группами осложнений аугментации и сроками их возникновения.

Fig. 7. Correlation dependence between groups of complications of augmentation and the timing of their occurrence.

заменой имплантата; удаление поврежденных эндопротезов с/без одномоментной заменой имплантата; удаление силикогранулем в ткани молочной железы с последующим отсроченным эндопротезированием через 3–6 мес.

Анализ полученных данных показал, что предложенная классификация осложнений позволяет не только систематизировать выявленные осложнения увеличения молочных желез с помощью силиконовых имплантатов, определить частоту их

развития, но и их причину, а также тактику их коррекции. Так, наиболее частым осложнением, которое успешно лечили консервативно или малоинвазивно, была перипротезная серома (8,5%). В 63,7% случаев хирургического лечения требовали следующие осложнения: разрывы имплантатов (27,8%), асимметрия молочных желез (11,7%) и развитие фиброзно-капсулярной контрактуры (9,8%).

Заключение

Предложенная нами классификация осложнений увеличения молочных желез с помощью силиконовых гелевых имплантатов, основанная на их этиологии и патогенезе, позволила разделить их на группы, описать и систематизировать характерные клинико-лучевые признаки, что определило выбор оптимального метода лечения и прогнозирование его эффективности.

Участие авторов

Шумакова Т.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Савелло В.Е. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Серебрякова С.В. – участие в научном дизайне, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Афанасьева И.С. – участие в научном дизайне, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

Shumakova T.A. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Savello V.E. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

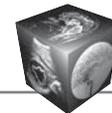
Serebryakova S.V. – participation in scientific design, collection and analysis of data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Afanaseva I.S. – participation in scientific design, review of publications, statistical analysis, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article.



Список литературы

1. Адамян А.А., Острецова Н.И., Чудинова Т.М. и др. Проблемы разработки и применения силиконовых материалов в пластической хирургии. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 1997; 2: 41–51.
2. Чеберда Е. За и против применения силиконовых протезов молочных желез. *Анналы хирургии*. 1997; 3: 71–72.
3. Добрякова О.Б., Ковынцев Н.Н. Аугментационная маммопластика силиконовыми эндопротезами. М.: МОК ЦЕНТР, 2000. 148 с.
4. Гребенькова О.Б. Пластика молочных желез. Новосибирск: ОФСЕТ, 1994. 104 с.
5. Ишмаматьев И.Л., Старостина В.В. Оценка результатов эстетического увеличения молочных желез. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 1999; 32: 29–31.
6. Хеден П. Энциклопедия пластической хирургии. М.: АСТ. Астрель, 2001: 198–214.
7. Juanpere S., Perez E., Huc O. et al. Imaging of breast implants—a pictorial review. *Insights Imaging*. 2011; 2 (6): 653–670.
8. Павлюченко Л.Л. Возможные ошибки и осложнения при операциях эстетического увеличения молочных желез. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 1998; 1: 48–52.
9. Пацiora И.А., Боровиков А.М. Косметическая и реконструктивная пластика молочной железы: Материалы II Международной конференции “Современные подходы к разработке эффективных перевязочных средств, шовных материалов и полимерных имплантатов”. М., 1995: 237–239.
10. Caffee H.H. The effect of hematoma on implants capsules. *Ann. Plast. Surg.* 1986; 16 (2): 102–105.
11. Daw J.L., Lewis V.L., Smith J.W. Chronic expanding hematoma within a periprosthetic breast capsule. *Plast. Reconstr. Surg.* 1996; 97 (7): 1469–1472.
12. Soo M.S., Williford M.E. Seromas in the breast: imaging findings. *Crit. Rev. Diagn. Imaging*. 1995; 36 (5): 385–440.
13. Adams W.P. Jr., Conner W.C., Barton F.E. Jr., Rohrich R.J. Optimizing breast pocket irrigation: an in vitro study and clinical implications. *Plast. Reconstr. Surg.* 2000; 105 (1): 334–338.
14. Biggs T.M., Cukier J, Worthing L.F. Augmentation mammoplasty: a review of 18 years. *Plast. Reconstr. Surg.* 1981; 69 (3): 445–450.
15. Айвазян Т.В., Кулначева В.Е., Шехтер А.Б. Фиброзная капсулярная контрактура при имплантации эндопротезов молочной железы. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 1998; 1: 53–61.
16. Spear S.L., Baker J.L. Classification of capsular contracture after prosthetic breast reconstruction. *Plast. Reconstr. Surg.* 1995; 96 (5): 1119–1125.
17. Steiert A.E., Boyce M., Sorg H. Capsular contracture by silicone breast implants: possible causes, biocompatibility, and prophylactic strategies. *Med. Devices. (Auckl)*. 2013; 6: 211–218.
18. Chung K.C., Greenfield V.H., Walter M.S. Decision-analysis methodology in the work-up of women with suspected silicone breast implant rupture. *Plast. Reconstr. Surg.* 1998; 102 (3): 689–695.
19. Cher D.J., Conwell J.A., Mandel J.S. MRI for detecting silicone breast implant rupture: meta-analysis and implications. *Ann. Plast. Surg.* 2001; 47 (4): 367–380.
20. Hölmich L.R., Vejborg I.M., Conrad C. et al. Untreated silicone breast implant rupture. *Plast. Reconstr. Surg.* 2004; 114 (1): 204–214.
21. Helbich T.H., Wunderbaldinger P., Plenk H. et al. The value of MRI in silicone granuloma of the breast. *Eur. J. Radiol.* 1997; 24: 155–158. doi: 10.1016/s0720-048x(96)01027-3
22. Abramo A.C., Casas S.G., Dotta A.A. et al. Late spontaneous extrusion of a texturized silicone gel mammary implant. *Aesth. Plast. Surg.* 1999; 23 (6): 433–436.
23. Lista F., Tutino R., Khan A., Ahmad J. Subglandular breast augmentation with textured, anatomic, cohesive silicone implants: a review of 440 consecutive patients. *Plast. Reconstr. Surg.* 2013; 132 (2): 295–303.
24. Hester T.R., Ghazi BH, Moyer H.R. et al. Use of dermal matrix to prevent capsular contracture in aesthetic breast surgery. *Plast. Reconstr. Surg.* 2012; 130 (5, Suppl. 2): 126S–136S.
25. Maxwell G.P, Brown M.H, Oefelein M.G. et al. Clinical considerations regarding the risks and benefits of textured surface implants and double capsule. *Plast. Reconstr. Surg.* 2011; 128 (2): 593–595.
26. Белоусов А.Е. Пластическая, реконструктивная и эстетическая хирургия. СПб.: Гиппократ, 1998. 744 с.
27. Beraka G.J. Rupture of implants following mammography (correspondence). *Plast. Reconstr. Surg.* 1995; 95 (5): 936–937.
28. Hall-Findlay E.J. Breast implant complication review: double capsules and late seromas. *Plast. Reconstr. Surg.* 2011; 127(1): 56–66.
29. Майборodin И.В., Ковынцев Н.Н., Добрякова О.Б. Нарушения микроциркуляции как причина капсулярной контрактуры после увеличивающей маммопластики. *Хирургия*. 2007; 3: 49–53.
30. Roux H., Imbert I., Roudier J. et al. Autoimmune pathology and esthetic surgery. Apropos of a case. *Rev. Med. Interne*. 1987; 8 (5): 475–480.
31. Tabatowski K., Elson C.E., Johnston W.W. Silicone lymphadenopathy in a patient with a mammary prosthesis. Fine needle aspiration cytology, histology and analytical electron microscopy. *Acta Cytol.* 1990; 34 (1): 10–14.
32. Плеханов А.В. Ультразвуковой динамический контроль в оценке результатов эндомаммопротезирования полиакриламидным гелем и имплантатами с пенополиуретановым покрытием: Дис. ... канд. мед. наук. Нижний Новгород, 2000. 246 с.
33. Ковынцев Н.Н. Аугментационная маммопластика силиконовыми протезами: Дис. ... канд. мед. наук. Омск, 1999. 200 с.
34. Goodman C.M., Cohen V., Thornby J., Netscher D. The life span of silicone gel breast implants and a comparison of mammography, ultrasonography, and Magnetic Resonance imaging in detecting implant rupture: a meta-analysis. *Ann. Plast. Surg.* 1998; 41 (6): 577–585.
35. Azavedo E., Bone B. Imaging breast with silicone implants. *Eur. Radiol.* 1999; 9 (2): 349–355.
36. Di Benedetto G., Cecchini S., Grassetti L. et al. Comparative study of breast implant rupture using mammography, sonography, and magnetic resonance imaging: correlation with surgical findings. *Breast J.* 2008; 14 (6): 532–537.
37. Brown F.E., Sargent S.K. Mammography changes after mammoplasty. Reduction mammoplasty. Ed. Goldwin R.M. 1990: 35–44.



38. Абдураимов А.Б. Комплексная лучевая диагностика послеоперационных и посттерапевтических изменений молочной железы: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 2009. 181 с.
39. Фисенко Е.П. Инструментальная диагностика осложнений контурной пластики тела гелевыми имплантатами: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 2009. 176 с.
40. Aktouf A., Auquit-Auckbur I., Coquerel-Beghin D. et al. Breast augmentation by Poly Implant Prothèses silicone implants: retrospective study about 99 patients. Rupture analysis and management. *Ann. Chir. Plast. Esthet.* 2012; 57 (6): 558–566.
41. Maijers M.C., Niessen F.B., Veldhuizen J.F. et al. Magnetic resonance imaging screening results compared with explantation results in poly implant prothèse silicone breast implants, recalled from the European market in 2010. *Plast. Reconstr. Surg.* 2014; 133 (2): 114–120.
42. Middleton M.S., McNamara M.P. Breast Implant Classification with MR Imaging Correlation. *RadioGraphics.* 2000; 20 (3): 1–72.
43. Berg W.A., Caskey C.I., Hamper U. et al. Diagnosing breast implant rupture with MR imaging, US, and mammography. *RadioGraphics.* 1993; 13 (6): 1323–1336.
44. Hammond D.C., Khuthaila D.K. Augmentation mammoplasty In: *Plastic Surgery Secrets Plus.* Ed. J. Weinzwieg. Elsevier, 2010: 441–445. ISBN: 978-0-323-03470-8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-03470-8.X0001-4>
12. Soo M.S., Williford M.E. Seromas in the breast: imaging findings. *Crit. Rev. Diagn. Imaging.* 1995; 36 (5): 385–440.
13. Adams W.P. Jr., Conner W.C., Barton F.E. Jr., Rohrich R.J. Optimizing breast pocket irrigation: an in vitro study and clinical implications. *Plast. Reconstr. Surg.* 2000; 105 (1): 334–338.
14. Biggs T.M., Cukier J., Worthing L.F. Augmentation mammoplasty: a review of 18 years. *Plast. Reconstr. Surg.* 1981; 69 (3): 445–450.
15. Ayvazyan T.V., Kulnacheva V. E., Shekhter A.B. Fibrous kapsulyarny contracture at implantation of an endoprosthesis of a mammary gland. *Annals of Plastic, Reconstructive and Esthetic Surgery.* 1998; 1: 53–61. (In Russian)
16. Spear S.L., Baker J.L. Classification of capsular contracture after prosthetic breast reconstruction. *Plast. Reconstr. Surg.* 1995; 96 (5): 1119–1125.
17. Steiert A.E., Boyce M., Sorg H. Capsular contracture by silicone breast implants: possible causes, biocompatibility, and prophylactic strategies. *Med. Devices. (Auckl).* 2013; 6: 211–218.
18. Chung K.C., Greenfield V.H., Walter M.S. Decision-analysis methodology in the work-up of women with suspected silicone breast implant rupture. *Plast. Reconstr. Surg.* 1998; 102 (3): 689–695.
19. Cher D.J., Conwell J.A., Mandel J.S. MRI for detecting silicone breast implant rupture: meta-analysis and implications. *Ann. Plast. Surg.* 2001; 47 (4): 367–380.
20. Hölmich L.R., Vejborg I.M., Conrad C. et al. Untreated silicone breast implant rupture. *Plast. Reconstr. Surg.* 2004; 114 (1): 204–214.
21. Helbich T.H., Wunderbaldinger P., Plenk H. et al. The value of MRI in silicone granuloma of the breast. *Eur. J. Radiol.* 1997; 24: 155–158. doi: 10.1016/S0720-048X(96)01027-3
22. Abramo A.C., Casas S.G., Dotta A.A. et al. Late spontaneous extrusion of a texturized silicone gel mammary implant. *Aesth. Plast. Surg.* 1999; 23 (6): 433–436.
23. Lista F., Tutino R., Khan A., Ahmad J. Subglandular breast augmentation with textured, anatomic, cohesive silicone implants: a review of 440 consecutive patients. *Plast. Reconstr. Surg.* 2013; 132 (2): 295–303.
24. Hester T.R., Ghazi BH, Moyer H.R. et al. Use of dermal matrix to prevent capsular contracture in aesthetic breast surgery. *Plast. Reconstr. Surg.* 2012; 130 (5, Suppl. 2): 126S–136S.
25. Maxwell G.P, Brown M.H, Oefelein M.G. et al. Clinical considerations regarding the risks and benefits of textured surface implants and double capsule. *Plast. Reconstr. Surg.* 2011; 128 (2): 593–595.
26. Belousov A.E. Plastic, reconstructive and esthetic surgery. SPb.: Hippocrates, 1998. 744 p. (In Russian)
27. Beraka G.J. Rupture of implants following mammography (correspondence). *Plast. Reconstr. Surg.* 1995; 95 (5): 936–937.
28. Hall-Findlay E.J. Breast implant complication review: double capsules and late seromas. *Plast. Reconstr. Surg.* 2011; 127(1): 56–66.
29. Mayborodin I.V., Kovyntsev N.N., Dobryakova O.B. Microcirculation violations as the reason of a kapsular contracture after augmentation mammoplasty. *Surgery.* 2007; 3: 49–53. (In Russian)
30. Roux H., Imbert I., Roudier J. et al. Autoimmune pathology and esthetic surgery. Apropos of a case. *Rev. Med. Interne.* 1987; 8 (5): 475–480.

References

1. Adamyan A.A., Ostretsova N. I., Chudinova T.M. et al. Problems of development and application of silicone materials in plastic surgery. *Annals Plastic, Reconstructive and Esthetic Surgery.* 1997; 2: 41–51. (In Russian)
2. Cheberda E. Pros and cons applications of silicone artificial limbs of mammary glands. *Russian Journal of Surgery = Annaly Khirurgii.* 1997; 3: 71–72. (In Russian)
3. Dobryakova O.B., Kovyntsev N.N. Augmentation of Mammary Glands Silicone Gel Implants. Moscow: MOC CENTER, 2000. 148 p. (In Russian)
4. Grebenkova O.B. Plastika of mammary glands. Novosibirsk: OFFSET, 1994. 104 p. (In Russian)
5. Ishmametyev I.L., Starostina V. V. Grade of results of esthetic increase in mammary glands. *Annals of Plastic, Reconstructive and Esthetic Surgery.* 1999; 32: 29–31. (In Russian)
6. Heden P. Encyclopedia of plastic surgery. M.: Nuclear heating plant. Astrel, 2001: 198–214. (In Russian)
7. Juanpere S., Perez E., Huc O. et al. Imaging of breast implants—a pictorial review. *Insights Imaging.* 2011; 2 (6): 653–670.
8. Pavlyuchenko L.L. Possible mistakes and complications at operations of esthetic increase in mammary glands. *Annals of Plastic, Reconstructive and Esthetic Surgery.* 1998; 1: 48–52. (In Russian)
9. Patsiora I.A., Boletuses A.M. The cosmetic and reconstructive mastoplasty: Materials II of the International conference “The Modern Approaches to Development of Efficient Dressing Tools, Suture Materials and Polymeric Implants”. Moscow, 1995: 237–239. (In Russian)
10. Caffee H.H. The effect of hematoma on implants capsules. *Ann. Plast. Surg.* 1986; 16 (2): 102–105.
11. Daw J.L., Lewis V.L., Smith J.W. Chronic expanding hematoma within a periprosthetic breast capsule. *Plast. Reconstr. Surg.* 1996; 97 (7): 1469–1472.



31. Tabatowski K., Elson C.E., Johnston W.W. Silicone lymphadenopathy in a patient with a mammary prosthesis. Fine needle aspiration cytology, histology and analytical electron microscopy. *Acta Cytol.* 1990; 34 (1): 10–14.
32. Plekhanov A.V. Ultrasonic dynamic monitoring in an assessment of results of an endomammoprotezirovaniye poliakrilamidny gel and implants with a polyurethane foam covering: Dis. ... Cand. Med. Sci. Nizhny Novgorod, 2000. 246 p. (In Russian)
33. Kovvntsev N. N. Augmentation of Mammary Glands Silicone Implants. Dis. ... edging. medical sciences. Omsk, 1999. 200 p. (In Russian)
34. Goodman C.M., Cohen V., Thornby J., Netscher D. The life span of silicone gel breast implants and a comparison of mammography, ultrasonography, and Magnetic Resonance imaging in detecting implant rupture: a meta-analysis. *Ann. Plast. Surg.* 1998; 41 (6): 577–585.
35. Azavedo E., Bone B. Imaging breast with silicone implants. *Eur. Radiol.* 1999; 9 (2): 349–355.
36. Di Benedetto G., Cecchini S., Grassetto L. et al. Comparative study of breast implant rupture using mammography, sonography, and magnetic resonance imaging: correlation with surgical findings. *Breast J.* 2008; 14 (6): 532–537.
37. Brown F.E., Sargent S.K. Mammography changes after mammoplasty. Reduction mammoplasty. Ed. Goldwin R.M. 1990: 35–44.
38. Abduraimov A.B. Complex radiodiagnosis of postoperative and post-therapeutic changes of a mammary gland: Dis. ... Doct. Med. Sci. M., 2010. 181 p. (In Russian)
39. Fisenko E.P. Instrumental diagnostics of complications of planimetric plasticity of a body by gel implants: Dis. ... Doct. Med. Sci. M., 2009. 176 p. (In Russian)
40. Aktouf A., Auquit-Auckbur I., Coquerel-Beghin D. et al. Breast augmentation by Poly Implant Prothèses silicone implants: retrospective study about 99 patients. Rupture analysis and management. *Ann. Chir. Plast. Esthet.* 2012; 57 (6): 558–566.
41. Majers M.C., Niessen F.B., Veldhuizen J.F. et al. Magnetic resonance imaging screening results compared with explantation results in poly implant prothèse silicone breast implants, recalled from the European market in 2010. *Plast. Reconstr. Surg.* 2014; 133 (2): 114–120.
42. Middleton M.S., McNamara M.P. Breast Implant Classification with MRI Imaging Correlation. *RadioGraphics.* 2000; 20 (3): 1–72.
43. Berg W.A., Caskey C.I., Hamper U. et al. Diagnosing breast implant rupture with MR imaging, US, and mammography. *RadioGraphics.* 1993; 13 (6): 1323–1336.
44. Hammond D.C., Khuthaila D.K. Augmentation mammoplasty In: *Plastic Surgery Secrets Plus*. Ed. J. Weinzweig. Elsevier, 2010: 441–445. ISBN: 978-0-323-03470-8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-03470-8.X0001-4>

Для корреспонденции*: Шумакова Татьяна Анатольевна – 192242 Санкт-Петербург, ул. Будапештская, д. 3А. ГБУ НИИ СП им. И.И. Джанелидзе. Тел.: +7-921-994-54-40. E-mail: tshumakova@rambler.ru

Шумакова Татьяна Анатольевна – канд. мед. наук, доцент кафедры рентгенодиагностики факультета послевузовского обучения ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова” Минздрава России; заведующая отделением магнитно-резонансной томографии ГБУ НИИ СП им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург.

<https://orcid.org/0000-0001-8708-7249>. E-mail: tshumakova@rambler.ru

Савелло Виктор Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой рентгенодиагностики факультета послевузовского обучения ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова” Минздрава России; руководитель отдела лучевой диагностики ГБУ НИИ СП им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4519-4844>. E-mail: prof_savello@emergency.spb.ru

Серебрякова Светлана Владимировна – доктор мед. наук, доцент, профессор кафедры Института дополнительного профессионального образования “Экстремальная медицина”, кафедра терапии и интегративной медицины; заведующая кабинетом МРТ клиники №1 ФГБУ “Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова” МЧС России, Санкт-Петербург.

<https://orcid.org/0000-0001-9142-4957>. E-mail: medicine@arccrm.spb.ru

Афанасьева Ирина Сергеевна – канд. мед. наук, доцент кафедры рентгенодиагностики факультета послевузовского обучения ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова” Минздрава России; рентгенолог ГБУ НИИ СП им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург. E-mail: afanaseva_is@mail.ru

Contact*: Tatyana A. Shumakova – 3A, Budapeshtskaya str., St. Petersburg 192242, Russian Federation. I.I. Dzhanelidze St. Petersburg Scientific-Research Institute of Emergency Medicine. Phone: +7-921-994-54-40. E-mail: tshumakova@rambler.ru

Tatyana A. Shumakova – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of Department of Radiology and Radiation Medicine, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University; Head of MRI Department, I.I. Dzhanelidze Saint-Petersburg Scientific-Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-8708-7249>. E-mail: tshumakova@rambler.ru

Victor E. Savello – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiology and Radiation Medicine Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University; Head of Department of Radiation Diagnostics, I.I. Dzhanelidze Saint-Petersburg Scientific-Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4519-4844>. E-mail: prof_savello@emergency.spb.ru

Svetlana V. Serebryakova – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Therapy and Integrative Medicine of the Institute of Continuing Professional Education “Extreme Medicine”; Head of the MRI office of Clinic № 1, Federal State Budgetary Institute “The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine” the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-9142-4957>. E-mail: medicine@arccrm.spb.ru

Irina S. Afanasieva – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiology and Radiation Medicine Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University; radiologist, I.I. Dzhanelidze St.-Petersburg Scientific-Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg. E-mail: afanaseva_is@mail.ru



Почки. Специальная сессия под редакцией профессора А.И. Громова
Kidneys. Special session edited by professor A.I. Gromov

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1189>

Возможности диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике солидных образований почек

© Рубцова Н.А.¹, Гольбиц А.Б.^{1*}, Кабанов Д.О.¹, Крянева Е.В.¹,
Воробьев Н.В.^{1,2}, Алексеев Б.Я.^{1,3}, Каприн А.Д.^{1,4}

- ¹ Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 3, Российская Федерация
- ² ФГАУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация
- ³ ФГБОУ ВО “Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)””; 125080 Москва, Волоколамское шоссе, д. 11, Российская Федерация
- ⁴ Медицинский институт ФГАУ ВО “Российский университет дружбы народов” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

Введение. В настоящее время КТ и МРТ не позволяют достоверно дифференцировать онкоцитому, ангиомиолипому с низким содержанием жира и почечно-клеточный рак (ПКР), в связи с чем большинство больных с локализованными солидными опухолями почек подвергаются хирургическому лечению. Выявление дифференциальных признаков доброкачественных образований по данным методов визуализации позволило бы изменить терапевтическую тактику в более чем трети случаев у пациентов с впервые выявленными новообразованиями почек малых размеров (менее 4 см).

Цель исследования: оценить диагностическую эффективность диффузионно-взвешенной МРТ (ДВИ) в дифференциальной диагностике солидных образований почек.

Материал и методы. В период с февраля 2019 г. по октябрь 2021 г. проведено проспективное исследование, в которое было включено 90 пациентов в возрасте от 34 до 79 лет с первичными солидными образованиями почек, прошедших обследование и лечение в МНИОИ им. П.А. Герцена – филиале ФГБУ “НМИЦ радиологии”. Всем пациентам до операции выполнялась МРТ органов забрюшинного пространства с применением ДВИ с b-факторами 0–800 и 0–1000 с/мм². Производились количественная оценка коэффициента диффузии на двух ИКД-картах для образований почек различных гистологических типов и сопоставление полученных значений между собой.

Результаты. По результатам проведенного анализа значения коэффициента диффузии для доброкачественных образований были достоверно выше, чем для ПКР ($p < 0,05$). Статистически значимой разницы между светлоклеточным, хромофобным и папиллярным типами рака почки в показателях коэффициента диффузии как при b-факторах 0–800 с/мм², так и при 0–1000 с/мм² выявлено не было.

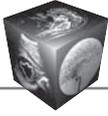
Заключение. ДВИ позволяет предположить доброкачественный генез солидного образования почки. Дифференциальных признаков для ПКР различных гистологических типов по данным ДВИ выявлено не было.

Ключевые слова: ДВИ, МРТ, солидные опухоли почек, рак почки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Рубцова Н.А., Гольбиц А.Б., Кабанов Д.О., Крянева Е.В., Воробьев Н.В., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. Возможности диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике солидных образований почек. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 79–88.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1189>

Поступила в редакцию: 19.04.2022. **Принята к печати:** 30.05.2022. **Опубликована online:** 28.12.2022.



The role of DWI MRI for differential diagnostic of solid renal tumors

© Natalia A. Rubtsova¹, Aleksandra B. Golbits^{1*}, Dmitry O. Kabanov¹, Elena V. Kryaneva¹, Nikolai V. Vorobyev^{1, 2}, Boris Ya. Alekseev^{1, 3}, Andrei D. Kaprin^{1, 4}

¹ P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky proezd, Moscow 125284, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow 119991, Russian Federation

³ Russian Biotechnological University; 11, Volokolamskoye shosse, Moscow 125080, Russian Federation

⁴ Medical institute of The Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

Introduction. Currently, CT and MRI do not reliably differentiate oncocytoma, angiomyolipoma with minimal fat and renal cell carcinoma, and therefore most patients with localized solid renal tumors undergo surgical treatment. Identification of differential signs of benign formations according to imaging methods would make it possible to change the therapeutic tactics in more than a third of cases in patients with newly diagnosed small renal masses (less than 4 cm).

Purpose. The aim of the study was to evaluate the diagnostic efficacy of diffusion-weighted MRI (DWI) in the differential diagnosis of solid renal masses.

Materials and methods. A prospective study, which included 90 patients aged 34 to 79 years with primary solid renal masses who were examined and treated at the Hertsen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation was conducted in the period from February 2019 to October 2021. Before surgery, all patients underwent MRI of the retroperitoneal organs using DWI with b-factors of 0–800 s/mm² and 0–1000 s/mm². The diffusion coefficient was quantified on two ADC maps for renal masses of various histological types and the obtained values were compared with each other.

Results. According to the results of the statistical analysis, the values of the diffusion coefficient for benign tumors were significantly higher than for RCC ($p < 0.05$). There was no statistically significant difference between clear cell, chromophobe and papillary types of RCC in terms of diffusion coefficient both at b-factors of 0–800 s/mm² and at 0–1000 s/mm².

Conclusion. Using DWI we can suggest a benign genesis of a solid renal mass. Differential signs for RCC of various histological types according to diffusion-weighted images were not identified.

Keywords: DWI, MRI, solid renal tumors, renal cell carcinoma

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Rubtsova N.A., Golbits A.B., Kabanov D.O., Kryaneva E.V., Vorobyev N.V., Alekseev B.Ya., Kaprin A.D. The role of DWI MRI for differential diagnostic of solid renal tumors. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 79–88. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1189>

Received: 19.04.2022.

Accepted for publication: 30.05.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

Почечно-клеточный рак (ПКР) является наиболее распространенной злокачественной опухолью почки, при этом в последние годы отмечается стабильная тенденция к росту заболеваемости [1]. Так, в России на 2020 г. показатель заболеваемости для ПКР составил 131,2 на 100 тыс. населения, в то время как в 2019 и 2018 гг. показатели соответствовали 128,2 и 121,1 на 100 тыс. населения [2].

Ведущая роль в выявлении образований почек отводится методам медицинской визуализации [3]. Однако, несмотря на значительные успехи в развитии диагностики, в настоящее время возможности даже таких высокотехнологичных мето-

дов, как компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), имеют ряд ограничений, например, не позволяют дифференцировать некоторые доброкачественные новообразования, такие как ангиомиолипома с низким содержанием жира и онкоцитомы, от ПКР различных гистологических типов (рис. 1), что зачастую является причиной завышения показаний к хирургической тактике лечения пациентов с солидными опухолями почек [4, 5]. Одним из способов снизить количество больных с объемным процессом доброкачественного генеза среди пациентов, подвергающихся радикальному или органосохраняющему хирургическому лечению, является

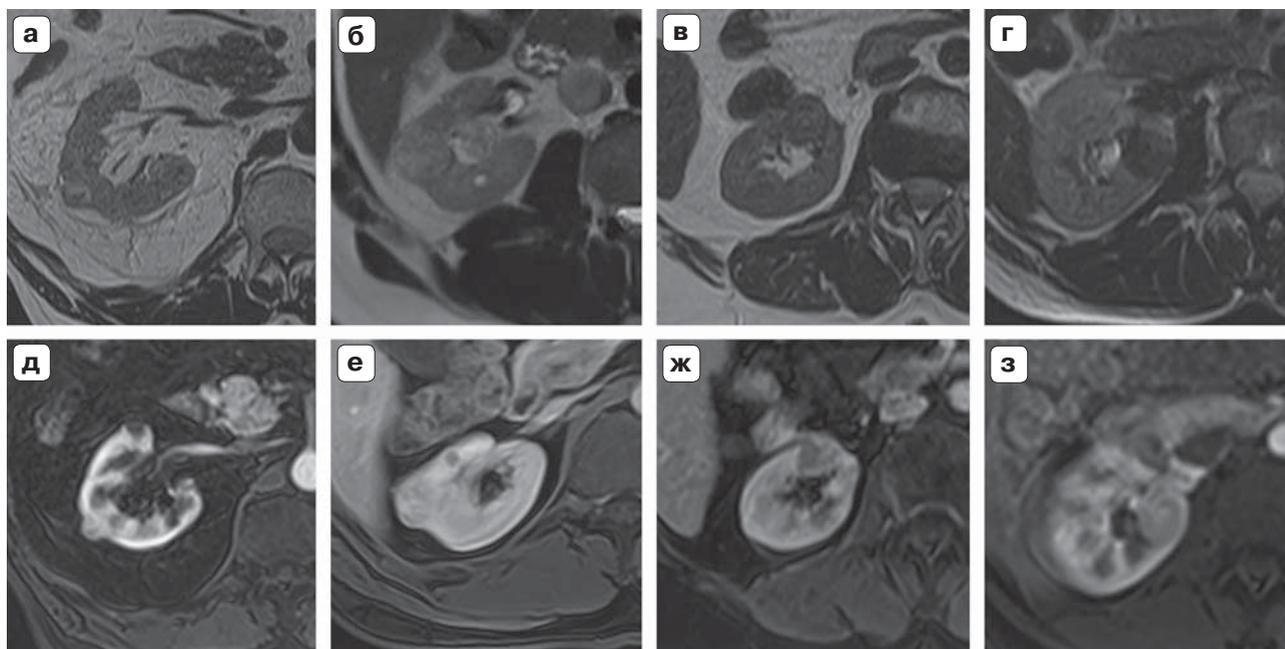
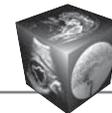


Рис. 1. МР-томограммы в T2ВИ (а–г) и постконтрастных T1FatSat (д–з) иллюстрируют сложности дифференциальной диагностики хромофобного ПКР (а, д), светлоклеточного ПКР (б, е), папиллярного ПКР (в, ж) и ангиомиолипомы с низким содержанием жира (г, з).

Fig. 1. MRI tomograms in T2WI (а–г) and post-contrast T1FatSat (д–з) illustrate the difficulties of differential diagnosis of chromophobe RCC (а, д), clear cell RCC (б, е), papillary RCC (в, ж) and angiomyolipomas with minimal fat (г, з).

проведение биопсии в рамках выбора лечебной стратегии.

Согласно рекомендациям Российского общества урологов и Европейской ассоциации урологов, биопсия может быть выполнена пациентам с солидными образованиями почек в соответствии с показаниями [1, 6]. Однако этот способ является инвазивным и может быть ассоциирован с развитием таких осложнений, как кровотечение, инфицирование раневого канала, развитие имплантационных метастазов [7]. Кроме того, информативность данных, полученных при биопсии, значительно варьирует в зависимости от зоны забора материала и гетерогенности структуры образования [8, 9]. Таким образом, несмотря на потенциальную возможность проведения биопсии, влияние ее результатов на снижение количества хирургических вмешательств у больных с доброкачественными опухолями почек невелико.

Хирургическое лечение является методом выбора для локализованных и, в определенных случаях, генерализованных форм ПКР, при этом с учетом местной распространенности опухоли может быть выполнена либо органосохраняющая операция в объеме резекции почки, либо проведена радикальная нефрэктомия [1, 3, 6]. Несмотря на хорошие показатели 5-летней выживаемости

у пациентов с ПКР после проведенной операции, имеется ряд интра- и постоперационных рисков, таких как, например, сокращение функционального резерва почечной паренхимы, развитие кровотечения, формирование уринарной фистулы после резекции почки, сказывающихся на качестве жизни пациентов [10]. Также хирургическое лечение ассоциировано со значительными финансовыми затратами, связанными как с периодом госпитализации, так и с последующей реабилитацией. То есть в тех случаях, когда образование носило доброкачественный характер, существовала возможность консервативной тактики ведения, не влияющей на качество жизни пациента и экономическую составляющую.

По данным A. Crestani и соавт. (2016), доля доброкачественных и злокачественных образований от общего числа новообразований почек составляет 20–46% и 60–80% соответственно [11]. Отмечается прямая корреляция между размерами опухоли и вероятностью малигнизации. Так, среди образований диаметром менее 1 см доброкачественные опухоли диагностируются в 46% случаев, при размерах от 1 до 4 см – до 20%, в тех случаях, когда размер новообразования превышает 4 см, доля доброкачественных процессов снижается до 10–15% [11, 12].



Наличие возможности достоверно дифференцировать доброкачественные и злокачественные опухоли малых размеров (менее 4 см) по данным методов визуализации позволило бы избежать хирургического лечения в более чем трети случаев у пациентов с впервые выявленными новообразованиями почек.

По данным зарубежных публикаций последних лет, применение диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ), измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) позволяет предположить доброкачественную природу солидного образования почки [13–19]. К наиболее значимым работам относится литературный обзор M. Tordjman и соавт. (2020), в котором изучены данные 61 исследования (с общим количеством наблюдений 3714) с целью оценки диагностической эффективности количественного анализа коэффициента диффузии в дифференциальной диагностике локализованных форм ПКР от других опухолей почек [13]. По результатам проведенного статистического анализа авторы установили, что чувствительность и специфичность ДВИ для предположения гистологического типа анализируемой опухоли (светлоклеточного ПКР (сПКР), папиллярного ПКР (пПКР), хромофобного ПКР (хрПКР), онкоцитомы и ангиомиолипомы (АМЛ) с низким содержанием жира) составляют 80 и 78% соответственно. Однако в опубликованной работе не приводятся референсные значения коэффициента диффузии для дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных образований почек, в том числе для исследований, выполненных на МР-томографах с разной индукцией магнитного поля.

Среди публикаций о применении ДВИ в диагностике солидных опухолей почек в электронной базе “e-library” найдена одна работа, посвященная оценке клинической информативности МРТ с использованием методики диффузионно-взвешенной визуализации в дифференциальной диагностике сПКР и доброкачественных новообразований почек [20]. В исследование было включено 52 пациента, которым на дооперационном этапе выполнялась диффузионно-взвешенная МРТ с b-факторами 0–600 с/мм². По результатам проведенной работы была выявлена статистически значимая разница в показателях коэффициента диффузии между доброкачественными и злокачественными образованиями почек. Однако в опубликованном исследовании не производилась оценка несветлоклеточных форм ПКР, таких как папиллярного и хромофобного, в то время как наибольшую трудность вызывает дифференциальная диагностика онкоцитомы и хрПКР. Также дальнейшего изучения требует определение ин-

формативности ДВИ с оценкой коэффициента диффузии опухолей почек различных гистологических типов при применении ДВИ с b-факторами 0–800 и 0–1000 с/мм².

Основываясь на данных опубликованных ранее работ, не вызывает сомнения, что ДВИ обладает потенциалом в предположении гистологического типа опухоли почки, однако вопросы определения оптимального протокола сканирования и референсных значений ИКД для наиболее распространенных новообразований требуют дальнейшего изучения.

Цель исследования

Оценить диагностическую эффективность диффузионно-взвешенной МРТ в дифференциальной диагностике солидных образований почек.

Материал и методы

В период с февраля 2019 г. по октябрь 2021 г. проведено проспективное исследование, в которое было включено 90 пациентов в возрасте от 34 до 79 лет (средний возраст $64 \pm 11,56$ года) с первичными солидными образованиями почек, проходивших обследование и лечение в МНИОИ им. П.А. Герцена – филиале ФГБУ “НМИЦ радиологии”. Гендерное распределение составило 3:1 (66 мужчин и 24 женщины). Всем пациентам была выполнена МРТ с последующим сопоставлением результатов с данными планового послеоперационного гистологического исследования.

По результатам морфологического анализа исследуемые пациенты были разделены на 4 группы: 1-я – сПКР G1–G4 (60%, n = 54); 2-я – хрПКР (11%, n = 10); 3-я – пПКР (17%, n = 15); 4-я – доброкачественные образования (12%, n = 11, среди которых 8 онкоцитом, 2 АМЛ с низким содержанием жира, 1 лейомиома).

Критериями исключения были: наличие в анамнезе первично-множественных метастазов и синхронных заболеваний, общие противопоказания к МРТ.

Всем пациентам на предоперационном этапе выполнялась МРТ на томографе Canon Vantage Titan с индукцией магнитного поля 1,5 Тл с применением ДВИ с b-факторами 0–800 и 0–1000 с/мм². Измерение коэффициента диффузии в каждом случае осуществлялось путем выставления области интереса (ROI) в солидной части опухоли почки, исключая кистозные и аваскулярные участки, на двух ИКД-картах (рис. 2).

Коэффициенты диффузии для b-факторов 0–800 и 0–1000 с/мм² для опухолей вышеуказанных четырех групп сопоставлялись между собой. Статистический анализ данных выполнен с ис-

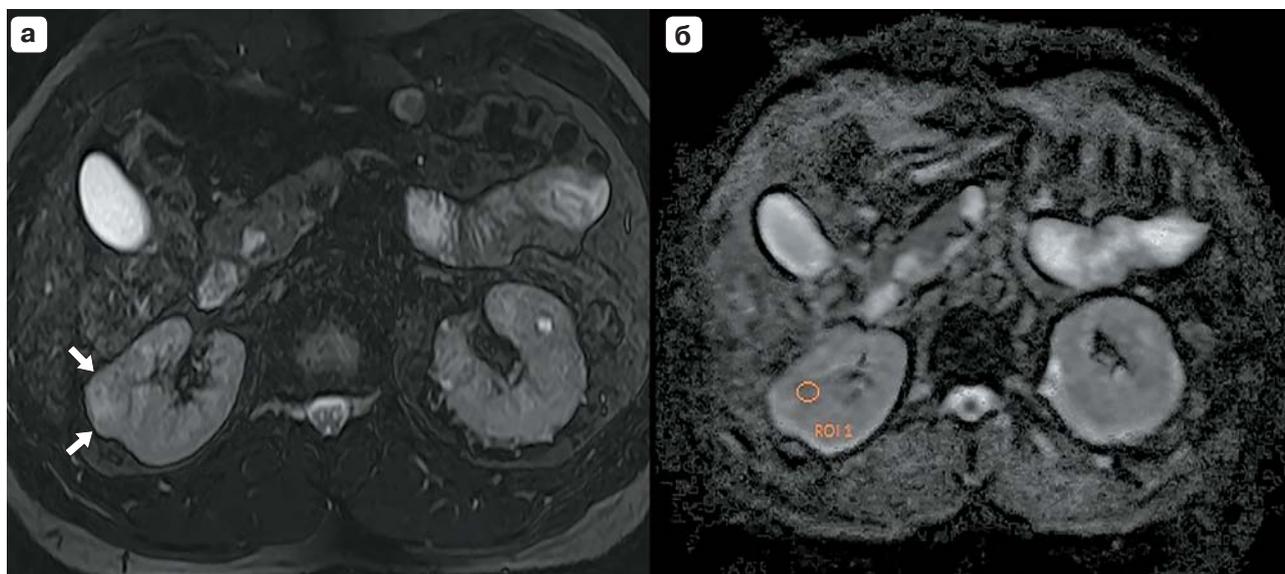
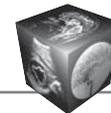


Рис. 2. МР-томограммы пациента с ПКР правой почки. **а** – T2ВИ FatSat, стрелки указывают на опухоль; **б** – пример выставления ROI на ИКД-карте в солидном компоненте образования.

Fig. 2. MRI scans of a patient with RCC of the right kidney. **a** – T2WI FatSat, arrows indicate the tumor; **b** – an example of ROI in the solid component of the tumor on the ADC map.

пользованием программ Statsoft Statistica Professional 12 и Microsoft Excel 2016. Для количественных признаков предварительно оценивалось соответствие закону нормального распределения по критерию Шапиро–Уилка с последующим попарным сравнением групп по количественным признакам с применением критерия Манна–Уитни.

Результаты и их обсуждение

Полученные значения коэффициентов диффузии при b-факторах 0–800 и 0–1000 с/мм² для различных гистологических типов ПКР и гетерогенной группы доброкачественных узлов представлены в табл. 1.

При попарном сопоставлении количественных показателей коэффициента диффузии между четырьмя анализируемыми группами статистически значимая разница ($p < 0,05$) была выявлена между доброкачественными опухолями и пПКР, хрПКР, сПКР при b-факторах 0–800 и 0–1000 с/мм² (табл. 2). Однако при сравнении полученных значений в группах ПКР достоверных различий не определялось (рис. 3).

По результатам проведенного исследования отличительным признаком доброкачественных опухолей почек является более высокое значение коэффициента диффузии по сравнению с тако-

Таблица 1. Показатели коэффициента диффузии при b-факторах 0–800 и 0–1000 с/мм² для различных гистологических типов солидных опухолей почек

Table 1. Diffusion coefficient values at b-factors 0–800 and 0–1000 s/mm² for various histological types of solid renal tumors

Показатель Parameter	Светлоклеточный ПКР Clear cell RCC		Хромофобный ПКР Chromophobe RCC		Папиллярный ПКР Papillary RCC		Доброкачественные образования Benign formations	
	DWI 800	DWI 1000	DWI 800	DWI 1000	DWI 800	DWI 1000	DWI 800	DWI 1000
N	54	54	10	10	15	15	11	11
Mean	1126,57	1020,74	1068,06	928,11	974,84	857,46	1442,50	1303,19
Median	1006,38	921,76	1010,88	971,65	945,30	834,20	1567,90	1367,10
Min	482,11	465,3	798,2	643,2	683,2	630,1	727,77	623,7
Max	1933,27	1798,1	1512,48	1112,1	1398,2	1293,5	1786,3	1580,8
25 per.	833,18	724,4	893,1	789,4	798,9	732,1	1323,3	1200,1
75 per.	1450,55	1322	1200,83	1023,1	1070,5	908,5	1674,1	1540,9
SD	388,18	376,21	227,26	149,32	199,88	173,55	323,51	317,26



Таблица 2. Парные сравнения показателей коэффициента диффузии при b-факторах 0–800 и 0–1000 с/мм² для различных гистологических типов солидных опухолей почек с использованием критерия Манна–Уитни
Table 2. Pairwise comparisons of diffusion coefficients at b-factors 0–800 and 0–1000 s/mm² for various histological types of solid renal tumors using the Mann–Whitney test

сравниваемые группы / groups		коэффициент диффузии b / apparent diffusion coefficient b 0–800 s/mm ²	коэффициент диффузии b / apparent diffusion coefficient b 0–1000 s/mm ²
сПКР	хрПКР	0,8371	0,7816
сПКР	пПКР	0,2024	0,1808
сПКР	Доброкачественные	0,0182	0,0309
хрПКР	пПКР	0,2794	0,2120
хрПКР	Доброкачественные	0,0124	0,0082
пПКР	Доброкачественные	0,0018	0,0031

Note. сПКР = ccRCC, хрПКР = chRCC, пПКР = pRCC, доброкачественные = benign formations.

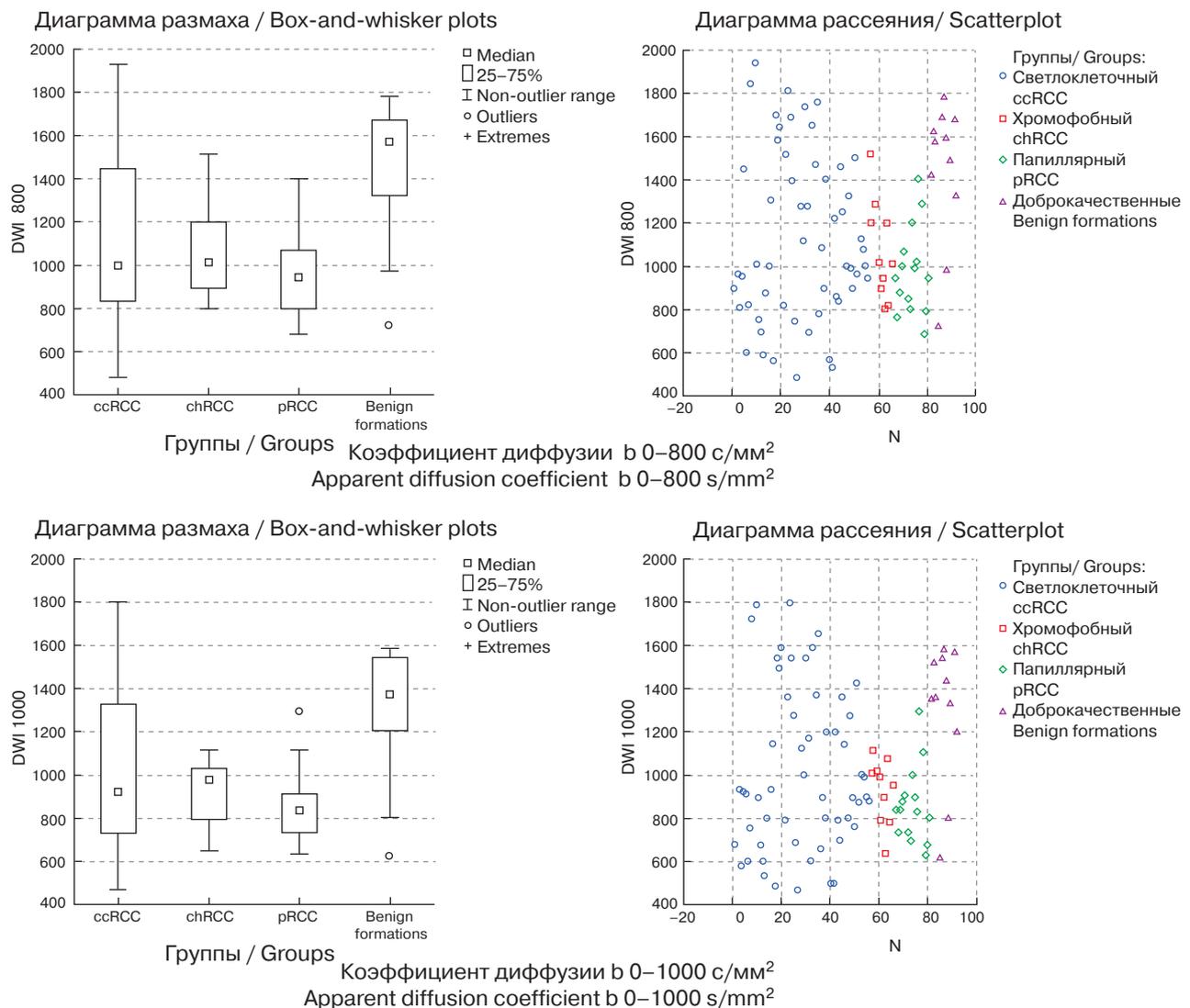
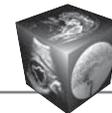


Рис. 3. Диаграммы размаха и рассеяния для показателей коэффициента диффузии в группах доброкачественных опухолей и различных видов ПКР.

Fig. 3. Range and scatter plots for diffusion coefficient indices in groups of benign tumors and various types of RCC.



вым в случае злокачественных новообразований, как при b -факторах 0–800 с/мм², так и при 0–1000 с/мм², что, вероятно, можно объяснить особенностями структуры ПКР в виде большей клеточности и наличия извитого хода узких межклеточных промежутков. Такое строение опухолевого узла ограничивает скорость движения молекул воды, на которой основываются ДВИ, что проявляется более низкими количественными показателями коэффициента диффузии.

Статистически значимой разницы между рассматриваемыми видами ПКР выявлено не было, что, видимо, можно объяснить тем, что структура любых злокачественных узлов почки характеризуется сходной клеточной архитектурой.

При сопоставлении количественных значений коэффициента диффузии при b -факторах 0–800 и 0–1000 с/мм² показатели всех групп коррелируют между собой, что свидетельствует о возможности использования в протоколах сканирования почек ДВИ с любыми из исследуемых b -факторов. Однако отмечено, что применение ДВИ с b -факторами 0–800 с/мм² для органов брюшной полости и забрюшинного пространства, как правило, связано с меньшим количеством артефактов и лучшим качеством изображений.

Схожие статистические данные были получены Y. Zhong и соавт., которые сравнивали коэффициент диффузии хрПКР и онкоцитомы у 48 пациентов [17]. ДВИ выполнялись с применением b -факторов 0–800 с/мм² на МР-аппаратах с индукцией магнитного поля 1,5 и 3 Тл. Значения коэффициента диффузии для онкоцитом составили $1590 \pm 210 \cdot 10^{-6}$ мм²/с, что также коррелирует с данными работ S. Sevcenco и соавт. ($1603 \pm 636 \cdot 10^{-6}$ мм²/с) и F. Cornelis и соавт. ($1623 \pm 0,469 \cdot 10^{-6}$ мм²/с) [18, 19]. В проведенном исследовании центра МНИОИ им. П.А. Герцена данный показатель для доброкачественных образований был $1442,5 \pm 323,51 \cdot 10^{-6}$ мм²/с (b факторы 0–800 с/мм²), численное значение которого меньше, чем в сравниваемых работах, вероятно, вследствие гетерогенности рассматриваемой группы за счет наличия, помимо онкоцитом, АМЛ с низким содержанием жира и лейомиом.

В литературном обзоре M. Tordjman и соавт. был выполнен ретроспективный анализ коэффициента диффузии для 3714 образований почек (сПКР, пПКР, хрПКР, онкоцитомы и АМЛ с низким содержанием жира) [13]. Исследователи изучали информативность ДВИ с различными b -факторами, определяли оптимальную методику измерения коэффициента диффузии, чувствительность и специфичность ДВИ в дифференциальной диаг-

ностике доброкачественных опухолей и ПКР. По результатам опубликованной работы не выявлено статистически значимой разницы при оценке почечной паренхимы на ИКД-картах, полученных при значениях b -фактора 0–800 и 0–1000 с/мм² ($p = 0,08$), что коррелирует с результатами выполненной работы в МНИОИ им. П.А. Герцена. Оптимальной методикой измерения коэффициента диффузии считается выставление ROI на солидный компонент опухоли, исключая кистозные зоны и участки распада, а не на все образование целиком. Было выявлено, что онкоцитомы характеризуются более высокими количественными показателями коэффициента диффузии, чем ПКР. Чувствительность и специфичность ДВИ для предположения гистологического типа анализируемой опухоли почки составили 80 и 78% соответственно [13].

Таким образом, диффузионно-взвешенная МРТ обладает высокой информативностью в дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных образований почек, что является клинически значимым для определения тактики ведения пациентов. При выполнении исследования на томографе Canon с индукцией магнитного поля 1,5 Тл и измерении коэффициента диффузии при b факторах 0–800 с/мм² в образовании почки можно предположить доброкачественный генез оцениваемой структуры при количественных показателях, составляющих $1567,90 \cdot 10^{-6}$ мм²/с [1323,3–1674,1] (медиана [25-й и 75-й процентиля]). Однако референсные значения коэффициента диффузии на МР-томографах других вендоров, а также с индукцией магнитного поля 3 Тл могут отличаться от полученных результатов, что требует дальнейшего изучения, как и исследование данных об эффективности применения ДВИ для предположения гистологического типа ПКР.

Заключение

На основании полученных результатов исследования и данных литературы диффузионно-взвешенная МРТ является перспективным направлением в лучевой диагностике, позволяющим предположить доброкачественный генез солидных образований почек. Одним из ключевых технических параметров выполнения диффузионно-взвешенной МРТ является b -фактор. С учетом проведенного исследования в протоколе сканирования почек возможно применение ДВИ как с b -факторами 0–800 с/мм², так и с 0–1000 с/мм², однако использование более высоких значений b -фактора ассоциировано с большим количеством артефактов.



Применение диффузионно-взвешенных изображений для дифференциальной диагностики различных видов ПКР требует дальнейшего изучения.

Участие авторов

Рубцова Н.А. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Гольбиц А.Б. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Кабанов Д.О. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Крянева Е.В. – проведение исследования, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Воробьев Н.В. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Алексеев Б.Я. – утверждение окончательного варианта статьи.

Каприн А.Д. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Rubtsova N.A. – concept and design of the study, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Golbits A.B. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design.

Kabanov D.O. – collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data.

Kryaneva E.V. – conducting research, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design.

Vorobyev N.V. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Alekseev B.Ya. – approval of the final version of the article.

Kaprin A.D. – approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Рак паренхимы почки, 2021. Российские клинические рекомендации (Общероссийский национальный союз "Ассоциация онкологов России", Общероссийская общественная организация "Российское общество онкоурологов", Общероссийская общественная организация "Российское общество клинической онкологии", Общероссийская общественная организация "Российское общество урологов").
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2020 году / Под ред. Каприна А.Д., Старинского В.В., Шахзадовой А.О. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России, 2021. 239 с.
3. Урология. Российские клинические рекомендации / Под ред. Аляева Ю.Г., Глыбочко П.В., Пушкаря Д.Ю. М.: Медфорум, 2017: 293–357.
4. Sasaguri K., Takahashi N. CT and MR imaging for solid renal mass characterization. *Eur. J. Radiol.* 2018; 99: 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.12.008>
5. Kay F.U., Pedrosa I. Imaging of solid renal masses. *Radiol. Clin. N. Am.* 2016; 55 (2): 243–258. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2016.10.003>
6. EAU Guidelines. Renal cell carcinoma. Edn. presented at the EAU Annual Congress Amsterdam 2022. ISBN 978-94-92671-16-5
7. Macklin P.S., Sullivan M.E., Tapping C.R. et al. Tumour Seeding in the Tract of Percutaneous Renal Tumour Biopsy: A Report on Seven Cases from a UK Tertiary Referral Centre. *Eur. Urol.* 2019. 75 (5): 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2018.12.011>
8. Patel H.D., Druskin S.C., Rowe S.P. et al. Surgical histopathology for suspected oncocytoma on renal mass biopsy: a systematic review and meta-analysis. *BJU Int.* 2017; 119 (5): 661–666. <https://doi.org/10.1111/bju.13763>
9. Liu S., Lee S., Rashid P. et al. Active surveillance is suitable for intermediate term follow-up of renal oncocytoma diagnosed by percutaneous core biopsy. *BJU Int.* 2016; 118, Suppl. 3: 30–34. <https://doi.org/10.1111/bju.13538>
10. Рубцова Н.А., Крянева Е.В., Гольбиц А.Б. и др. Нефрометрическая система R.E.N.A.L. в практике рентгенолога. *Онкоурология.* 2020; 16 (4): 17–31. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2020-16-4-17-31>
11. Crestani A., Rossanese M., Calandriello M. et al. Introduction to small renal tumours and prognostic indicators. *Int. J. Surg.* 2016; 36: 495–503. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsu.2016.03.038>
12. Sebastià C., Corominas D., Musquera M. et al. Active surveillance of small renal masses. *Insights into Imaging.* 2020; 11 (1): 63. <https://doi.org/10.1186/s13244-020-00853-y>
13. Tordjman M., Mali R., Madelin G. et al. Diagnostic test accuracy of ADC values for identification of clear cell renal cell carcinoma: systematic review and meta-analysis *Eur. Radiol.* 2020; 30: 4023–4038. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06740-w>
14. Kay F.U., Canvasser N.E., Xi Y. et al. Diagnostic Performance and Interreader Agreement of a Standardized MR Imaging Approach in the Prediction of Small Renal Mass Histology. *Radiology.* 2018; 287 (2): 543–553. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018171557>
15. Lopes Vendrami C., Parada Villavicencio C., DeJulio T.J. et al. Differentiation of solid renal tumors with multiparametric MR Imaging. *RadioGraphics.* 2017; 37: 2026–2042. <https://doi.org/10.1148/rg.2017170039>
16. Woo S., Cho J.Y. Imaging Findings of Common Benign Renal Tumors in the Era of Small Renal Masses: Differential Diagnosis from Small Renal Cell Carcinoma – Current Status and Future Perspectives. *Korean J. Radiol.* 2015; 16 (1): 99–113. <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2015.16.1.99>



17. Zhong Y., Wang H., Shen Y. et al. Diffusion-weighted imaging versus contrast-enhanced MR imaging for the differentiation of renal oncocytomas and chromophobe renal cell carcinomas. *Eur. Radiol.* 2017; 27: 4913–4922. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-4906-9>
 18. Sevcenco S., Heinz-Peer G., Ponhold L. et al. Utility and limitations of 3-tesla diffusion-weighted magnetic resonance imaging for differentiation of renal tumors. *Eur. J. Radiol.* 2014; 83: 909–913. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.02.026>
 19. Cornelis F., Tricaud E., Lasserre A.S. et al. Routinely performed multiparametric magnetic resonance imaging helps to differentiate common subtypes of renal tumours. *Eur. Radiol.* 2014; 24: 1068–1080. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3107-z>
 20. Мыцк Ю.О. Роль диффузно-взвешенной визуализации магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике злокачественных новообразований почки. Наука молодых (ERUDITIO JUVENIUM). (2014); 4: 121–127.
- ### References
1. Renal carcinoma, 2021. Russian clinical guidelines (Russian National Union “Association of Oncologists of Russia”, Russian Public Organization “Russian Society of Urological Oncology”, Russian Public Organization “Russian Society of Clinical Oncology”, Russian Public Organization “Russian Society of Urologists”) (In Russian)
 2. The state of cancer care in Russia in 2020 / Eds of Kaprin A.D., Starinskiy V.V., Shakhzadova A.O. M.: Moscow Research Oncological Institute named after P.A. Herzen, 2021. 239 p. (In Russian)
 3. Urology. Russian clinical guidelines / Eds Alyaev Yu.G., Glybochko P.V., Pushkar D. Yu. M.: Medforum, 2017: 293–357. (In Russian)
 4. Sasaguri K., Takahashi N. CT and MR imaging for solid renal mass characterization. *Eur. J. Radiol.* 2018; 99: 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.12.008>
 5. Kay F.U., Pedrosa I. Imaging of solid renal masses. *Radiol. Clin. N. Am.* 2016; 55 (2): 243–258. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2016.10.003>
 6. EAU Guidelines. Renal cell carcinoma. Edn. presented at the EAU Annual Congress Amsterdam 2022. ISBN 978-94-92671-16-5
 7. Macklin P.S., Sullivan M.E., Tapping C.R. et al. Tumour Seeding in the Tract of Percutaneous Renal Tumour Biopsy: A Report on Seven Cases from a UK Tertiary Referral Centre. *Eur. Urol.* 2019. 75 (5): 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2018.12.011>
 8. Patel H.D., Druskin S.C., Rowe S.P. et al. Surgical histopathology for suspected oncocytoma on renal mass biopsy: a systematic review and meta-analysis. *BJU Int.* 2017; 119 (5): 661–666. <https://doi.org/10.1111/bju.13763>
 9. Liu S., Lee S., Rashid P. et al. Active surveillance is suitable for intermediate term follow-up of renal oncocytoma diagnosed by percutaneous core biopsy. *BJU Int.* 2016; 118, Suppl. 3: 30–34. <https://doi.org/10.1111/bju.13538>
 10. Rubtsova N.A., Kryaneva E.V., Golbits A.B. et al. The R.E.N.A.L. nephrometry score in radiologist's practice. *Onkourologiya = Cancer Urology.* 2020; 16 (4): 17–31. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2020-16-4-17-31> (In Russian)
 11. Crestani A., Rossanese M., Calandriello M. et al. Introduction to small renal tumours and prognostic indicators. *Int. J. Surg.* 2016; 36: 495–503. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsu.2016.03.038>
 12. Sebastia C., Corominas D., Musquera M. et al. Active surveillance of small renal masses. *Insights into Imaging.* 2020; 11 (1): 63. <https://doi.org/10.1186/s13244-020-00853-y>
 13. Tordjman M., Mali R., Madelin G. et al. Diagnostic test accuracy of ADC values for identification of clear cell renal cell carcinoma: systematic review and meta-analysis *Eur. Radiol.* 2020; 30: 4023–4038. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06740-w>
 14. Kay F.U., Canvasser N.E., Xi Y. et al. Diagnostic Performance and Interreader Agreement of a Standardized MR Imaging Approach in the Prediction of Small Renal Mass Histology. *Radiology.* 2018; 287 (2): 543–553. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018171557>
 15. Lopes Vendrami C., Parada Villavicencio C., DeJulio T.J. et al. Differentiation of solid renal tumors with multiparametric MR Imaging. *RadioGraphics.* 2017; 37: 2026–2042. <https://doi.org/10.1148/rg.2017170039>
 16. Woo S., Cho J.Y. Imaging Findings of Common Benign Renal Tumors in the Era of Small Renal Masses: Differential Diagnosis from Small Renal Cell Carcinoma – Current Status and Future Perspectives. *Korean J. Radiol.* 2015; 16 (1): 99–113. <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2015.16.1.99>
 17. Zhong Y., Wang H., Shen Y. et al. Diffusion-weighted imaging versus contrast-enhanced MR imaging for the differentiation of renal oncocytomas and chromophobe renal cell carcinomas. *Eur. Radiol.* 2017; 27: 4913–4922. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-4906-9>
 18. Sevcenco S., Heinz-Peer G., Ponhold L. et al. Utility and limitations of 3-tesla diffusion-weighted magnetic resonance imaging for differentiation of renal tumors. *Eur. J. Radiol.* 2014; 83: 909–913. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.02.026>
 19. Cornelis F., Tricaud E., Lasserre A.S. et al. Routinely performed multiparametric magnetic resonance imaging helps to differentiate common subtypes of renal tumours. *Eur. Radiol.* 2014; 24: 1068–1080. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3107-z>
 20. Mytsik Yu.O. The role of diffuse-weighted imaging of magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of malignant renal masses. Наука молодых (ERUDITIO JUVENIUM) 2014; 4: 121–127 (In Russian)



Для корреспонденции*: Гольбиц Александра Борисовна – тел.: +7-950-224-79-14. E-mail: a_golbits@mail.ru

Рубцова Наталья Алефтиновна – доктор мед. наук, руководитель отдела лучевой диагностики МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>. E-mail: rna17@yandex.ru

Гольбиц Александра Борисовна – врач-рентгенолог отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4030-3212>

Кабанов Дмитрий Олегович – врач-рентгенолог отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3550-0139>. E-mail: dkdjap@gmail.com

Крянева Елена Владимировна – врач-рентгенолог отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9474-1074>. E-mail: kryanevaelena@gmail.com

Воробьев Николай Владимирович – канд. мед. наук, заведующий отделением онкоурологии МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России; доцент кафедры онкологии, радиотерапии и пластической хирургии ФГАОУ ВО “Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5597-9533>. E-mail: dr.vorobyev@mail.ru

Алексеев Борис Яковлевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой онкологии ФГБОУ ВО “Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)”; Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>. E-mail: byalekseev@mail.ru

Каприн Андрей Дмитриевич – академик РАН, член-корр. РАО, профессор, доктор мед. наук, генеральный директор ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии медицинского факультета, медицинского института ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>. E-mail: kaprin@mail.ru

Contact*: Aleksandra B. Golbits – phone: +7-950-224-79-14. E-mail: a_golbits@mail.ru

Natalia A. Rubtsova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Radiology Department of P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>. E-mail: rna17@yandex.ru

Aleksandra B. Golbits – radiologist, Department of computed tomography and magnetic resonance imaging of P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4030-3212>

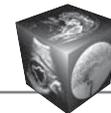
Dmitry O. Kabanov – radiologist, Department of computed tomography and magnetic resonance imaging of P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3550-0139>. E-mail: dkdjap@gmail.com

Elena V. Kryaneva – radiologist, Department of computed tomography and magnetic resonance imaging of P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9474-1074>. E-mail: kryanevaelena@gmail.com

Nikolai V. Vorobyev – Cand. of Sci. (Med.), Head of Oncourology Department of P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre; assistant professor of the Department of Oncology, Radiotherapy and Plastic Surgery of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5597-9533>. E-mail: dr.vorobyev@mail.ru

Boris Ya. Alekseev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy of General director of scientific affairs “National Medical Research Center of Radiology” of the Ministry of Health of the Russia; Head of the Department of Oncology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)”, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>. E-mail: byalekseev@mail.ru

Andrei D. Kaprin – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Corresponding member of Russian Academy of Education, Doct. of Sci. (Med.), Professor, General Director of “National Medical Radiological Research Center” of the Ministry of Health of the Russian Federation; Head of Department of urology and surgical nephrology with a course of oncurology at the medical faculty of medical institute of The Peoples’ Friendship University of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>. E-mail: kaprin@mail.ru



Почки. Специальная сессия под редакцией профессора А.И. Громова
Kidneys. Special session edited by professor A.I. Gromov

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1251>

Мультипараметрическое ультразвуковое исследование с контрастным усилением кистозных образований почки в сопоставлении с методом компьютерной томографии

© Кадырлеев Р.А.^{1*}, Багненко С.С.^{1,2}, Бусько Е.А.^{1,3}, Костромина Е.В.^{1,2}, Гончарова А.Б.³, Козубова К.В.¹, Меньшикова С.В.², Николаев А.В.²

¹ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, 68, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург; 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, Санкт-Петербург, 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9, Российская Федерация

Цель исследования: оценить эффективность и возможности мультипараметрического ультразвукового исследования (мПУЗИ) с эхоконтрастированием в оценке кистозных образований почек, сравнить данные с результатами компьютерной томографии (КТ) с контрастированием.

Материал и методы. В исследовании оценивались данные 61 человека с кистозными очагами почек (категория Bosniak \geq II). Кисты категорий Bosniak \geq III гистологически подтверждены, остальные (категории II–III) подтверждались длительным динамическим наблюдением. Всем пациентам выполнено мПУЗИ, включающее в себя серошкальный режим, доплеровское картирование (ЦДК) и контрастно-усиленное ультразвуковое исследование (КУУЗИ), а также КТ с контрастированием.

Результаты. мПУЗИ с контрастным усилением продемонстрировало высокие показатели эффективности метода: чувствительность – 97,2%, специфичность – 91,6%, точность – 95,1%. Аналогичные параметры КТ с контрастированием в исследуемой группе составили 91,7, 84,0, 88,5% соответственно. Также мПУЗИ продемонстрировало более точную оценку кистозных опухолей по классификации Bosniak в сравнении с КТ с контрастированием.

Заключение. мПУЗИ с применением эхоконтрастирования продемонстрировало существенное повышение эффективности метода в целом, а также более высокие показатели в сравнении с КТ при оценке кистозных образований почек. Данную методику следует рассматривать в качестве метода выбора в случаях, когда выполнение КТ невозможно, и рекомендуется включить в алгоритм обследования пациентов с кистозными опухолями почек.

Ключевые слова: почечно-клеточный рак, мПУЗИ с эхоконтрастированием, контрастно-усиленное УЗИ, компьютерная томография, классификация Bosniak

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кадырлеев Р.А., Багненко С.С., Бусько Е.А., Костромина Е.В., Гончарова А.Б., Козубова К.В., Меньшикова С.В., Николаев А.В. Мультипараметрическое ультразвуковое исследование с контрастным усилением кистозных образований почки в сопоставлении с методом компьютерной томографии. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 89–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1251>

Поступила в редакцию: 10.08.2022. **Принята к печати:** 25.11.2022. **Опубликована online:** 08.02.2023.



Contrast enhanced multiparametric ultrasound of cystic kidney lesions in comparison with the computed tomography

© Roman A. Kadyrleev^{1*}, Sergey S. Bagnenko^{1, 2}, Ekaterina A. Busko^{1, 3}, Ekaterina V. Kostromina^{1, 2}, Anastasiya B. Goncharova³, Kseniya V. Kozubova¹, Svetlana V. Menshikova², Aleksey V. Nikolaev²

¹ N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68, Leningradskaya str., Pesochny, St. Petersburg 197758, Russian Federation

² St. Petersburg State Pediatric Medical University; 2, Litovskaya str., St. Peterburg 194100, Russian Federation

³ St. Petersburg State University; 7/9, Universitetskaya embankment, St. Petersburg 199034, Russian Federation

Objective: to evaluate the effectiveness and capabilities of multiparametric ultrasound (mpUS) with contrast enhanced in the assessment of renal cystic lesions and compare data with the results of computed tomography (CT).

Patients and Methods. The study included 61 patients with cystic kidney tumors (category Bosniak \geq II). Cysts of categories Bosniak \geq III were morphologically verified, the rest (categories II-III) were under long-term dynamic control. All patients underwent mpUS including greyscale mode, color doppler imaging (CDI) and contrast-enhanced ultrasound (CEUS), as well as contrast-enhanced CT.

Results. Contrast-enhanced mpUS with CEUS demonstrated high efficiency of the method: sensitivity (Se) – 97.2%; specificity (Sp) – 91.6%; accuracy (A) – 95.1%. The effectiveness of CT with contrast in the study group was 91.7%; 84.0%; 88.5% respectively. Also, mpUS showed a more accurate assessment of cystic tumors according to the Bosniak classification, in comparison with contrast-enhanced CT.

Conclusions. Contrast-enhanced mpUS with CEUS demonstrated a significant increase in the effectiveness of the method as a whole, as well as higher rates in comparison with CT in the assessment of cystic formations of the kidneys. This technique should be considered as the method of choice in cases where CT is not possible, and it is recommended to include it in the algorithm for examining patients with cystic kidney tumors.

Keywords: renal cell carcinoma, mpUS with echocontrast, contrast-enhanced ultrasound, computed tomography, Bosniak classification

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Kadyrleev R.A., Bagnenko S.S., Busko E.A., Kostromina E.V., Goncharova A.B., Kozubova K.V., Menshikova S.V., Nikolaev A.V. Contrast enhanced multiparametric ultrasound of cystic kidney lesions in comparison with the computed tomography. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 89–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1251>

Received: 10.08.2022.

Accepted for publication: 25.11.2022.

Published online: 08.02.2023.

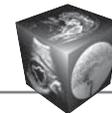
Введение

Ежегодно в мире диагностируется порядка 400 тыс. впервые выявленных случаев рака почки, что составляет не более 3,0% в структуре онкологической заболеваемости [1]. В России ежегодно диагностируют более 20 тыс. злокачественных опухолей данной зоны [2]. В 25,0–40,0% случаев опухоли почек обнаруживают случайно при обследовании по поводу другого заболевания.

По результатам лучевой диагностики образования почек обычно характеризуют как солидные или кистозные. Несмотря на то что большинство почечно-клеточных раков (ПКР) являются солидными очагами, до 15,0% диагностируются в виде кистозных образований с неоднородной структу-

рой вследствие распада опухоли или наличия злокачественного образования в структуре кисты. В то же время “агрессивное” лечение кистозных опухолей, предположительно являющихся ПКР, до сих пор способствует удалению многих доброкачественных очагов [3].

Компьютерная томография (КТ) с болюсным контрастным усилением является “золотым стандартом” для оценки кистозных опухолей паренхимы почек. Минимальная толщина среза и многофазное контрастирование являются обязательными для обнаружения тонких перегородок и небольших, накапливающих контрастный препарат узлов в структуре кист [4, 5].



Кистозные поражения принято дифференцировать в соответствии с классификацией Bosniak, основанной на оценке КТ-критериев, таких как размеры, толщина стенок, внутренние перегородки, плотные пристеночные образования, характеристики контрастирования [6, 7]. С годами классификация претерпела ряд изменений. Однако следует отметить, что и до выхода усовершенствованной классификации и после определенных сложности, а также проблемные вопросы сохраняют свою актуальность.

Несмотря на постоянное усовершенствование классификации, рентгенологи часто не сходятся во мнении относительно категории сложных кист по Bosniak [8]. Принципиальные разногласия достигают до 75,0% и присущи категориям II, IIF и III. Как итог, авторы делают вывод о ненадежности предложенных критериев оценки и использовании их в клинической практике [9].

Диапазон определяемых показателей злокачественности среди кистозных образований категории IIF широк (0,0–38,0%) и необъективен по параметрам отбора и оценки, поскольку большинство кист категории IIF не подвергаются биопсии или хирургическому лечению [10].

До появления методики эхоконтрастирования на протяжении длительного времени применение УЗИ для анализа кистозных очагов почек в структуре классификации Bosniak было недостоверным [11]. Появление доступных ультразвуковых контрастных веществ (УКВ) и мультипараметрического УЗИ (мпУЗИ) кардинально повлияло на эту ситуацию [12, 13].

Сегодня существует множество публикаций, в которых авторы сравнивают общепринятые методы лучевой диагностики с контрастно-усиленным УЗИ (КУУЗИ) [14]. В большей части работ отмечены схожие паттерны контрастирования при КТ/МРТ и УЗИ [15, 16]. В ряде опубликованных работ предположено, что КУУЗИ имеет перспективы являться методом выбора для оценки кистозных очагов почек, не прибегая к выполнению КТ или МРТ, а также отмечается серьезный потенциал методики в контексте более точного отбора пациентов для динамического контроля, хирургического лечения и выполнения биопсий [11, 16, 17].

Стоит отметить и ряд существующих трудностей и ограничений метода мпУЗИ. В первую очередь, речь идет о высокой операторозависимости, а также об отсутствии стандартизированного алгоритма сканирования. Также большое количество подкожно-жировой клетчатки является существенным ограничивающим фактором для визуализации опухоли. Остаются вопросы лицензирования и доступности к клиническому использованию УКВ [18, 19].

Таким образом, диагностика кистозных образований почек остается актуальной проблемой. На сегодняшний день стало доступно использование классификации Bosniak в рамках проведения мпУЗИ с эхоконтрастированием. Формально мпУЗИ в эту классификацию все еще не включено, однако работы в данном направлении на протяжении последних лет ведутся достаточно активно, подходы совершенствуются и предварительные публикации демонстрируют многообещающие результаты [16, 17].

Цель исследования

Оценить и сравнить эффективность КТ и мпУЗИ в оценке кистозных опухолей почек.

Материал и методы

В исследование включены данные 61 пациента с кистозными образованиями почек (категории Bosniak \geq II), которым было проведено КТ и мпУЗИ (включающее в себя обследование в В-режиме, ЦДК и КУУЗИ). Кисты Bosniak I были исключены из исследования ввиду полного отсутствия расхождений в диагнозе с другими диагностическими методами, отсутствия необходимости проведения эхоконтрастирования, а также дальнейшего контроля и гистологической верификации соответственно.

Все выявленные кисты категорий Bosniak II–IIF находились на длительном динамическом контроле, тогда как остальные (категории \geq III) гистологически верифицированы. Возраст исследуемых пациентов находился в диапазоне от 34 до 82 лет и в среднем составил $60 \pm 12,7$ года у женщин и $62 \pm 4,7$ года у мужчин.

КТ брюшной полости с контрастным усилением выполнена всем пациентам, сканирование проводили на 64-детекторном томографе Brilliance и 128-срезовом сканере Ingenuity Core фирмы Philips Healthcare (Германия) с толщиной слоя 1,5 мм. Для контрастного усиления применяли неионное контрастное вещество Омнипак 350 (GE Healthcare, Ирландия), международное название Йогексол (Iohexol). Количество вводимого контрастного препарата составляло 100 мл и вводилось со скоростью 4,5 мл/с.

Для выполнения мпУЗИ были использованы аппараты Hi Vision Ascendus, Aloka Noblus и Hi Vision Avius (Hitachi, Япония). Исследование включало в себя обзорное сканирование паренхимы почек с дальнейшим прицельным изучением зоны интереса. Далее выполнялся поиск наиболее оптимальной позиции пациента и датчика для максимально корректного выполнения эхоконтрастирования.



Непосредственно перед исследованием в кубитальную вену левой руки пациентам устанавливался одноразовый катетер диаметром 18 G. В качестве УКВ использовался препарат Соновью (Bracco Swiss S.A., Швейцария), международное название: серы гексафторид (Sulfur hexafluoride).

Препарат вводился в объеме 1,0 мл на одну зону исследования. Такой объем препарата необходим для того, чтобы избежать избыточного контрастирования паренхимы почки. Сразу после этого дополнительно вводили от 5 до 10 мл 0,9% раствора NaCl. Одновременно с введением контрастного вещества включалась запись кинопетли и активировался секундомер. Учитывая высокую подвижность почек при дыхании, для получения наиболее объективных показателей пациентов просили задержать дыхание на максимальном возможном сроке.

Интерпретация кистозных образований проводилась с использованием обновленной классификации Bosniak от 2019 г., включающей в себя 5 категорий по степени возрастания вероятности риска злокачественности [6].

Нами оценивались следующие критерии: толщина стенок и перегородок и их количество в структуре кистозных опухолей, фиксировались наличие пристеночного компонента и его характеристики контрастирования. Производилась оценка контрастирования перегородок, при наличии кровотока киста расценивалась как Bosniak III.

Статистическую обработку и анализ данных осуществляли с использованием пакета специализированных программ Statistica версии 9.0 и MATLAB 2020a с пакетом Statistics and Machine Learning Toolbox.

Соответствие статистического распределения изучаемых показателей теоретическому нормальному распределению Гаусса оценивали с помощью критерия Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилкса. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы принимался равным 0,05. Диагностическая эффективность используемых методов определялась по стандартным показателям.

После того как выяснено, что две группы значимо различаются, была определена “граница” между двумя группами. Поэтому нами также проведен ROC-анализ. Характеристическая кривая строилась по мерам чувствительности и специфичности. В качестве дополнительного критерия применяли оценку площади под кривой AUC (Area Under Curve), значения которой сопоставлялись с экспертной шкалой, позволяющей судить о качестве модели.

Результаты

КТ. В ходе проведенного исследования все выявленные кистозные образования были охарактеризованы по следующим критериям: размер очага, его форма, контур, локализация, наличие, количество и толщина перегородок, тканевые пристеночные включения, а также характер контрастирования.

Было установлено, что выявленные при КТ кистозные образования почек в среднем имели размер 25 ± 18 мм (32 ± 14 мм – доброкачественные, 21 ± 12 мм – злокачественные), чаще ($n = 35$; 57,3%) были неправильной формы (80,0% из которых являлись злокачественными). Неоднородная структура отмечалась в 58,4% случаев, из которых в 76,6% случаев данная характеристика соответствовала злокачественным очагам.

В исследовании была установлена статистически значимая сопряженность ($p < 0,05$) между числом выявляемых в кистозном образовании перегородок и злокачественным потенциалом образования. Злокачественные образования чаще (56,6%) имели больше трех перегородок в структуре (рис. 1а), хотя могли и не иметь данных изменений (рис. 1б). В доброкачественных образованиях перегородки обычно отсутствовали (71,4%) или наблюдалось (в 28,6% случаев) их минимальное (до трех) количество (рис. 1в).

Также получена статистически значимая сопряженность ($p < 0,05$) между контрастированием выявляемых в кистозном образовании перегородок и злокачественным потенциалом образования. Злокачественные очаги чаще характеризовались активным и минимальным накоплением контрастного вещества (63,3 и 26,6% соответственно). Для доброкачественных образований было характерно отсутствие контрастирования перегородок в большинстве случаев (85,7%).

мПУЗИ. В первую очередь, оценивались данные, полученные в режиме серой шкалы (рис. 2). Установлено, что размер выявленных кистозных образований почек в среднем составил 27 ± 18 мм.

Очаги чаще имели неправильную форму – 35 (57,3%), 20 (57,1%) из которых были злокачественными. Неоднородная структура чаще определялась при подозрении на малигнизацию – 21 (53,8%). Также злокачественные образования имели размытые границы (56,7%), а доброкачественные очаги в 100,0% случаев имели периферический тип кровотока.

Основными критериями контрастирования, которые мы учитывали в нашей работе, было контрастирование стенки кистозного очага, перегородок и наличие пристеночных образований, которые

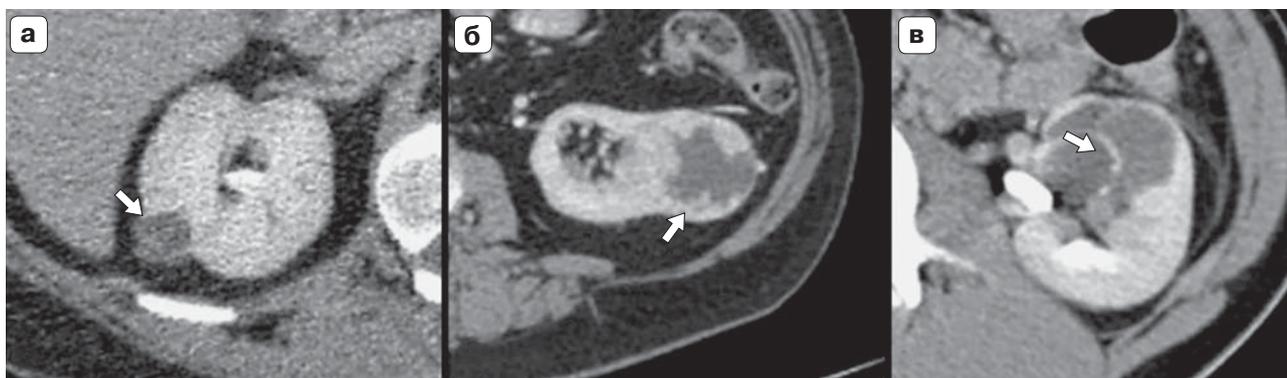


Рис. 1. КТ органов брюшной полости. **а** – кистозное образование почки с множественными перегородками (стрелка) в структуре (ПКР); **б** – кистозное образование почки (стрелка) без перегородок (ПКР); **в** – кистозное образование почки (стрелка) с единичной перегородкой (простая киста).

Fig. 1. CT scan of the abdominal organs. **a** – cystic kidney formation with multiple septa (arrow) in the structure (RCC); **б** – cystic kidney formation (arrow) without septa (RCC); **в** – cystic kidney formation (arrow) with a single septum (simple cyst).

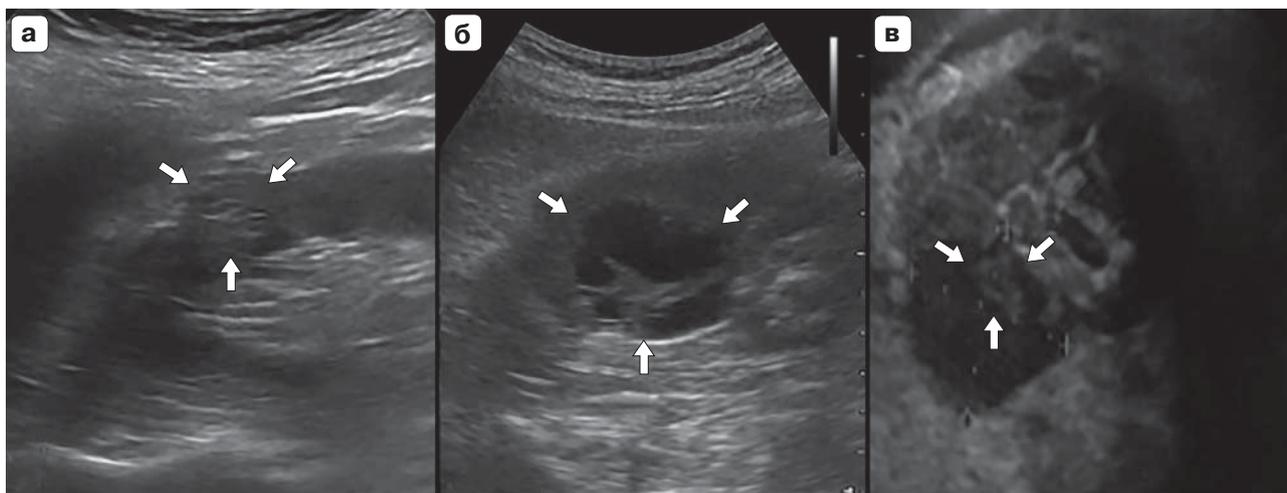


Рис. 2. Оценка кистозного образования в В-режиме. **а** – Bosniak IIF, неоднородное гетероэхогенное кистозное образование с нечетким неровным контуром (стрелки); **б** – Bosniak III, неоднородное гетероэхогенное кистозное образование с утолщенными перегородками (стрелка), с четким неровным контуром; **в** – Bosniak IV, неоднородное гетероэхогенное кистозное образование с пристеночным компонентом (стрелки).

Fig. 2. Assessment of cystic lesion in the gray-scale mode. **a** – Bosniak IIF, heterogeneous heteroechoic cystic lesion with an ill-defined irregular contour (arrows); **б** – Bosniak III, heterogeneous heteroechoic cystic lesion with a thick septa (arrow); **в** – Bosniak IV, heterogeneous heteroechoic cystic lesion with a parietal component (arrows).

часто выявлялись в структуре кист с неоднородным содержимым.

Так, активное контрастирование в структуре перегородок (рис. 3а) в 96,6% определялось у злокачественных опухолей и только в 3,4% у доброкачественных. Доброкачественные образования в большинстве своем не контрастировались (71,4%) (рис. 3б) и только в 28,6% имели фоновое накопление. Сопряженность этих признаков была значимой ($p < 0,05$).

Сравнительный анализ эффективности мпУЗИ и КТ в диагностике кистозных образований почек.

Нами сопоставлены результаты эффективности мпУЗИ с эхоконтрастированием с аналогичными показателями КТ с контрастным усилением.

При определении достоверности различий рассчитаны доверительные интервалы (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, КТ с контрастированием уступала по показателям эффективности результатам мпУЗИ на 6–7%, однако данное различие не является статистически значимым, так как доверительные интервалы перекрываются.

Сравнительные данные ROC-кривых приведены на рис. 4.

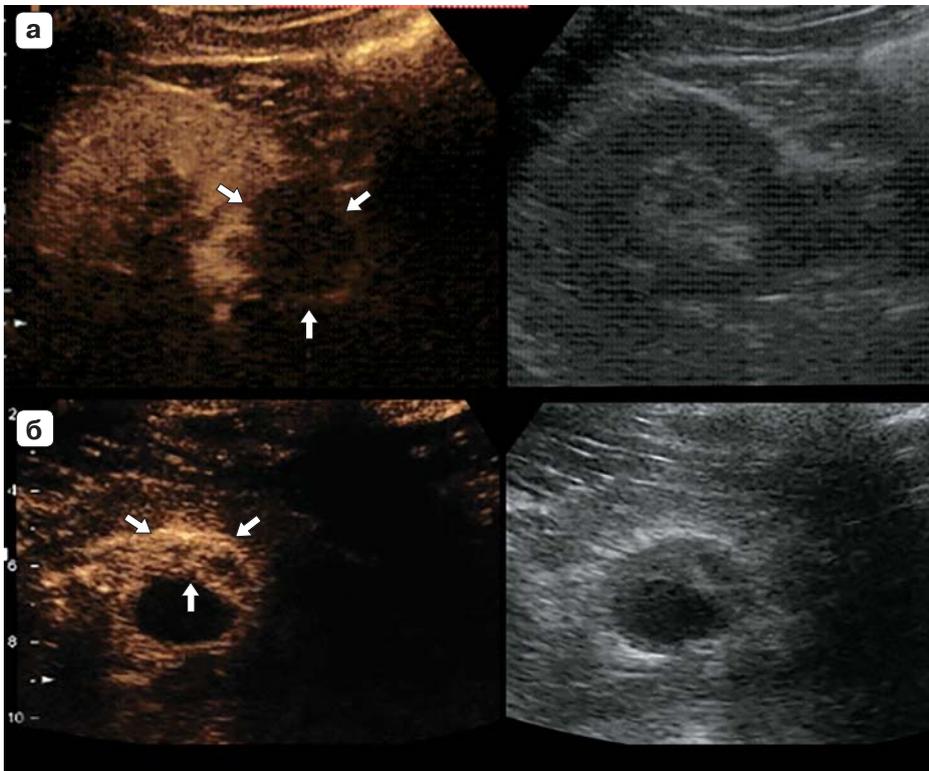


Рис. 3. Оценка кистозного образования в режиме КУУЗИ. **а** – отсутствие поступления контраста в структуру кистозного образования (стрелки); **б** – выраженное контрастирование в структуре пристеночного компонента кистозного образования (стрелки).

Fig. 3. Evaluation of cystic formation in the CEUS mode. **a** – Lack of contrast inflow into the structure of the cystic lesion (arrows); **б** – Pronounced contrasting in the structure of the parietal component of the cystic lesion (arrows).

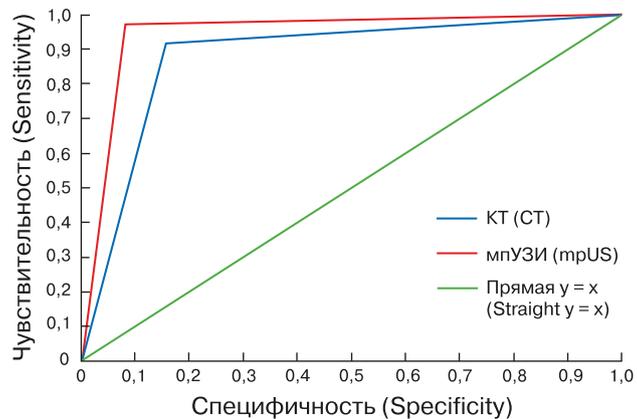
Таблица 1. Показатели диагностической эффективности КТ и методики мпУЗИ в диагностике кистозных образований почек

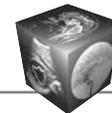
Table 1. Indicators of the diagnostic efficiency of CT and mpUS techniques in the diagnosis of cystic kidney formations

Группы Group	Кистозные образования почек (n = 61) Cystic kidney lesion (n = 61)		
	чувствительность, % sensitivity, %	специфичность, % specificity, %	точность, % accuracy, %
КТ / CT	91,7 (78,4–97,1)	84,0 (64,9–93,7)	88,5 (75,3 – 95,2)
мпУЗИ / mpUS	97,2 (86,1–99,5)	91,6 (74,1–97,9)	95,1 (76,8–98,0)

Рис. 4. ROC-кривая эффективности различных модальностей в диагностике кистозных опухолей почек. AUC КТ = 0,88 (хорошее качество метода); AUC мпУЗИ = 0,95 (отличное качество метода).

Fig. 4. ROC-curve of the effectiveness of various modalities in the diagnosis of cystic kidney tumors. AUC CT = 0.88 (good method quality); AUC mpUS=0.95 (excellent method quality).



**Таблица 2.** Распределение пациентов по категориям Bosniak по данным различных модальностей**Table 2.** Distribution of patients by Bosniak categories, according to different modalities

Категория Bosniak Bosniak category	мпУЗИ, n (%) mpUS, n (%)	КТ, n (%) СТ, n (%)	Морфология (рак), n (%) Morphology, n (%)
II	17 (27,9)	5 (8,2)	0
IIF	6 (9,8)	14 (23,0)	0
III	22 (36,1)	26 (42,6)	20 (32,8)
IV	16 (26,2)	16 (26,2)	16 (26,2)
Итого	61 (100,0)	61 (100,0)	36 (59,0)

Сравнительный анализ результатов мпУЗИ и КТ в распределении кистозных образований почек по классификации Bosniak. Все проанализированные кистозные образования почек (61) на основании полученных данных при нативном и контрастном УЗИ, а также КТ с контрастным усилением были нами распределены в рамках классификации Bosniak (табл. 2).

Поскольку кисты категории Bosniak I имеют патогномичную лучевую картину и полное соответствие в диагнозе с иными лучевыми методами диагностики, они были намеренно исключены из исследования. Также кисты данной категории не требуют проведения эхоконтрастирования, дальнейшего контроля и гистологической верификации.

Все выявленные образования категорий Bosniak \geq III гистологически верифицированы, остальные (категории II–IIF) находились на динамическом контроле.

По данным табл. 2 можно отметить, что злокачественные образования были верифицированы в 36 (59,0%) случаях. По результатам мпУЗИ с эхоконтрастированием в 22 наблюдениях была определена категория Bosniak III, тогда как по данным КТ данную категорию выставили у 26 пациентов. Все кисты данной выборки были гистологически подтверждены, в 20 случаях был выявлен светлоклеточный вариант ПКР. В 16 случаях оба метода (мпУЗИ и КТ) определили категорию Bosniak IV (во всех 16 наблюдениях в результате морфологической верификации подтвердился диагноз ПКР).

Заключение

Таким образом, мпУЗИ с эхоконтрастированием продемонстрировало оптимальные возможности в оценке кистозных образований почек. КТ с контрастным усилением имела схожие результаты, однако по ряду характеристик уступила в нашем исследовании контрастному УЗИ. С учетом того, что при мпУЗИ оценивать динамику

контрастного усиления мы можем лишь в проекции установленного датчика, в то время как при КТ анализируется орган целиком, метод КТ, по нашему мнению, должен сохранить за собой звание “золотого стандарта” диагностики рассматриваемых нозологий. Однако в диагностически сложных случаях, когда речь идет об оценке конкретного очага, использование метода мпУЗИ с эхоконтрастированием будет предпочтительным.

Также результаты нашего исследования указывают на то, что при оценке кистозных образований почек в рамках классификации Bosniak на базе данных КТ отмечается склонность к излишнему завышению категории кист, что может приводить к неоправданному оперативному лечению. В сравнительной оценке мпУЗИ продемонстрировало лучшие результаты, хотя незначительное завышение категорий также присутствовало.

Участие авторов

Кадырлеев Р.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Багненко С.С. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Бусько Е.А. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Костромина Е.В. – подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Гончарова А.Б. – статистическая обработка данных, участие в научном дизайне.

Козубова К.В. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Меньшикова С.В. – утверждение окончательного варианта статьи.

Николаев А.В. – утверждение окончательного варианта статьи.



Authors' participation

Kadyrleev R.A. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, writing text, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Bagnenko S.S. – concept and design of the study, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

Busko E.A. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

Kostromina E.V. – preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Goncharova A.B. – statistical analysis, participation in scientific design.

Kozubova K.V. – text preparation and editing, participation in scientific design.

Menshikova S.V. – approval of the final version of the article.

Nikolaev A.V. – approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Чиссов В.И., Давыдов М.И. Онкология: Национальное руководство. Краткое издание. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 576 с.
2. Носов А.К., Лушина П.А. Анализ заболеваемости и смертности от рака почки в России и Санкт-Петербурге. *Сибирский онкологический журнал*. 2017; 16 (5): 95–103. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2017-16-5-95-103>
3. Nouhaud F.X., Bernhard J.C., Bigot P. et al. Contemporary assessment of the correlation between Bosniak classification and histological characteristics of surgically removed atypical renal cysts (UroCCR–12 study). *Wld J. Urol*. 2018; 36 (10): 1643–1649. <https://doi.org/10.1007/s00345-018-2307-6>
4. Helenon O., Crosnier A., Verkarre V. Simple and complex renal cysts in adults: Classification system for renal cystic masses. *Diagn. Interv. Imaging*. 2018; 99 (4): 189–218. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2017.10.005>
5. Буровик И.А., Локшина А.А., Кулева С.А. Оптимизация методики мультиспиральной компьютерной томографии при динамическом наблюдении онкологических больных. *Медицинская визуализация*. 2015; 2: 129–134.
6. Silverman S.G., Pedrosa I., Ellis J.H. et al. Bosniak Classification of Cystic Renal Masses, Version 2019: An Update Proposal and Needs Assessment. *Radiology*. 2019; 292 (2): 475–488. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182646>
7. Буровик И.А., Мищенко А.В., Кулева С.А., Мелдо А.А. Характеристики контрастного усиления при различных методиках мультиспиральной компьютерной томографии. *Вопросы онкологии*. 2016; 62 (3): 460–464.
8. Nicolau C., Antunes N, Paño B. et al. Imaging Characterization of Renal Masses. *Medicina (Kaunas)*. 2021; 57(1): 51. <https://doi.org/10.3390/medicina57010051>
9. Schoots I.G., Zaccai K., Hunink M.G. et al. Bosniak classification for complex renal cysts reevaluated: a systematic review. *J. Urol*. 2017; 198 (1): 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2016.09.160>

10. Smith A.D., Carson J.D., Sirous R. et al. Active surveillance versus nephron-sparing surgery for a Bosniak IIF or III renal cyst: a cost-effectiveness analysis. *Am. J. Roentgenol*. 2019; 212 (4): 830–838. <https://doi.org/10.2214/AJR.18.20415>
11. Кадырлеев Р.А., Багненко С.С., Бусько Е.А., Костромина Е.В., Шевкунов Л.Н., Козубова К.В., Гончарова А.Б. Возможности мультипараметрического ультразвукового исследования в диагностике кистозных образований почек. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2021; 4 (3): 35–43. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2021-4-3-35-43>
12. Krishna S., Leckie A., Kielar A. et al. Imaging of Renal Cancer. *Semin Ultrasound CT MR*. 2020; 41 (2): 152–169. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2019.12.004>
13. Bertolotto M., Vucci S., Valentino M. et al. Contrast-enhanced Ultrasound for characterizing renal masses. *Eur. J. Radiol*. 2018; 105: 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.05.015>
14. Бусько Е.А., Козубова К.В., Багненко С.С., Карачун А.М., Буровик И.А., Гончарова А.Б., Костромина Е.В., Кадырлеев Р.А., Курганская И.Х., Шевкунов Л.Н. Сравнительный анализ эффективности КТ и контрастно-усиленного УЗИ в диагностике метастазов колоректального рака в печени. *Анналы хирургической гепатологии*. 2022; 27 (1): 22–32. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2022-1-22-32>
15. Асатурян М.А., Атаев А.Г., Багненко С.С. и др. Общая и военная рентгенология. СПб.: Военно-мед. акад., 2008. 480 с.
16. Sidhu P.S., Cantisani V., Dietrich C.F. et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) in Non-Hepatic Applications: Update 2017 (Long Version). *Ultraschall Med*. 2018; 39(2): e2–e44. <https://doi.org/10.1055/a-0586-1107>
17. Como G., Valotto C., Tulipano Di Franco F. et al. Role of contrast-enhanced ultrasound in assessing indeterminate renal lesions and Bosniak ≥2F complex renal cysts found incidentally on CT or MRI. *Br. J. Radiol*. 2021; 94 (1127): 20210707. <https://doi.org/10.1259/bjr.20210707>
18. Багненко С.С., Ефимцев А.Ю., Железняк И.С. и др. Практическая ультразвуковая диагностика: Руководство для врачей. В 5 томах. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 240 с.
19. Трофимова Т.Н., Назинкина Ю.В., Баулин И.А. и др. Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения: Руководство для врачей. СПб: Балтийский медицинский образовательный центр, 2019. 290 с.

References

1. Chissov V.I., Davydov M.I. Oncology: National leadership. Short edition. M.: GEOTAR-Media, 2017. 576 p. (In Russian)
2. Nosov A.K., Lushina P.A. Analysis of morbidity and mortality from kidney cancer in Russia and St. Petersburg. *Sibirskiy onkologicheskij zhurnal = Siberian Journal of Oncology*. 2017; 16 (5): 95–103. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2017-16-5-95-103> (In Russian)
3. Nouhaud F.X., Bernhard J.C., Bigot P. et al. Contemporary assessment of the correlation between Bosniak classification and histological characteristics of surgically removed atypical renal cysts (UroCCR–12 study). *Wld J. Urol*. 2018; 36 (10): 1643–1649. <https://doi.org/10.1007/s00345-018-2307-6>



4. Helenon O., Crosnier A., Verkarre V. Simple and complex renal cysts in adults: Classification system for renal cystic masses. *Diagn. Interv. Imaging*. 2018; 99 (4): 189–218. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2017.10.005>
5. Burovik I.A., Lokshina A.A., Kuleva S.A. Optimization of the method of multislice computed tomography in the dynamic monitoring of cancer patients. *Meditsinskaya vizualizatsiya = Medical visualization*. 2015; 2: 129–134. (In Russian)
6. Silverman S.G., Pedrosa I., Ellis J.H. et al. Bosniak Classification of Cystic Renal Masses, Version 2019: An Update Proposal and Needs Assessment. *Radiology*. 2019; 292 (2): 475–488. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182646>
7. Burovik I.A., Mishchenko A.V., Kuleva S.A., Meldo A.A. Features of contrast enhancement in different methods of multislice computed tomography. *Voprosy onkologii = Problems in oncology*. 2016; 62 (3):460–464. (In Russian)
8. Nicolau C., Antunes N, Paño B. et al. Imaging Characterization of Renal Masses. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(1):51.<https://doi.org/10.3390/medicina57010051>
9. Schoots I.G., Zaccai K., Hunink M.G. et al. Bosniak classification for complex renal cysts reevaluated: a systematic review. *J. Urol*. 2017; 198 (1): 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2016.09.160>
10. Smith A.D., Carson J.D., Sirous R. et al. Active surveillance versus nephronsparing surgery for a Bosniak IIF or III renal cyst: a cost-effectiveness analysis. *Am. J. Roentgenol*. 2019; 212 (4): 830–838. <https://doi.org/10.2214/AJR.18.20415>
11. Kadyrleev R.A., Bagnenko S.S., Busko E.A., Kostromina E.V., Shevkunov L.N., Kozubova K.V., Goncharova A.B. Possibilities of multiparametric ultrasound study with contrast enhanced in the diagnostics of cistic kidney lesions. *Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2021; 4 (3): 35–43. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2021-4-3-35-43> (In Russian)
12. Krishna S., Leckie A., Kielar A. et al. Imaging of Renal Cancer. *Semin Ultrasound CTMR*. 2020; 41 (2): 152–169. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2019.12.004>
13. Bertolotto M., Bucci S., Valentino M. et al. Contrast-enhanced Ultrasound for characterizing renal masses. *Eur. J. Radiol*. 2018; 105: 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.05.015>
14. Busko E.A., Kozubova K.V., Bagnenko S.S., Karachun A.M., Burovick I.A., Goncharova A.B., Kostromina E.V., Kadyrleev R.A., Kurganskaya I.H., Shevkunov L.N. Comparative assessment of diagnostic value of computed tomography and contrast-enhanced ultrasound in colorectal cancer liver metastases diagnosis. *Annaly Khirurgicheskoy Gepatologii = Annals of HPB Surgery*. 2022; 27 (1): 22–32. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2022-1-22-32> (In Russian)
15. Asaturyan M.A., Ataev A.G., Bagnenko S.S. et al. General and Military Radiology. St. Petersburg: Military Medical. Acad., 2008. 480 p. (In Russian)
16. Sidhu P.S., Cantisani V., Dietrich C.F. et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) in Non-Hepatic Applications: Update 2017 (Long Version). *Ultraschall Med*. 2018;39(2):e2–e44.<https://doi.org/10.1055/a-0586-1107>
17. Como G., Valotto C., Tulipano Di Franco F. et al. Role of contrast-enhanced ultrasound in assessing indeterminate renal lesions and Bosniak ≥2F complex renal cysts found incidentally on CT or MRI. *Br. J. Radiol*. 2021; 94 (1127): 20210707. <https://doi.org/10.1259/bjr.20210707>
18. Bagnenko S.S., Efimtsev A.Yu., Zheleznyak I.S. et al. Practical ultrasound diagnostics: A guide for doctors. In 5 volumes. M.: GEOTAR-Media, 2016. 240 p. (In Russian)
19. Trofimova T.N., Nazinkina Yu.V., Baulin I.A. et al. Modern standards for the analysis of radiation images and principles for constructing a conclusion: A guide for doctors. SPb.: Baltic Medical Education Center, 2019. 290 p. (In Russian)

Для корреспонденции*: Кадырлеев Роман Андреевич – тел.: +7-921-390-13-37. E-mail: romankadyrleev@gmail.com

Кадырлеев Роман Андреевич – врач ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-6576-1087>.

Бagnenko Сергей Сергеевич – доктор мед. наук, доцент, заместитель директора, заведующий научным отделением диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; профессор кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>

Бусько Екатерина Александровна – доктор мед. наук, доцент, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова”; доцент НК и ОЦ “Лучевая диагностика и ядерная медицина” ФГБОУ ВО “СПбГУ” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-0940-6491>.

Костромина Екатерина Викторовна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач ультразвуковой диагност, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; доцент кафедры лучевой диагностики и биомедицинской визуализации ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4245-687X>

Гончарова Анастасия Борисовна – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теории систем управления электрофизической аппаратурой, факультет прикладной математики –процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7980-1657>

Козубова Ксения Вячеславовна – врач ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, <https://orcid.org/0000-0001-9611-0439>

Меньшикова Светлана Валерьевна – ассистент кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-2448-6116>

Николаев Алексей Владимирович – ассистент кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-6170-0356>



Contact*: Roman A. Kadyrleev – phone: +7-921-390-13-37. E-mail: romankadyrleev@gmail.com

Roman A. Kadyrleev – radiologist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology Ministry of Healthcare of the Russian Federation, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-6576-1087>

Sergey S. Bagnenko – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher and the Head of the Research Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology; Professor of the Department of Innovative Techniques of Diagnostics and Radiation Therapy, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>. E-mail: bagnenko_ss@mail.ru

Ekaterina A. Busko – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher of Research Division of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology; Associate Professor of the Clinical Research and Education Center “Radiation diagnostics and nuclear medicine”, St. Petersburg State University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-0940-6491>

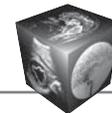
Ekaterina V. Kostromina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor Department of Radiation Diagnostics and Biomedical Imaging St. Petersburg State Pediatric Medical University; Senior Researcher of N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology Ministry of Healthcare of the Russian Federation, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4245-687X>.

Anastasia B. Goncharova – Cand. of Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Department of Theory of Electrophysical Equipment Control System, Faculty of Applied Mathematics – Control Processes, Saint Petersburg State University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7980-1657>

Kseniya V. Kozubova – radiologist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology Ministry of Healthcare of the Russian Federation, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-9611-0439>

Svetlana V. Menshikova – Assistant of the Department of Modern Methods of Diagnostics and Radiation Therapy, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-2448-6116>

Aleksey V. Nikolaev – Assistant of the Department of Modern Methods of Diagnostics and Radiation Therapy, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-6170-0356>



Почки. Специальная сессия под редакцией профессора А.И. Громова
Kidneys. Special session edited by professor A.I. Gromov

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1244>

Радиочастотная термоабляция (РЧА) у больных раком почки

© Степанова Ю.А.*, Жаворонкова О.И., Гаврилов Я.Я., Чехоева О.А.,
Грицкевич А.А., Глотов А.В.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России;
117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

Цель исследования: оценить собственные непосредственные результаты проведения радиочастотной абляции (РЧА) опухолей почки в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского.

Материал и методы. В исследование вошли результаты обследования и лечения 22 пациентов с опухолями почки, находившихся на лечении в Национальном медицинском хирургическом центре им. А.В. Вишневского (16 мужчин и 6 женщин в возрасте от 40 лет до 81 года, средний возраст – 61,5 года). Всем пациентам дооперационно выполняли УЗИ, МСКТ с контрастным усилением. На различных этапах лечения пациентам выполняли РЧА опухоли почки на приборе Radionics Cool-Tip® Ablation System (США). В послеоперационном периоде всем пациентам проводили МСКТ-мониторинг состояния опухоли с контрастным усилением и УЗИ с дуплексным сканированием, а также УЗИ с контрастным усилением – 7 пациентам и МРТ с контрастным усилением в 1-е сутки после вмешательства – 5 пациентам. Динамическое наблюдение проводили в послеоперационном периоде в сроки от 3 до 60 (медиана 17,8) мес.

Результаты. В зависимости от хирургической тактики, больных условно разделили на две группы: первая (16 больных) – РЧА выполняли как первый самостоятельный этап лечения; вторая (6 больных) – РЧА выполняли как этапное лечение при резекции почки.

Опухоль была солитарной у 19 больных обеих групп, множественной – у 3.

У опухолей больных первой группы при размерах, превышающих 30,0 мм в диаметре, был получен положительный эффект от проведенной манипуляции: прогрессии опухоли не было выявлено при динамическом наблюдении. Этим больным выполняли от 2 до 3 сеансов РЧА. У опухолей больных второй группы размеры не превышали 30,0 мм, выполняли от 2 до 4 сеансов (в среднем 3 сеанса) РЧА, что было обусловлено множественным поражением в 3 случаях.

Применение РЧА при лечении больных с малым раком почки, имеющих сопутствующие заболевания, не позволяющие провести радикальное лечение, позволило получить безрецидивный период, в среднем равный 16,5 мес. Применение же РЧА, как этапа лечения первично-множественного рака почки, показало безрецидивный период в среднем 21,2 мес.

Заключение. Применение РЧА при лечении рака почки позволяет значительно расширить объем оказываемой хирургической помощи как у пациентов с первично-множественным раком обеих почек в качестве этапного лечения, так и при лечении пациентов с наличием сопутствующих заболеваний, не позволяющих выполнить оперативное вмешательство значительного объема.

Ключевые слова: малый рак почки, первично-множественный рак почки, радиочастотная абляция, динамический мониторинг, рецидив

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Степанова Ю.А., Жаворонкова О.И., Гаврилов Я.Я., Чехоева О.А., Грицкевич А.А., Глотов А.В. Радиочастотная термоабляция (РЧА) у больных раком почки. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 99–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1244>

Поступила в редакцию: 01.08.2022. **Принята к печати:** 20.07.2022. **Опубликована online:** 28.12.2022.



Radiofrequency thermoablation (RFA) in kidney cancer patients

© Yulia A. Stepanova*, Olga I. Zhavoronkova, Yan Ya. Gavrillov, Olesya A. Chekhoeva, Aleksandr A. Gritskovich, Andrey V. Glotov

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow 117997, Russian Federation

The aim: to evaluate the own direct results of the RFA of kidney tumors in A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery.

Materials and methods. The study included the results of examination and treatment of 22 patients with kidney tumors treated at A.V. Vishnevsky National Medical Center of Surgery (16 men and 6 women aged 40 to 81, mean age 61.5 years). All patients underwent preoperative ultrasound, MSCT with contrast enhancement. Patients underwent RFA of kidney tumors using the Radionics Cool-Tip® Ablation System (USA) at various stages of treatment. In the postoperative period, all patients underwent MSCT monitoring with contrast enhancement and ultrasound with duplex scanning, as well as ultrasound with contrast enhancement – in 7 patients and MRI with contrast enhancement on the first day after the intervention – in 5 patients. Dynamic follow-up was performed in the postoperative period from 3 to 60 months (median 17.8 months).

Results. Depending on the surgical tactics, the patients were divided into two groups: the first (16 patients) – RFA was performed as the first independent stage of treatment; the second (6 patients) – RFA was performed as a staged treatment for kidney resection.

The tumor was solitary in 19 patients of both groups, multiple – in 3.

In tumors of the first group, with sizes exceeding 30.0 mm in diameter, a positive effect was obtained from the manipulation: no progression of the tumor was detected during dynamic observation. These patients underwent 2 to 3 RFA sessions. In tumors of the second group, the size did not exceed 30.0 mm, 2 to 4 sessions (on average 3 sessions) of RFA were performed, which was due to multiple lesions in 3 cases.

The use of RFA in the treatment of patients with small kidney cancer in patients with concomitant diseases that do not allow for radical treatment, made it possible to obtain a relapse-free period of an average of 16.5 months. The use of RFA, as a stage in the treatment of primary multiple kidney cancer, showed a relapse-free period of an average of 21.2 months.

Conclusion. The use of radiofrequency ablation in the treatment of kidney cancer patients can significantly expand the scope of surgical care, both in the case of patients with concomitant diseases that do not allow a significant amount of surgical intervention, and in the treatment of patients with primary multiple cancer of both kidneys as a stage treatment.

Keywords: small kidney cancer, multiple primary kidney cancer, radiofrequency ablation, dynamic monitoring, recurrence

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Stepanova Yu.A., Zhavoronkova O.I., Gavrillov Ya.Ya., Chekhoeva O.A., Gritskovich A.A., Glotov A.V. Radiofrequency thermoablation (RFA) in kidney cancer patients. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 99–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1244>

Received: 01.08.2022.

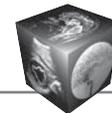
Accepted for publication: 20.07.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

Рак почки – злокачественная опухоль, которая чаще всего развивается либо из эпителия проксимальных канальцев и собирательных трубочек (почечно-клеточный рак (ПКР), либо из эпителия чашечно-лоханочной системы (переходно-клеточный рак) [1]. Ежегодно в мире регистрируют 338 000–403 300 новых случаев рака почки, что составляет, по данным литературы, 3–5% в структуре онкологической заболеваемости [2–5].

“Золотым стандартом” лечения рака почки остается хирургическая резекция и при отсутствии противопоказаний предпочтение должно быть отдано именно этому методу лечения. В ведущих клиниках в последнее время применяются в основном лапароскопические методы лечения [6]. Активное внедрение современных методов диагностики привело к увеличению выявления ПКР на ранних стадиях. Отмечается уменьшение размеров первично выявляемых образований



с увеличением доли опухолей T1 с 36,6 до 44,2% и уменьшением доли распространенного ПКР с 46,4 до 33,7% [7]. Количество больных с размером опухоли менее 4,0 см в диаметре увеличилось с 30 до 39% [8]. Это сподвигло урологов искать и применять минимально инвазивные методы лечения, альтернативные общепринятым. Эффективность и безопасность некоторых методов (HIFU-терапия, криоабляция, термоабляция, необратимая электропорация) были подтверждены Европейской ассоциацией урологов [9–14].

Абляция – это метод прямого направленного разрушения тканей опухоли, которое достигается путем термического (лазерная, микроволновая, радиочастотная, ультразвуковая и криодеструкция), химического (инъекции этанола, уксусной кислоты) или электрохимического воздействия. Преимуществами термоабляции являются малая инвазивность, сравнительно недорогое оборудование, хороший объективный терапевтический эффект, малый койко-день и практически отсутствие противопоказаний.

При опухолях почки в качестве минимально инвазивного лечения наиболее распространена радиочастотная термоабляция (РЧА). Первая РЧА опухоли почки была сделана в Университетской клинике в Брюсселе в 1997 г. А.Р. Zlotta и соавт. [15]. Выполнение РЧА возможно открытым, лапароскопическим и чрескожным путями.

Особенности выполнения методики РЧА опухоли почки. Радиочастотный аблятор поставляет высокочастотный (460–500 кГц) переменный ток в опухоль с помощью радиочастотного электрода, тонкой иглы (обычно 21–14 G), которая имеет электрическую изоляцию, за исключением дистальной части (от 1 до 3 см). Применение радиочастотного тока создает резистивное трение в ткани, которое преобразуется в тепло. Тепло, в свою очередь, индуцирует клеточное разрушение и денатурацию белка при температурах выше 50 °С при нанесении в течение 4–6 мин и почти мгновенное разрушение выше 60 °С. Температура выше 105 °С может привести к образованию газа, что замедляет эффективное создание радиочастотного тока. Поэтому цель РЧА заключается в том, чтобы индуцировать температуру от 50 до 100 °С по всей опухолевой ткани, не превышающую 105 °С вблизи активного электрода. Electroды размещаются непосредственно в опухоли под ультразвуковым контролем. Для опухолей значительных размеров (более 4,0 см в диаметре (T1a < 4; T1b > 4)) можно использовать множественные абляции и множественные сеансы, хотя это и не считается идеальным проведением процедуры [16–18].

Результаты опубликованных исследований подтвердили целесообразность применения РЧА у пациентов с небольшим ПКР и продемонстрировали ряд преимуществ этой методики перед общепринятыми открытыми хирургическими вмешательствами, таких как короткий период восстановления и сохранение функционирующей паренхимы при низкой частоте осложнений [19–28].

Таким образом, представленная методика, по данным литературы, является эффективной [29], поэтому приобретение собственного опыта выполнения данной манипуляции позволит расширить круг пациентов с опухолями почки, которым возможно провести условно радикальное лечение.

Цель исследования

Оценить собственные результаты проведения РЧА опухолей почки в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского.

Материал и методы

В исследование включены результаты обследования и лечения 22 пациентов с опухолями почки, находившихся на лечении в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского (16 мужчин и 6 женщин в возрасте от 40 лет до 81 года, средний возраст – 61,5 года). Всем пациентам дооперационно выполняли УЗИ, МСКТ с контрастным усилением. На различных этапах лечения пациентам выполняли РЧА опухоли почки на приборе Radionics Cool-Tip® Ablation System (США). В послеоперационном периоде всем пациентам проводили МСКТ-мониторинг состояния опухоли с контрастным усилением и УЗИ с дуплексным сканированием, а также УЗИ с контрастным усилением – 7 пациентам и МРТ с контрастным усилением в 1-е сутки после вмешательства – 5 пациентам. Динамическое наблюдение проводили в послеоперационном периоде в сроки от 3 до 60 (медиана 17,8) мес.

Результаты и их обсуждение

Показания для РЧА опухолей почек, в отличие от опухолей печени, строго не определены и должны вырабатываться в ходе совместного обсуждения урологов и интервенционных радиологов, терапевтов-кардиологов. Лечебная тактика зависит от многих показателей, таких как возраст больного, функциональное состояние органов и систем, распространенность опухолевого заболевания, ожидаемая продолжительность жизни пациента и т.д.

Для проведения РЧА опухоли пациентов отбирали в соответствии со следующими критериями [17, 30]:



- больные, не подлежащие хирургическому лечению (по причине тяжелой сопутствующей патологии и/или преклонного возраста) либо отказавшиеся от хирургического лечения;
 - малые раки – абсолютные показания; при размерах >3,0 см – только как этап резекции;
 - больные с множественным двусторонним раком почек;
 - больных раком единственной почки для предотвращения необходимости гемодиализа.
- Противопоказаниями к проведению РЧА опухоли почки считали [17, 30]:
- наличие множественных метастазов;
 - трудности выполнения процедуры РЧА при проведении активного электрода;
 - крупные опухоли (>4,0 см);
 - опухоли, локализованные в воротах почки и контактирующие с сосудистой и собирательной системой почки;
 - необратимые коагулопатии;
 - сепсис.

Биопсию опухоли перед процедурой выполняют при невозможности/трудности дооперационной дифференциальной диагностики доброкачественной и злокачественной форм опухоли [31]. Однако далеко не все исследователи в своих работах склоняются к необходимости выполнения биопсии. Мы в своем исследовании дооперационной морфологической верификации опухоли не проводили, опираясь при постановке диагноза только на данные лучевых методов исследования. Биопсию опухоли проводили интраоперационно во время проведения РЧА (табл. 1). Преимущественно это был светлоклеточный ПКР (18 (81,8%) наблюдений). Морфологические характеристики опухолей больных, включенных в исследование, представлены в табл. 1.

В зависимости от хирургической тактики больных условно разделили на 2 группы: первая (16 больных) – РЧА выполняли как первый самостоятельный этап лечения; вторая (6 больных) – РЧА выполняли как этапное лечение после нефрэктомии контралатеральной почки, резекции/резекции почки предварительно.

Клинико-инструментальные данные обследования, лечения и послеоперационного мониторинга больных первой группы (РЧА как первый самостоятельный этап лечения) представлены в табл. 2 (рис. 1).

Вторая группа представлена пациентами с первично-множественным раком обеих почек (как с единичными опухолями в одной почке, так и

Таблица 1. Морфологические характеристики опухолей больных, включенных в исследование

Table 1. Tumors morphological characteristics of the patients included in the study

Морфология Morphology		Число пациентов Number of patients
Светлоклеточный ПКР Clear cell RCC	G1	11
	G2	7
Неклассифицируемая карцинома почки G4 G4 unclassified renal carcinoma		1
Онкоцитома Oncocytoma		2
Нейроэндокринная опухоль Neuroendocrine tumor		1

с множественными), поэтому была разработана этапная тактика лечения этих больных с удалением или резекцией большей опухолевой массы и РЧА оставшихся меньших очагов. Клинико-инструментальные данные обследования, лечения и послеоперационного мониторинга больных первой группы (РЧА как очередной этап лечения) представлены в табл. 3.

Частота осложнений при выполнении чрескожной РЧА опухолей почек, по данным литературы, составляет до 10%. Основными осложнениями являются: паранефральная или субкапсулярная гематома и травмы органов брюшной полости, повреждение верхних мочевых путей с образованием урином, проксимальные стриктуры мочеточников [9, 32, 33]. В проведенном нами исследовании осложнения были выявлены в 7 случаях: гематома – в 6 (регрессировала в процессе динамического ультразвукового контроля) (рис. 2), перфорация прилежащей петли кишки – в 1 (выполнена гемиколэктомия).

Успех РЧА в послеоперационном периоде обычно оценивают с помощью МСКТ с контрастным усилением. Исследование наиболее эффективно проводить, по меньшей мере, через 1 мес после лечения. Выполнение исследования сразу после процедуры имеет трудности в интерпретации, потому что периферическое воспаление может имитировать появление жизнеспособной ткани опухоли. При МСКТ жизнеспособная ткань опухоли сохраняет накопление контрастного вещества (> 10 ед.Н), тогда как после успешно проведенной РЧА опухоль не накапливает контрастное вещество [34, 35].



Таблица 2. Клинико-инструментальные данные больных первой группы (РЧА как первый самостоятельный этап лечения)
Table 2. Clinical and instrumental data of the first group patients (RFA as the first independent stage of treatment)

№	Пациент, возраст (годы) Patient, age (years)	Причина выбора Reason for choosing	Расположение, размеры Location, sizes	Дополнительные методы лечения (в комбинации) Additional treatments (in combination)	Морфология Morphology	Срок наблюдения Observation period	Данные контрольного лучевого исследования Control radiology data
1	Г., 81 G., 81	Сопутствующие заболевания Accompanying illnesses	Субкапсулярно 13 × 7 мм Subcapsular 13 × 7 mm	–	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	6 мес 6 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA
2	П., 78 P., 78	Сопутствующие заболевания Accompanying illnesses	Субкапсулярно 23 мм Subcapsular 23 mm	–	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	24 мес 24 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA
3	Р., 61 R., 61	Противопоказания по кардиологии Contraindications for cardiology	Субкапсулярно 16,6 × 17,6 мм Subcapsular 16,6 × 17,6 mm	–	Светлоклеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	14 мес 6 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA
4	Б., 50 B., 50	Хронический лимфолейкоз в стадии ремиссии Chronic lymphocytic leukemia in remissions	Субкапсулярно 33,4 × 32,9 мм Subcapsular 33,4 × 32,9 mm	–	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	42 мес 42 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA
5	И., 51 I., 51	Сопутствующие заболевания Accompanying illnesses	Субкапсулярно 16,4 × 15,9 мм Subcapsular 16,4 × 15,9 mm	–	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	15 мес 15 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA
6	А., 57 A., 57	Сопутствующие заболевания Accompanying illnesses	Субкапсулярно 19,4 × 23,0 мм Subcapsular 19,4 × 23,0 mm	Селективная эмболизация ветвей почечной артерии Select. embolism. branches. renal artery	Светлоклеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	24 мес 24 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA
7	Б., 64 B., 64	Противопоказания по кардиологии, аневризма аорты Contraindications for cardiology, aortic aneurysm	Интрапаренхиматозно 41,5 × 34,8 мм Intraparenchymal 41,5 × 34,8 mm	Селективная эмболизация ветвей почечной артерии Select. embolism. branches. renal artery	Светлоклеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	7 мес 7 months	Накапливает КВ, увеличение диаметра опухолевого узла +9 мм Accumulates CA, increase in the diameter of the tumor node +9 mm



Таблица 2 (продолжение)
Table 2 (continuation)

№	Пациент, возраст (годы) Patient, age (years)	Причина выбора Reason for choosing	Расположение, размеры Location, sizes	Дополнительные методы лечения (в комбинации) Additional treatments (in combination)	Морфология Morphology	Срок наблюдения Observation period	Данные контрольного лучевого исследования Control radiology data
8	М., 59 M., 59	Сопутствующие заболевания Accompanying illnesses	Субкапсулярно 23 мм Subcapsular 23 mm	Селективная эмболизация ветвей почечной артерии Select. embolism. branches. renal artery	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	36 мес 36 months	Не накапливает KB Does not accumulate CA
9	М., 76 M., 76	АКШ, МКШ в анамнезе CABG, MAB in anamnesis	Субкапсулярно 44,0 × 35,0 мм Subcapsular 44,0 × 35,0 mm	Селективная эмболизация ветвей почечной артерии Select. embolism. branches. renal artery	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	5 мес 5 months	Два дополнительных васкуляризованных узла в паренхиме почки на границе с зоной РЧА Two additional vascular nodes in the kidney parenchyma on the border with the RFA zone
10	С., 57 S., 57	Противопоказания по кардиологии Contraindications for cardiology	Субкапсулярно 13 мм subcapsular 13 mm	-	Светлоклеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	17 мес 17 months	Не накапливает KB Does not accumulate CA
11	И., 40 I., 40	Отказ пациента от хирургической резекции, размеры и результаты предоперационного обследования Refusal of the patient from surgical resection, dimensions and results of preoperative examination	Субкапсулярно 18,0 × 16,5 мм Subcapsular 18,0 × 16,5 mm	-	Онкцитома oncosyotoma	28 мес 28 months	Не накапливает KB Does not accumulate CA
12	Б., 76 B., 76	Противопоказания по кардиологии Contraindications for cardiology	Субкапсулярно 18,0 × 21,0 × 20,0 мм Subcapsular 18,0 × 21,0 × 20,0 mm	-	Светлоклеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	6 мес 6 months	Не накапливает KB Does not accumulate CA
13	З., 48 Z., 48	Противопоказания по кардиологии Contraindications for cardiology	Субкапсулярно 10 мм Subcapsular 10 mm	-	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	3 мес 3 months	Не накапливает KB Does not accumulate CA

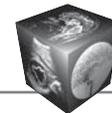


Таблица 2. (окончание)
Table 2 (end)

№	Пациент, возраст (годы) Patient, age (years)	Причина выбора Reason for choosing	Расположение, размеры Location, sizes	Дополнительные методы лечения (в комбинации) Additional treatments (in combination)	Морфология Morphology	Срок наблюдения Observation period	Данные контрольного лучевого исследования Control radiology data
14	П., 61 P., 61	Состояние после ПГЭ, выраженный спаечный процесс вокруг почки Condition after RNE, pronounced adhesive process around the kidney	Субкапсулярно 19,5 × 19,6 × 18,0 мм Subcapsular 19,5 × 19,6 × 18,0 mm	–	Нейроэндокринная опухоль Neuroendocrine tumor	26 мес 26 months	Не накапливает КВ Does not Accumulate CA
15	Д., 66 D., 66	Противопоказания по кардиологии, ожирение 3 степени Contraindications for cardiology, obesity grade 3	Задний сегмент, трансмурально, 36 мм Posterior segment, transmural, 36 mm	–	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	6 мес 6 months	Накапливает КВ по периферии Accumulates CA along the periphery
16	Я., 62 Ya., 62	Сопутствующие заболевания Accompanying illnesses	Субкапсулярно 24,0 × 27,5 мм Subcapsular 24,0 × 27,50 mm	Химиоэмболизация Chemoembolization	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	6 мес 6 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA

Примечание. Серым фоном помечено – при контрольном исследовании пациент отказался от дальнейшего наблюдения.
Note. Marked in gray – at the control study, the patient refused further observation.



Таблица 3. Клинико-инструментальные данные больных второй группы (РЧА как очередной этап лечения)
Table 3. Clinical and instrumental data of the second group patients (RFA as the next stage of treatment)

№	Пациент, возраст (годы) Patient, age (years)	Причина выбора Reason for choosing	Морфология Morphology	Расположение, число, размеры Location, number, sizes	РЧА как очередной этап лечения RFA as the next stage of treatment	Срок наблюдения Observation period	Образование при контрольном лучевом исследовании The lesion in the control radiology study
1	Л., 68 Л., 68	Первично-множественный рак обеих почек. С МТС в надпочечник и ПЖ. I этап: нефрэктомия слева, дистальная резекция ПЖ, спленэктомия, адrenaлэктомии справа Primary multiple cancer of both kidneys. With MTS in the adrenal gland and pancreas. Stage I: left nephrectomy, distal resection of the pancreas, splenectomy, adrenalectomy on the right	Светлоклеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	Множественные: подкапсульно (n = 2): 16,0 × 14,0 мм и 10,0 × 12,0 мм; интрапаренхиматозные (n = 6): от 5,0 до 8,0 мм Multiple: subcapsular (n = 2): 16.0 × 14.0 mm and 10.0 × 12.0 mm; intraparenchymal (n = 6): 5.0 to 8.0 mm	II этап: РЧА очагов правой почки Stage II: RFA of right kidney lesions	14 мес 14 months	Тотальное опухолевое поражение единственной правой почки Total tumor lesion of the only right kidney
2	К., 68 К., 68	Первично-множественный рак обеих почек. I этап: нефрэктомия справа, II этап: резекция левой почки Primary multiple cancer of both kidneys. Stage I: right nephrectomy, Stage II: resection of the left kidney	Светлоклеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	Три образования в зоне резекции: 8,5 мм, 6,0 мм, 10 мм Three lesions in the resection area: 8.5 mm, 6.0 mm, 10 mm	III этап: РЧА очагов левой почки Stage III: RFA of the left kidney lesions	39 мес 39 months	Не накапливает KB Does not accumulate CA
3	Ч., 70 Ч., 70	Первично-множественный рак обеих почек. I этап: резекция обеих почек, II этап: резекция левой почки Primary multiple cancer of both kidneys. Stage I: resection of both kidneys, Stage II: resection of the left	Неклассифицируемая карцинома почки G4 Unclassifiable G4 renal carcinoma	Два образования в зоне резекции в правой почке: субкапсулярно 14 мм интрапаренхим. 22 мм Two lesions in the resection zone on the right: subcapsular 14 mm intraparenchyma 22 mm	III этап: РЧА очагов правой почки Stage III: RFA of the right kidney lesions	3 мес 3 months	Не накапливает KB Does not accumulate CA

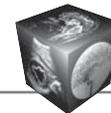


Таблица 3 (окончание)
Table 3 (end)

№	Пациент, возраст (годы) Patient, age (years)	Причина выбора Reason for choosing	Морфология Morphology	Расположение, число, размеры Location, number, sizes	РЧА как очередная стадия лечения RFA as the next stage of treatment	Срок наблюдения Observation period	Образование при контрольном лучевом исследовании The lesion in the control radiology study
4	Ц., 64 Ts., 64	Первично-множественный рак обеих почек. I этап: резекция левой почки (онкоцитомы, папиллярный рак G1) Primary multiple cancer of both kidneys. Stage I: resection of the left kidney (oncocytomas, papillary cancer G1)	Онкоцитома Опоскутома	Субкапсулярно, верхний полюс 24,2 × 27,8 мм Subcapsular, upper pole 24.2 × 27.8mm	II этап: РЧА очага правой почки с предварительной химиоабляцией Stage II: RFA of the right kidney lesion with preliminary chem. ablation	6 мес 6 months	Не накапливает КВ Does not accumulate CA
5	М., 54 M., 54	Первично-множественный рак обеих почек I этап: нефрэктомия слева Primary multiple cancer of both kidneys Stage I: left nephrectomy	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	Субкапсулярно, верхний полюс 22,3 × 28,9 мм Subcapsular, upper pole 22.3 × 28.9 mm	II этап: РЧА очага правой почки Stage II: RFA of the right kidney lesion	60 мес 60 months	Накапливает КВ в зоне РЧА, рост образования в размерах, интрамурально, 6 см Accumulates CA in the RFA zone, the growth of the formation in size, intramurally, 6 cm
6	М., 42 M., 42	Первично-множественный рак обеих почек I этап: резекция левой почки Primary multiple cancer of both kidneys Stage I: resection of the left kidney	Светлоклеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	Задненижний сегмент, трансмурально, 11 мм Posteroinferior segment, transmurally, 11 mm	II этап: РЧА очага правой почки Stage II: RFA of the right kidney lesion	5 мес 5 months	Накапливает КВ в виде узла диаметром 10,0 мм Accumulates CA in the form of a node with a diameter of 10.0 mm

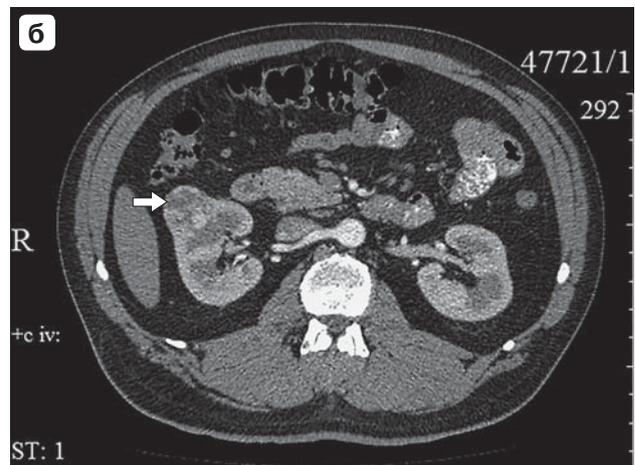


Рис. 1. Изображения опухоли правой почки больного Б., 50 лет (сопутствующее заболевание: хронический лимфолейкоз II ст.). **а** – УЗ-изображение в режиме энергии отражение доплеровского сигнала (TUM – опухоль; REN D – правая почка); **б** – КТ-изображение, артериальная фаза, аксиальный срез (опухоль указана стрелкой); **в** – КТ-изображение, артериальная фаза, фронтальная проекция (опухоль указана стрелкой).

Fig. 1. Images of the tumor in the right kidney of patient B., aged 50 (comorbidity: chronic lymphocytic leukemia, stage II). **a** – ultrasound image in Energy Doppler (TUM – tumor; REN D – right kidney); **b** – CT image, arterial phase, axial section (the tumor is indicated by an arrow); **c** – CT image, arterial phase, frontal section (the tumor is indicated by an arrow).

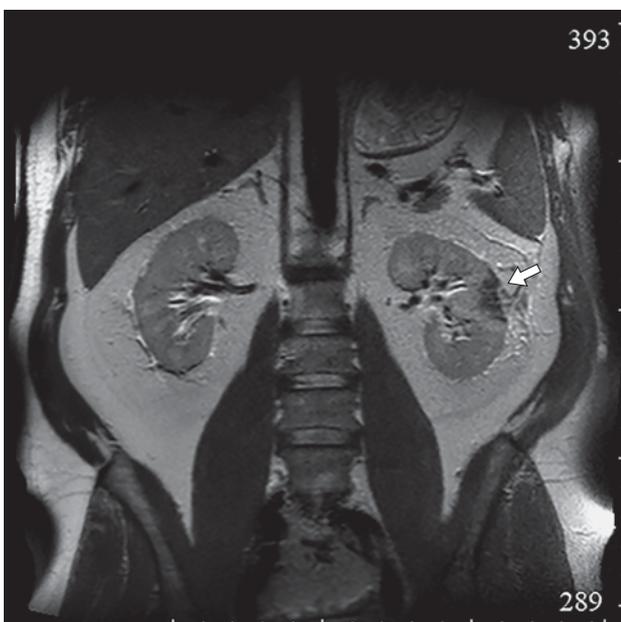


Рис. 2. МР-картина полной деструкции опухоли средней трети левой почки с геморрагическим пропитыванием зоны РЧА (указано стрелкой), небольшое скопление геморрагического содержимого в зоне доступа в области поперечной фасции (менее 2 мл).

Fig. 2. MRI image of the complete destruction of the tumor in the middle third of the left kidney with hemorrhagic impregnation of the RFA zone (indicated by the arrow), a small accumulation of hemorrhagic contents in the access zone in the transverse fascia (less than 2 ml).

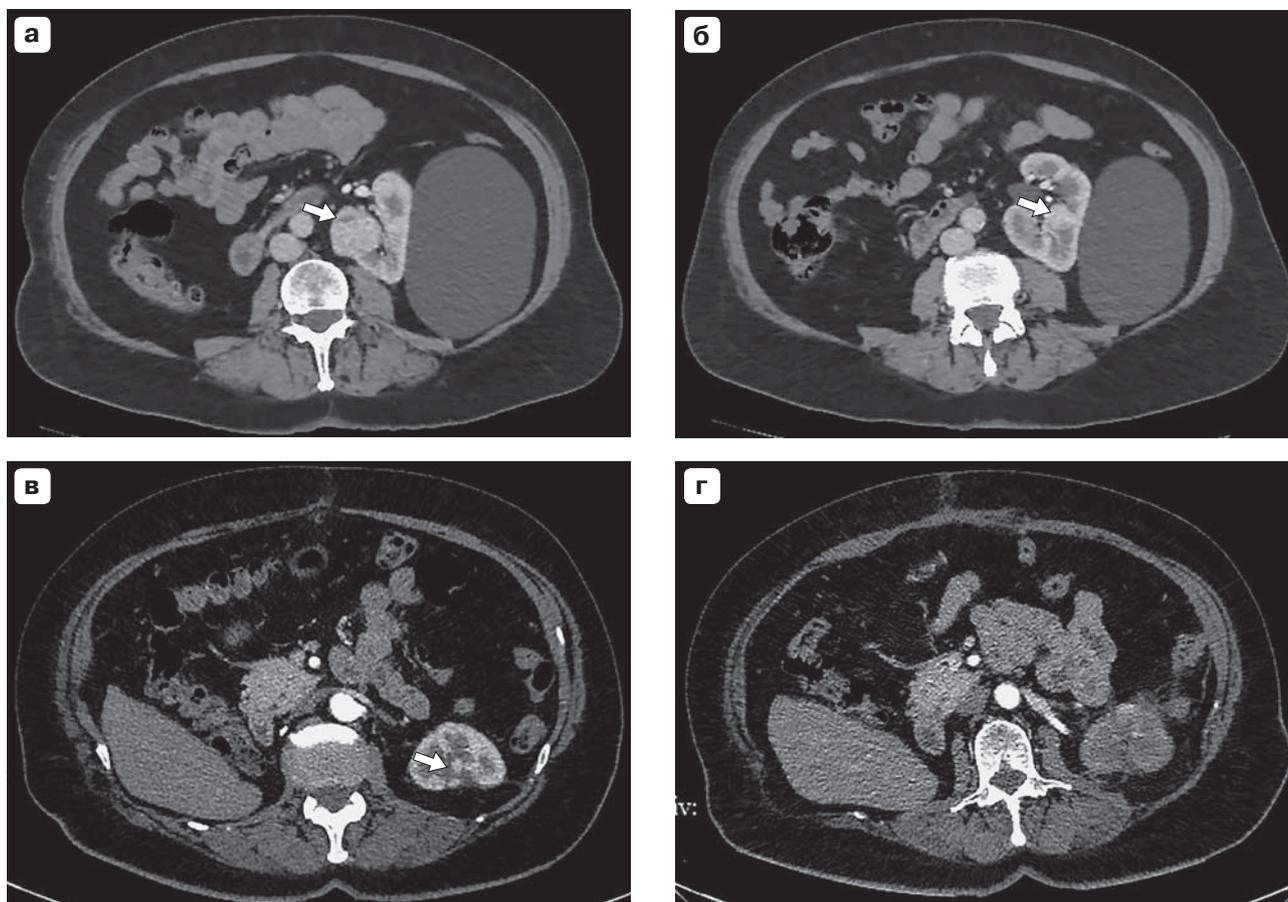
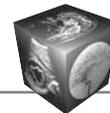


Рис. 3. КТ-изображения опухоли правой почки больной К., 68 лет, после правосторонней нефрадrenaлэктоми (артериальная фаза, аксиальный срез). **а, б** – КТ-изображения двух опухолей единственной левой почки (указаны стрелкой); **в** – КТ-изображение через 7 мес после резекции почки (в верхнем отделе синуса почки определяется гиперваскулярное образование (8 мм, рецидив, указан стрелкой); **г** – КТ-изображение через 3 мес после РЧА (опухоль не накапливает контрастное вещество).

Fig. 3. CT images of a tumor in the right kidney of patient K., 68 years old, after right-sided nephradrenalectomy (arterial phase, axial section): **a, б** – CT images of two tumors of the only left kidney (arrowed); **в** – CT image 7 months after kidney resection (hypervascular lesion is detected in the upper part of the kidney sinus (8 mm, recurrence, indicated by an arrow); **г** – CT image 3 months after RFA (the tumor does not accumulate a contrast agent).

В проведенном нами исследовании после выполнения сеанса РЧА в сроки от 3 мес до 5 лет в 16 (72,7%) случаях при динамическом мониторинге состояния пациентов обеих групп (как первичная РЧА, так и РЧА в качестве этапного оперативного вмешательства) образование не накапливало контрастное вещество, что свидетельствовало о стабилизации процесса и отсутствии прогрессии опухоли (следует отметить, что двое иногородних пациентов через несколько месяцев после вмешательства отказались от контрольных исследований). В первой группе больных в 3 случаях выявили прогрессию опухоли. В одном случае через 7 мес после РЧА было отмечено увеличение образования в размерах с накоплением контрастного вещества по периферии опухоли со

стороны, контралатеральной введению электродов (произведена резекция почки). В двух других случаях через 5 и 7 мес после РЧА была выявлена прогрессия процесса: у одного больного выявили два дополнительных васкуляризированных узла на границе паренхимы почки; у второго отмечено увеличение образования в размерах с накоплением контрастного вещества по периферии опухоли со стороны, контралатеральной введению электродов. В обоих этих случаях, учитывая возраст больного и сопутствующие кардиологические заболевания, была выполнена повторная РЧА. Во второй группе пациентов РЧА была этапным лечением после нефрэктомии, резекции/ререзекции почки (рис. 3). В двух наблюдениях из второй группы через 5 мес и 5 лет после ранее выполнен-



Рис. 4. УЗ-изображение после введения контрастного вещества, отсутствие контрастирования опухоли почки (указана стрелкой) после РЧА в кортико-медуллярную фазу исследования.

Fig. 4. Ultrasound image after the injection of a contrast agent, the absence of contrast enhancement of the kidney tumor (indicated by an arrow) after RFA in the corticomedullary phase of the study.

ной резекции почки и нефрэктомии соответственно и РЧА очага контралатеральной почки был отмечен рецидив заболевания (в обоих случаях выполнена резекция почки). Только у одной пациентки с множественными очагами ввиду невозможности полной обработки всех очагов произошла резкая прогрессия опухоли, приведшая к летальному исходу.

В послеоперационном периоде в 7 случаях при контроле состояния образования выполняли УЗИ с контрастным препаратом Соновью. Следует отметить, что за рубежом такой метод оценки результатов РЧА используют уже давно [34], однако в Российской Федерации применение контрастного препарата (Соновью) при УЗИ разрешено только с июня 2014 г., поэтому мы только набираем опыт использования этого препарата. В отечественной литературе собственных данных о применении эхоконтрастного препарата Соновью при оценке результатов РЧА опухолей почки в настоящее время мы не встретили. Следует отметить, что во всех случаях для возможности сравнения полученных результатов с данными стандартного метода обследования (МСКТ с контрастным усилением) УЗИ с контрастным усилением выполняли до МСКТ. Образование не накапливало контраст-

ное вещество, что свидетельствовало о стабилизации процесса и отсутствии прогрессии опухоли в 5 случаях (рис. 4). В одном случае через 7 мес после РЧА образование увеличилось в размерах с накоплением контрастного вещества по периферии опухоли со стороны, контралатеральной введению электродов. Во всех случаях данные УЗИ с контрастом совпали с данными МСКТ. Таким образом, УЗИ с контрастным усилением является эффективным и перспективным методом оценки результатов РЧА опухолей почек, что соответствует и данным литературы [36, 37].

Расположение и размер опухоли являются двумя наиболее важными факторами, которые влияют на успешность РЧА-лечения ПКР. Расположение опухоли (экзофитно, интрапаренхиматозно или центрально) также влияет на результаты абляции. Даже более крупные экзофитно растущие опухоли почти всегда успешно лечатся, причем $\geq 70\%$ требуют только одного сеанса РЧА-воздействия, что соответствует и данным литературы [38, 39]. Нецентральные, задние и заднелатеральные опухоли легче доступны и лечатся с низкой частотой осложнений, тогда как нижние, передние и медиальные опухоли имеют более высокую вероятность повреждения соседних органов [40]. В проведенном нами исследовании у 14 пациентов первой группы опухоль локализовалась субкаплярно, что позволило эффективно выполнить РЧА. У 2 пациентов опухоль локализовалась интрапаренхиматозно и у обоих в дальнейшем отмечен рецидив.

Поскольку тепло экспоненциально снижается от источника, большие опухоли (> 5 см) представляют собой серьезную проблему для РЧА, особенно потому, что целесообразно формировать “край абляции” 0,5–1,0 см в паренхиме почки вокруг опухоли [41]. В проведенном нами исследовании у опухолей первой группы, не превышающих 3,0 см в диаметре, был получен положительный эффект от проведенной манипуляции: при динамическом наблюдении прогрессии опухоли не было выявлено по настоящее время. Этим больным выполняли от 2 до 3 сеансов РЧА. Полученные данные в целом соответствуют данным литературы [9, 32, 39] и опухоли почки диаметром $\leq 3,0$ см идеально подходят для абляции с максимальным эффектом от манипуляции при динамическом наблюдении в отдаленном периоде. У опухолей второй группы размеры не превышали 30,0 мм, выполняли от 2 до 4 сеансов (в среднем 3 сеанса) РЧА, что было обусловлено множественным поражением в 3 случаях.

В проведенном нами исследовании в 4 наблюдениях РЧА была выполнена в комбинации с се-



лективной эмболизацией почечной артерии. Отсутствие рецидива мы наблюдаем в двух случаях (24 и 36 мес). В одном случае РЧА дополнили химиоэмболизацией, к настоящему моменту срок безрецидивного наблюдения составляет 6 мес.

Анализ данных литературы по РЧА малых опухолей почки демонстрирует активное применение данной методики при лечении этой категории больных. В табл. 4 представлены подобные исследования с наиболее крупными группами больных (более 50). Преимущественно РЧА выполняли при светлоклеточном ПКР. Медиана размера опухоли была от 23,0 до 27,0 мм. Следует отметить, что РЧА применяли при опухолях **T1a–T1bN0M0**. В тех исследованиях, где это было указано, степень дифференцировки опухоли варьировала от Grade 1–2 до Grade 1–3. Медиана длительности послеоперационного наблюдения варьировала в пределах от 12 до 65,6 мес. Данные по местным рецидивам разнятся и составляют 2–20%. В исследовании же J. Siekiera и соавт. (2018) при медиане наблюдения 46 мес местные рецидивы не отмечены. В нашем исследовании частота рецидивов была 27,3% (3 больных первой группы и 3 больных второй группы) (данные о рецидивах в проведенном нами исследовании представлены в табл. 5). Такая большая разница в частоте возникновения рецидивов в различных исследованиях объясняется вариабельностью исходных данных (локализация опухоли, некоторые различия в методологии выполнения РЧА (число сеансов и время экспозиции), морфология опухоли). При этом методология выполнения РЧА представлена не во всех исследованиях, как и морфология опухолей. Можно в целом отметить, что рецидивы возникали значительно чаще при светлоклеточном варианте ПКР и размерах более 30,0 мм. Наши данные показывают, что местный рецидив возник только при светлоклеточном варианте опухоли, дифференцировка опухоли при этом не имела значения. В 3 случаях опухоли были размером более 30,0 мм, что соответствует и данным литературы, в 2 из этих наблюдений также выполняли селективную эмболизацию питающей опухоль артерии. В одном случае опухоли были множественные (3); в одном опухоль имела кистозное строение, возможно, это повлияло на эффективность процедуры; в одном случае рецидив отмечен через 5 лет после РЧА. Оперативному лечению были подвергнуты 5 больных (РЧА – 2; резекция почки – 3). Отмечен 1 летальный исход при выраженной прогрессии заболевания. Таким образом, применение РЧА при лечении больных с малым раком почки у больных, имеющих сопутствующие заболевания, не позволяющие провести радикальное

лечение, позволило получить безрецидивный период, в среднем равный 16,5 мес. Применение же РЧА, как этапа лечения первично-множественного рака почки, показало безрецидивный период в среднем 21,2 мес. И даже у больной, имеющей изначально распространенный первично-множественный рак (с метастазом в надпочечник и поджелудочную железу) применение РЧА позволило продлить жизнь на 14 мес.

Следует также отдельно остановиться на сравнительных исследованиях, включающих больных с РЧА ПКР. Сравнение результатов криоабляции, РЧА и резекции почки при ПКР показало некоторую вариабельность в зависимости от исходных сравнительных данных. Однако в целом все авторы сходятся во мнении о лучшей выживаемости при резекциях почки по сравнению с методами термоабляции. I. Cholley и соавт. (2018) [42] включили в исследование 100 пациентов (26 резекций печени, первая группа и 74 РЧА, вторая группа) со средним сроком наблюдения 32 мес. Средний возраст и размер опухоли достоверно различались (78 лет против 81 года, $p = 0,001$, 38 мм против 29 мм, $p = 0,003$ соответственно). Периоперационные результаты не показали различий в осложнениях. Частота трансфузий и продолжительность пребывания в стационаре были значительно выше в группе резекций почки. Медиана общей выживаемости составила 45 мес против 27 мес ($p = 0,23$) для резекций почки и РЧА, а медиана безрецидивной выживаемости составила 28 мес против 10 мес ($p = 0,34$). При многомерном анализе хирургическая техника (резекции почки или РЧА) не была значимо связана с выживаемостью (отношение рисков (ОР) 2,37, 95% доверительный интервал (ДИ) 0,66–8,5, $p = 0,19$). Потеря почечной функции составила $1,5 \pm 14$ мл/мин/ $1,73 \text{ м}^2$ при резекции почки и 3 ± 14 мл/мин/ $1,73 \text{ м}^2$ при РЧА ($p = 0,69$). Таким образом, авторы отмечают лучшие периоперационные результаты для РЧА, чем для резекции почки, без существенных различий в выживаемости. Потеря почечной функции была незначительной и одинаковой.

S. Yan и соавт. (2019) [43] в своем исследовании сравнили результаты РЧА, криодеструкции и резекции почки при ПКР размером 4 см (наблюдение, эпидемиология и конечные результаты). В период с 2004 по 2015 г. выявили 17 234 пациента с диагнозом ПКР **T1aN0M0**. Сравнили общую выживаемость (ОВ) и онкоспецифическую выживаемость (ОСВ) среди пациентов, получавших лечение с использованием резекции почки, криодеструкции или РЧА. Модель пропорциональных рисков Кокса использовалась для определения прогностических факторов выживания.



Таблица 4. Исследования с наиболее крупными группами больных, перенесших РЧА малых опухолей почки, по данным литературы [19–28]
Table 4. Studies with the largest groups of patients who underwent RFA of small kidney tumors, according to the literature [19–28]

Авторы The authors	Год Year	Число пациентов Number of patients	Размер опухоли Tumor size	Время наблюдения, медиана Observation time, median	Рецидив Relapse
Matsumoto E.D. и соавт. [19] Matsumoto E.D. et al. [19]	2005	109 (нет данных) 109 (no data)	В среднем 24,0 мм Average 24.0 mm	19 мес 19 months	2%
Park S. и соавт. [20] Park S. et al. [20]	2006	94 (ПКР – 65) 94 (RCC – 65)	В среднем 24,0 мм Average 24.0 mm	25 мес 7 months	3,2%
Hegarty N.J. и соавт. [21] Hegarty N.J. et al. [21]	2006	82 (нет данных) 82 (no data)	В среднем 25,0 мм Average 25.0 mm	12 мес 12 months	11,1%
Zagoria R.J. и соавт. [22] Zagoria R.J. et al. [22]	2007	125 (ПКР – 125) 125 (RCC – 125)	В среднем 27,0 мм Average 27.0 mm	13,8 мес 13,8 months	13,0% (все опухоли размером более 37,0 мм) 13.0% (all tumors larger than 37.0 mm)
Kim J.H. и соавт. [23] Kim J.H. et al. [23]	2011	49 (нет данных) 49 (no data)	В среднем 24,0 мм Average 24.0 mm	31,7 мес 31,7 months	14,0% повторные РЧА
Lorber G. и соавт. [24] Lorber G. et al. [24]	2014	53 (светлоклеточный рак – 22; папиллярный рак – 5; хромофобный рак – 1) 53 (clear cell cancer – 22; papillary cancer – 5; chromophobic cancer – 1)	В среднем 23,0 мм Average 23.0 mm	65,6 мес 65,6 months	7,5% местный рецидив 1,9% метастаз 7,5% local recurrence 1,9% metastasis
Lay A.H. и соавт. [25] Lay A.H. et al. [25]	2015	229 (светлоклеточный рак – 181; папиллярный рак – 48) 229 (clear cell cancer – 181; papillary cancer – 48)	<30 мм – 184 (79,5%) >30 мм – 45 (20,5%) <30 мм – 184 (79,5%) >30 мм – 45 (20,5%)	33,2 мес 33,2 months	Светлоклеточный рак – 10,3% Папиллярный рак – 0% Clear cell carcinoma – 10.3% Papillary cancer – 0%

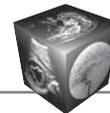


Таблица 4 (окончание)
Table 4 (end)

Авторы The authors	Год Year	Число пациентов Number of patients	Размер опухоли Tumor size	Время наблюдения, медиана Observation time, median	Рецидив Relapse
Калпинский А.С. и соавт. [26] Kalpinsky A.S. et al. [26]	2015	56 (ПКР – 50) 56 (RCC – 50)	27,7 ± 8,2 мм 27.7 ± 8.2 mm	42 мес 42 months	25,0% местный рецидив 2,2% метастаз 25.0% local recurrence 2.2% metastasis
Siekiera J. и соавт. [27] Siekiera J. et al. [27]	2018	103 (светлоклеточный рак – 98; папиллярный рак – 2; хромобной рак – 3; неклассифицированный – 1) 103 (clear cell cancer – 98; papillary cancer – 2; chromophob cancer – 3; unclassified – 1)	27,2 ± 12,7 мм 27.2 ± 12.7 mm	46 мес 46 months	0%
Johnson B.A. и соавт. [28] Johnson B.A. et al. [28]	2019	112 (нет данных) 112 (no data)	25,0 ± 0,8 мм 25.0 ± 0.8 mm	79 мес 79 months	8,9%



Таблица 5. Клинико-инструментальные данные больных с рецидивом опухоли почки после РЧА
Table 5. Clinical and instrumental data of patients with recurrence of a kidney tumor after RFA

№	Пациент, возраст (годы) Patient, age (years)	Причина выбора Reason for choosing	Расположение, размеры Location, sizes	Проведенное лечение Treatment	Морфология Morphology	Срок наблюдения Observation period	Данные контрольного исследования Control Radiology Data	Следующий этап лечения The next stage of treatment
1	Б., 64 (первая группа) B., 64 (1st group)	Противопоказания по кардиологии, аневризма аорты Contraindications for cardiology, aortic aneurysm	Интрапаренхиматозно, 41,5 × 34,8 мм Intraparenchymal, 41.5 × 34.8 mm	РЧА + селект. эмболиз. ветвей. почечной артерии RFA + select. embolism. branches. renal artery	Светло-клеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	7 мес 7 months	Накапливает КВ, увеличение диаметра опухолевого узла +9 мм Accumulates CA, increase in the diameter of the tumor node +9 mm	Резекция почки Kidney resection
2	М., 76 (первая группа) M., 76 (1st group)	АКШ, МКШ в анамнезе CABG, MAB in anamnesis	Субкапсулярно, 44,0 × 35,0 мм Subcapsular, 44.0 × 35.0 mm	РЧА + селект. эмболиз. ветвей. почечной артерии RFA + select. embolism. branches. renal artery	Светло-клеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	5 мес 5 months	Два дополнительных васкулярииз. узла на границе с зоной РЧА Two additional vascular nodes on the border with the RFA zone	Повторная РЧА Repeated RFA
3	Д., 66 (первая группа) D., 66 (1st group)	Противопоказания по кардиологии, ожирение III степени Contraindications for cardiology, obesity grade III	Задний сегмент, трансмурально, 36 мм Posterior segment, transmural, 36 mm	РЧА RFA	Светло-клеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	6 мес 6 months	Накапливает КВ по периферии Accumulates CA on the periphery	Повторная РЧА Repeated RFA

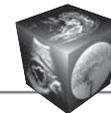


Таблица 5 (окончание)
Table 5 (end)

№	Пациент, возраст (годы) Patient, age (years)	Причина выбора Reason for choosing	Расположение, размеры Location, sizes	Проведенное лечение Treatment	Морфология Morphology	Срок наблюдения Observation period	Данные контрольного исследования Control Radiology Data	Следующий этап лечения The next stage of treatment
4	Л., 68 (вторая группа) L., 68 (2nd group)	Первично-множественный рак обеих почек с МТС в надпочечник и ПЖ. I этап: нефрэктомия слева, дистальная резекция ПЖ, спленэктомия, адреналэктомии справа Primary multiple cancer of both kidneys with MTS in the adrenal gland and pancreas. Stage I: left nephrectomy, distal resection of the pancreas, splenectomy, adrenalectomy on the right	Множественные: подкапсулярно (n = 2): 16,0 × 14,0 мм; и 10,0 × 12,0 мм; интрапаренхиматозные (n = 6): от 5,0 до 8,0 мм Multiple: subcapsular (n = 2): 16.0 × 14.0 mm and 10.0 × 12.0 mm; intraparenchymal (n = 6): 5.0 to 8.0 mm	II этап: РЧА очагов правой почки Stage II: RFA of right kidney lesions	Светло-клеточный рак G2 G2 clear cell carcinoma	14 мес 14 months	Тотальное опухолевое поражение единственной правой почки Accumulates CA along the periphery of total tumor lesion of the only right kidney	Летальный исход Fatal outcome
5	М., 54 (вторая группа) M., 54 (2nd group)	Первично-множественный рак обеих почек I этап: нефрэктомия слева Primary multiple cancer of both kidneys Stage I: left nephrectomy	Субкапсулярно, верхний полюс 22,3 × 28,9 мм Subcapsular, upper pole 22.3 × 28.9 mm	II этап: РЧА очагов правой почки Stage II: RFA of right kidney lesions	Светло-клеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	60 мес 60 months	Накапливает KB в зоне РЧА, рост образования в размерах, интрамурально, 6 см Accumulates CA in the RFA zone, the growth of the lesion in size, intramurally, 6 cm	Экстра-корпоральная резекция Extracorporeal resection
6	М., 42 (вторая группа) M., 42 (2nd group)	Первично-множественный рак обеих почек I этап: резекция левой почки Primary multiple cancer of both kidneys Stage I: resection of the left kidney	Задненижний сегмент, трансмурально, 11 мм Posteriorinferior segment, transmurally, 11 mm	II этап: РЧА очагов правой почки Stage II: RFA of right kidney lesions	Светло-клеточный рак G1 G1 clear cell carcinoma	7 мес 7 months	Накапливает KB в виде узла диаметром 4,0 мм Accumulates CA in the form of a node with a diameter of 4.0 mm	Робот-ассистированная резекция Robot-assisted nephrectomy



У пациентов с ПКР размером от 2 до 4 см лучшие показатели ОВ и ОСВ наблюдались при резекции почки, чем при криодеструкции или РЧА. При многопараметрическом анализе данные по криодеструкции и РЧА по сравнению с резекцией почки были независимо связаны с плохой ОВ и ОСВ у пациентов с ПКР размером от 2 до 4 см. У пациентов с ПКР размером ≤ 2 см лучшая ОВ наблюдалась при резекции почки, чем при криодеструкции или РЧА; однако показатели ОСВ были схожи. При многопараметрическом анализе по сравнению с резекцией почки РЧА была независимо связана с плохой ОВ у пациентов с ПКР размером ≤ 2 см. Таким образом, авторы заключили, что криодеструкцию или РЧА не следует рекомендовать пациентам с ПКР размером 2–4 см; резекция почки является эффективным методом лечения таких пациентов. Для пациентов с ПКР размером ≤ 2 см абляционные методики могут быть столь же эффективными, как и резекция почки.

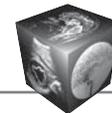
J.R. Riveo и соавт. (2018) [44] провели всесторонний поиск по ПКР в основных базах данных в период с октября 2000 г. по июль 2016 г. Были соблюдены рекомендации по предпочтительным элементам отчетности для систематических обзоров и метаанализов. Были оценены случаи смертности от всех причин (ОС), онкоспецифической смертности (ОСС), местных рецидивов (МР) и метастазов, а также частота осложнений и изменения расчетной скорости клубочковой фильтрации (рСКФ). Критериям включения соответствовали 15 из 961 проанализированной статьи. Эти исследования включали 3974 пациента, перенесших абляционную процедуру (криоабляцию или РЧА; $n = 1455$; 37%) или резекцию почки ($n = 2519$; 63%). Показатели ОС и ОСС были выше для абляции, чем для резекции почки (ОР 2,11, 95% ДИ 1,54–2,87, $p < 0,05$; HR 3,84; 95% ДИ 1,66–8,88 [1], $p < 0,05$ соответственно). Статистически значимой разницы в частоте МР или риске метастазирования между абляцией и резекцией почки не наблюдалось (ОР 1,32, 95% ДИ 0,79–2,22 ($p = 0,22$); HR 1,83; 95% ДИ 0,67–5,01 ($p = 0,23$) соответственно). Частота осложнений была ниже при абляции, чем при резекции почки (13% против 17,6%; отношение шансов 0,49, 95% ДИ 0,25–0,94, $p < 0,05$). Значительно большее снижение рСКФ наблюдалось после резекции почки (13,09 мл/мин/1,73 м²) по сравнению с абляционной терапией (4,47 мл/мин/1,73 м²). Таким образом, авторы пришли к выводу, что термическая абляция не показала существенной разницы в местном рецидиве или метастазах по сравнению с резекцией

почки, при этом она была связана с более низким уровнем заболеваемости и меньшим снижением рСКФ по сравнению с резекцией, но с более высокими показателями ОС и ОСС.

Самым крупным сравнительным исследованием является работа J. Uhlig и соавт. (2018) [45], которые, проведя поиск исследований в базах MEDLINE, EMBASE и COCHRANE, сравнивающих резекцию почки, РЧА, криодеструкцию и микроволновую абляцию, выполнили сетевой метаанализ. Было включено 47 исследований с участием 24 077 пациентов. Пациенты, получавшие РЧА, криодеструкцию или микроволновую абляцию, были старше и имели больше сопутствующих заболеваний по сравнению с резекцией почки. Смертность от всех причин была выше при криодеструкции и РЧА по сравнению с резекцией почки (коэффициент заболеваемости IRR = 2,58, IRR = 2,58, $p < 0,001$ соответственно). Значимых различий в смертности от рака не наблюдалось. Местные рецидивы были выше для криодеструкции, РЧА и микроволновой абляции по сравнению с резекцией почки (IRR = 4,13, IRR = 1,79, IRR = 2,52, $p < 0,05$ соответственно). Снижение почечной функции было менее выраженным после РЧА по сравнению с резекцией почки, криодеструкцией и микроволновой абляцией (средняя разница в СКФ MD = 6,49; MD = 5,82; MD = 10,89, $p < 0,05$ соответственно). Таким образом, более высокая общая выживаемость и локальный контроль резекции почки по сравнению с абляционной терапией не привели к значительному снижению смертности от рака.

Большинство исследований сопряжены с высоким риском систематической ошибки из-за выбора более молодых и здоровых пациентов для резекции почки, что может обеспечить лучшую выживаемость и локальный контроль. Врачи должны знать об отсутствии высококачественных доказательств и потенциальных преимуществах абляционных методов для определенных пациентов, включая превосходный профиль осложнений и сохранение почечной функции. Тем не менее в целом практически все последние руководства по лечению малого рака почки включают в арсенал методы РЧА [46].

Важным аспектом проведенного нами исследования является применение РЧА как этапа лечения больных с первично-множественным раком обеих почек. Данные литературы не делают акцент на таком применении РЧА. Однако наши данные показывают перспективность этапного лечения таких больных с РЧА.



Заключение

Применение радиочастотной абляции при лечении почечно-клеточного рака позволяет значительно расширить объем оказываемой хирургической помощи как у пациентов с наличием сопутствующих заболеваний, не позволяющих выполнить оперативное вмешательство значительного объема, так и у пациентов с первично-множественным раком обеих почек в качестве этапного лечения.

Участие авторов

Степанова Ю.А. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Жаворонкова О.И. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

Гаврилов Я.Я. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных.

Чехоева О.А. – обзор публикаций по теме статьи, сбор и обработка данных, написание текста.

Грицкевич А.А. – участие в научном дизайне, сбор и обработка данных.

Глотов А.В. – сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Authors' participation

Stepanova Yu.A. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Zhavoronkova O.I. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data.

Gavrilov Ya.Ya. – collection and analysis of data, statistical analysis.

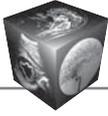
Chekhoeva O.A. – review of publications, collection and analysis of data, writing text.

Gritskevich A.A. – participation in scientific design, collection and analysis of data.

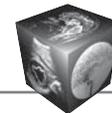
Glotov A.V. – collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Список литературы [References]

1. Клиническая онкоурология / Под ред. Б.П. Матвеева. М.: Вердана, 2011. 934 с.
Clinical oncology / Ed. B.P. Matveev. M.: Verdana, 2011. 934 p. (In Russian)
2. Wong M.C.S., Goggins W.B., Yip B.H.K. et al. Incidence and mortality of kidney cancer: temporal patterns and global trends in 39 countries. *Sci. Rep.* 2017; 7 (1): 15698. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-15922-4>.
3. Mahdavi N., Mohammadian M., Ghoncheh M., Salehiniya H. Incidence, mortality and risk factors of kidney cancer in the world. *WCRJ.* 2018; 5 (1): e1013. http://doi.org/10.32113/wcrj_20183_1013
4. Аксель Е.М., Матвеев В.Б. Статистика злокачественных новообразований мочевых и мужских половых органов в России и странах бывшего СССР. *Онкоурология.* 2019; 5 (2): 15–24. <http://doi.org/10.17650/1726-9776-2019-15-2-15-24>
5. Aksel E.M., Matveev V.B. Statistics of malignant neoplasms of the urinary and male genital organs in Russia and the countries of the former USSR. *Oncology.* 2019; 5 (2): 15–24. <http://doi.org/10.17650/1726-9776-2019-15-2-15-24> (In Russian)
5. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J. Clin.* 2021; 71 (3): 209–249. <http://doi.org/10.3322/caac.21660>
6. Escudier B., Porta C., Schmidinger M. et al.; ESMO Guidelines Committee. Renal cell carcinoma: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann. Oncol.* 2019; 30 (5): 706–720. <http://doi.org/10.1093/annonc/mdz056>
7. Kümmerlin I.P., ten Kate F.J., Wijkstra H. et al. Changes in the stage and surgical management of renal tumours during 1995-2005: an analysis of the Dutch national histopathology registry. *BJU Int.* 2008; 102 (8): 946–951. <http://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2008.07770.x>
8. Nguyen M.M., Gill I.S., Ellison L.M. The evolving presentation of renal carcinoma in the United States: trends from the Surveillance, Epidemiology, and End Results program. *J. Urol.* 2006; 176 (6, Pt 1): 2397–2400. <http://doi.org/10.1016/j.juro.2006.07.144>
9. Gervais D.A., McGovern F.J., Arellano R.S., McDougal W.S., Mueller P.R. Radiofrequency ablation of renal cell carcinoma: part 1, Indications, results, and role in patient management over a 6-year period and ablation of 100 tumors. *Am. J. Roentgenol.* 2005; 185 (1): 64–71. <http://doi.org/10.2214/ajr.185.1.01850064>
10. Gervais D.A., Arellano R.S., McGovern F.J. et al. Radiofrequency ablation of renal cell carcinoma: part 2, Lessons learned with ablation of 100 tumors. *Am. J. Roentgenol.* 2005; 185 (1): 72–80. <http://doi.org/10.2214/ajr.185.1.01850072>
11. Павлов А.Ю., Клименко А.А., Момджан Б.К., Иванов С.А. Радиочастотная интерстициальная термоабляция (РЧА) рака почки. *Онкоурология.* 2011; 2–3: 112–113. Pavlov A.Yu., Klimenko A.A., Momjan B.K., Ivanov S.A. Radiofrequency interstitial thermal ablation (RFA) of kidney cancer. *Oncology.* 2011; 2–3: 112–113. (In Russian)
12. Wendler J.J., Porsch M., Nitschke S. et al. A prospective Phase 2a pilot study investigating focal percutaneous irreversible electroporation (IRE) ablation by NanoKnife in patients with localised renal cell carcinoma (RCC) with delayed interval tumour resection (IRENE trial). *Contemp. Clin. Trials.* 2015; 43: 10–19. <http://doi.org/10.1016/j.cct.2015.05.002>
13. Atwell T.D., Vlamincck J.J., Boorjian S.A. et al. Percutaneous cryoablation of stage T1b renal cell carcinoma: technique considerations, safety, and local tumor control. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2015; 26 (6): 792–729. <http://doi.org/10.1016/j.jvir.2015.02.010>
14. Yu J., Zhang X., Liu H. et al. Percutaneous Microwave Ablation versus Laparoscopic Partial Nephrectomy for cT1a Renal Cell Carcinoma: A Propensity-matched Cohort Study of 1955 Patients. *Radiology.* 2020; 294 (3): 698–706. <http://doi.org/10.1148/radiol.2020190919>
15. Zlotta A.R., Wildschutz T., Raviv G. et al. Radiofrequency interstitial tumor ablation (RITA) is a possible new



- modality for treatment of renal cancer: ex vivo and in vivo experience. *J. Endourol.* 1997; 11 (4): 251–258. <http://doi.org/10.1089/end.1997.11.251>
16. Goldberg S.N., Gazelle G.S., Mueller P.R. Thermal ablation therapy for focal malignancy: a unified approach to underlying principles, techniques, and diagnostic imaging guidance. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 174: 323–331. <http://doi.org/10.2214/ajr.174.2.1740323>
 17. Goldberg S.N., Dupuy D.E. Image-guided radiofrequency tumor ablation: challenges and opportunities: part I. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2001; 12: 1021–1032.
 18. Yang Y., Chen S., Chen F. et al. Outcome of radiofrequency ablation over partial nephrectomy for small renal mass (<4 cm): a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Clin. Exp. Med.* 2015 Nov 15; 8(11): 20670–20674.
 19. Matsumoto E.D., Johnson D.B., Ogan K. et al. Short-term efficacy of temperature-based radiofrequency ablation of small renal tumors. *Urology.* 2005; 65 (5): 877–881. <http://doi.org/10.1016/j.urology.2004.12.011>
 20. Park S., Anderson J.K., Matsumoto E.D. et al. Radiofrequency ablation of renal tumors: intermediate-term results. *J. Endourol.* 2006; 20 (8): 569–573. <http://doi.org/10.1089/end.2006.20.569>
 21. Hegarty N.J., Gill I.S., Desai M.M. et al. Probe-ablative nephron-sparing surgery: cryoablation versus radiofrequency ablation. *Urology.* 2006; 68 (1, Suppl.): 7–13. <http://doi.org/10.1016/j.urology.2005.12.049>
 22. Zagoria R.J., Traver M.A., Werle D.M. et al. Oncologic efficacy of CT-guided percutaneous radiofrequency ablation of renal cell carcinomas. *Am. J. Roentgenol.* 2007; 189 (2): 429–436. <http://doi.org/10.2214/AJR.07.2258>
 23. Kim J.H., Kim T.H., Kim S.D. et al. Radiofrequency ablation of renal tumors: our experience. *Korean J. Urol.* 2011; 52 (8): 531–537. <http://doi.org/10.4111/kju.2011.52.8.531>
 24. Lorber G., Glamore M., Doshi M. et al. Long-term oncologic outcomes following radiofrequency ablation with real-time temperature monitoring for T1a renal cell cancer. *Urol. Oncol.* 2014; 32 (7): 1017–1023. <http://doi.org/10.1016/j.urolonc.2014.03.005>
 25. Lay A.H., Faddegon S., Olweny E.O. et al. Oncologic Efficacy of Radio Frequency Ablation for Small Renal Masses: Clear Cell vs Papillary Subtype. *J. Urol.* 2015; 194 (3): 653–657. <http://doi.org/10.1016/j.juro.2015.03.115>
 26. Калпинский А.С., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д., Воробьев Н.В., Ньюшко К.М., Канукоев К.Ю., Вокач Д.С. Роль чрескожной радиочастотной абляции в лечении опухолей почек. *Тюменский медицинский журнал.* 2015; 17 (1): 39–44. Kalpinsky A.S., Alekseev B.Ya., Kaprin A.D., Vorobyov N.V., Nyushko K.M., Kanukoev K.Yu., Vokach D.S. The role of percutaneous radiofrequency ablation in the treatment of kidney tumors. *Tyumen Medical Journal.* 2015; 17 (1): 39–44. (In Russian)
 27. Siekiera J., Jasinski M., Mikołajczak W. Radiofrequency ablation of small renal masses in comorbid patients. *Wideochir. Inne Tech. Maloinwazyjne.* 2018; 13 (2): 212–214. <http://doi.org/10.5114/wiitm.2018.74462>
 28. Johnson B.A., Sorokin I., Cadeddu J.A. Ten-Year Outcomes of Renal Tumor Radio Frequency Ablation. *J. Urol.* 2019; 201 (2): 251–258. <http://doi.org/10.1016/j.juro.2018.08.045>
 29. Долгушин Б.И., Косырев Ю.В., Рампрабанант С. Радиочастотная абляция в онкологии. *Практическая онкология.* 2007; 8 (4): 219–227. Dolgushin B.I., Kosyrev Yu.V., Ramprabanant S. Radiofrequency ablation in oncology. *Practical Oncology.* 2007; 8 (4): 219–227. (In Russian)
 30. Salagierski M., Salagierski M.S. Radiofrequency ablation: a minimally invasive approach in kidney tumor management. *Cancers (Basel).* 2010; 2 (4): 1895–1900. <http://doi.org/10.3390/cancers2041895>
 31. Gervais D.A., McGovern F.J., Arellano R.S. et al. Renal cell carcinoma: clinical experience and technical success with radio-frequency ablation of 42 tumors. *Radiology.* 2003; 226: 417–424. <http://doi.org/10.1148/radiol.2262012062>
 32. Farrell M.A., Charboneau J.W., Callstrom M.R. et al. Paraneuphric water instillation: a technique to prevent bowel injury during percutaneous renal radiofrequency ablation. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 181 (5): 1315–1317. <http://doi.org/10.2214/ajr.181.5.1811315>
 33. Kurup A.N. Percutaneous Ablation for Small Renal Masses – Complications. *Semin. Intervent. Radiol.* 2014; 31 (1): 42–49. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1363842>
 34. Meloni M.F., Goldberg S.N., Livraghi T. et al. Hepatocellular carcinoma treated with radiofrequency ablation: comparison of pulse inversion contrast-enhanced harmonic sonography, contrast-enhanced power Doppler sonography, and helical CT. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 177 (2): 375–380. <http://doi.org/10.2214/ajr.177.2.1770375>
 35. Wah T.M., Irving H.C., Gregory W. et al. Radiofrequency ablation (RFA) of renal cell carcinoma (RCC): experience in 200 tumours. *BJU Int.* 2014; 113 (3): 416–428. <http://doi.org/10.1111/bju.12349>
 36. Kong W.T., Zhang W.W., Guo H.Q. et al. Application of contrast-enhanced ultrasonography after radiofrequency ablation for renal cell carcinoma: is it sufficient for assessment of therapeutic response? *Abdom. Imaging.* 2011; 36 (3): 342–347. <http://doi.org/10.1007/s00261-010-9665-x>
 37. Allard C.B., Coret A., Dason S. et al. Contrast-enhanced Ultrasonography for Surveillance of Radiofrequency-ablated Renal Tumors: A Prospective, Radiologist-blinded Pilot Study. *Urology.* 2015; 86 (6): 1174–1178. <http://doi.org/10.1016/j.urology.2015.04.062>
 38. Ito K., Soga S., Seguchi K. et al. Clinical outcomes of percutaneous radiofrequency ablation for small renal cancer. *Oncol. Lett.* 2017; 14 (1): 918–924. <http://doi.org/10.3892/ol.2017.6262>
 39. Ogan K., Jacomides L., Dolmatch B.L. et al. Percutaneous radiofrequency ablation of renal tumors: technique, limitations, and morbidity. *Urology.* 2002; 60 (6): 954–895. [http://doi.org/10.1016/s0090-4295\(02\)02096-4](http://doi.org/10.1016/s0090-4295(02)02096-4)
 40. Rane A., Stein R., Cadeddu J. Focal therapy for renal mass lesions: where do we stand in 2012? *BJU Int.* 2012; 109 (4): 491–492. <http://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2011.10855.x>
 41. Livraghi T., Goldberg S.N., Lazzaroni S. et al. Hepatocellular carcinoma: radio-frequency ablation of medium and large lesions. *Radiology.* 2000; 214 (3): 761–768. <http://doi.org/10.1148/radiology.214.3.r00mr02761>
 42. Cholley I., Correas J.M., Masson-Lecomte A. et al. Comparaison des résultats opératoires et oncologiques de la néphrectomie partielle et de l'ablation par radiofr quence pour traitement des tumeurs rénales chez les patients de plus de 75 ans [Comparison of operative and oncologic results between partial nephrectomy



- and radiofrequency ablation for treatment of renal tumors in patients older than 75]. *Prog. Urol.* 2018; 28 (1): 55–61. <http://doi.org/10.1016/j.purol.2017.10.006> (In French)
43. Yan S., Yang W., Zhu C.M. et al. Comparison among cryoablation, radiofrequency ablation, and partial nephrectomy for renal cell carcinomas sized smaller than 2 cm or sized 2–4 cm: A population-based study. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98 (21): e15610. <http://doi.org/10.1097/MD.00000000000015610>
44. Rivero J.R., De La Cerda J. 3rd, Wang H. et al. Partial Nephrectomy versus Thermal Ablation for Clinical Stage T1 Renal Masses: Systematic Review and Meta-Analysis of More than 3,900 Patients. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2018; 29 (1): 18–29. <http://doi.org/10.1016/j.jvir.2017.08.013>
45. Uhlig J., Strauss A., Rücker G. et al. Partial nephrectomy versus ablative techniques for small renal masses: a systematic review and network meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (3): 1293–1307. <http://doi.org/10.1007/s00330-018-5660-3>
46. Wilcox Vanden Berg R.N., Basourakos S.P., LaRussa S., McClure T.D. Management of the Small Renal Mass: a 2020 Update. *Curr. Oncol. Rep.* 2020; 22 (7): 69. <http://doi.org/10.1007/s11912-020-00924-9>

Для корреспонденции*: Степанова Юлия Александровна – 117997 Москва, ул. Бол. Серпуховская, 27. НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского, отдел лучевой диагностики. Тел.: +7-499-236-60-94. E-mail: stepanovaua@mail.ru

Степанова Юлия Александровна – доктор мед. наук, Ученый секретарь ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

Жаворонкова Ольга Ивановна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8598-8008>

Гаврилов Ян Янович – младший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0716-5353>

Чехоева Олеся Ахсаровна – младший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0576-4988>

Грицкевич Александр Анатольевич – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения урологии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5160-925X>

Глотов Андрей Вячеславович – врач-патологоанатом отделения патологической анатомии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6904-9318>

Contact*: Yulia A. Stepanova – 27, Bol. Serpukhovskaya str., Moscow 117997, Russian Federation. A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery. Phone: +7-499-236-60-94. E-mail: stepanovaua@mail.ru

Yulia A. Stepanova – Doct. of Sci. (Med.), the Scientific Secretary of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

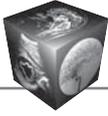
Olga I. Zhavoronkova – Cad. of Sci. (Med.), the senior research of ultrasound diagnostics department of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8598-8008>

Yan Ya. Gavrillov – the junior researcher of ultrasound diagnostics department of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0716-5353>

Olesya A. Chekhoeva – the junior researcher of ultrasound diagnostics department of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0576-4988>

Aleksandr A. Gritskevich – Doct. of Sci. (Med.), the senior research of Urology department of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5160-925X>

Andrey V. Glotov – pathologist of pathology department of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6904-9318>



Почки. Специальная сессия под редакцией профессора А.И. Громова
Kidneys. Special session edited by professor A.I. Gromov

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1206>

Доплеровский артефакт мерцания: физические механизмы и место в диагностической практике. Современное состояние вопроса

© Громов А.И.^{1, 2*}, Сапожников О.А.^{3, 4}, Каприн А.Д.^{5, 6, 7}

- ¹ НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 105425 Москва, 3-я Парковая ул., 51, стр. 1, Российская Федерация
- ² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; 127473 Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация
- ³ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет; 119991 Москва, Ленинские горы, Российская Федерация
- ⁴ Center for Industrial and Medical Ultrasound, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, WA, 98105 USA
- ⁵ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3, Российская Федерация
- ⁶ МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3, Российская Федерация
- ⁷ ФГАУ ВО «Российский университет дружбы народов» Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Российская Федерация

Введение. Артефакт мерцания известен специалистам ультразвуковой диагностики с 1996 г. Однако до настоящего времени нет однозначного понимания как физических основ его появления, так и областей ультразвуковой диагностики, где выявление его несет реальную диагностическую информацию.

Материал и методы. В электронных базах данных (PubMed, E-library, Web of Science) был проведен поиск опубликованных исследований по ключевым словам “twinkling artifact”, “мерцающий артефакт”, “артефакт мерцания”. Систематизирована и проанализирована имеющаяся научная литература, посвященная доплеровскому артефакту мерцания с момента первых публикаций о его существовании. Отмечены собственные разработки на эту тему. Определены современные взгляды на данное явление и его место в ультразвуковой диагностике. Представлена основная на настоящий момент версия о причинах возникновения данного явления.

Результаты. Сформулированы рекомендации для практических врачей по изменению настроек ультразвукового сканера с целью повышения выявляемости артефакта мерцания. Определены направления использования артефакта для получения дополнительных диагностических признаков патологических изменений, к которым в настоящее время относят диагностику нефро-, уретеро- и холедохолитиаза.

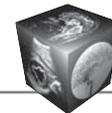
Заключение. Отмечена высокая эффективность использования артефакта мерцания для диагностики мелких камней почек, сопоставимая с возможностями компьютерной томографии. Показана низкая результативность использования артефакта для выявления микрокальцинатов молочной железы и обызвествлений других анатомических структур.

Ключевые слова: ультразвуковые артефакты, артефакт мерцания, мерцающий артефакт

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Громов А.И., Сапожников О.А., Каприн А.Д. Доплеровский артефакт мерцания: физические механизмы и место в диагностической практике. Современное состояние вопроса. *Медицинская визуализация.* 2023; 27 (1): 120–134. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1206>

Поступила в редакцию: 06.06.2022. **Принята к печати:** 22.07.2022. **Опубликована online:** 28.12.2022.



Doppler twinkling artifact: physical mechanisms and place in diagnostic practice. State of the art

© Alexander I. Gromov^{1, 2*}, Oleg A. Sapozhnikov^{3, 4}, Andrei D. Kaprin^{5, 6, 7}

¹ N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russian Federation; 51-1, 3rd Parkovaya str., Moscow 105425, Russian Federation

² A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 20/1, Delegatskaya str., Moscow 127473, Russian Federation

³ Lomonosov Moscow State University; Physics Faculty; Leninskie Gory, Moscow 119991, Russian Federation

⁴ Center for Industrial and Medical Ultrasound, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, WA, 98105 USA

⁵ National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky proezd, Moscow 125284, Russian Federation

⁶ P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky proezd, Moscow 125284, Russian Federation

⁷ The Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

The twinkling artifact has been known to specialists in ultrasound diagnostics since 1996. However, until now there is no understanding of the reasons for its appearance, and the place of its application in diagnostics.

Material and methods. Electronic databases (PubMed, E-library, Web of Science) were searched studies using the keyword – “twinkling artifact”. The scientific publications on the Doppler twinkling artifact from the moment of the first reports about its existence is systematized and analyzed. The authors' own developments on this topic are presented. Modern views on this phenomenon and its place in ultrasound diagnostics are described. An explanation of the physical mechanisms of this phenomenon is given.

Results. Recommendations are formulated for practitioners on changing the settings of an ultrasound scanner in order to increase twinkling artifact detectability. The directions of using the artifact to obtain additional diagnostic signs of pathological changes, which currently include the diagnosis of nephro-, uretero- and choledocholithiasis, are determined.

Conclusions. The high efficiency of the use of the twinkling artifact for the diagnosis of small kidney stones, comparable with the capabilities of computed tomography, has been shown.

Keywords: ultrasonic artifact, twinkling artifact

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Gromov A.I., Sapozhnikov O.A., Kaprin A.D. Doppler twinkling artifact: physical mechanisms and place in diagnostic practice. State of the art. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 120–134. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1206>

Received: 06.06.2022.

Accepted for publication: 22.07.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

В настоящее время практически каждый врач ультразвуковой диагностики знает о существовании доплеровского артефакта мерцания (twinkling artefact). В то же время далеко не всем ясно, в каких случаях нужно стремиться к его оценке при ультразвуковом сканировании, чтобы получить дополнительные диагностические признаки.

Артефакт мерцания (АМ) представляет собой зону быстрой беспорядочной смены цветов на ультразвуковом изображении в доплеровском режиме. Указанный артефакт возникает при наличии в области визуализации твердотельных включений, таких как камни в почках и другие конкременты. При этом цветовой диапазон в мерцающем мозаичном пятне охватывает всю палитру кодиру-

емых скоростей кровотока: от предельно больших “положительных” – условно оранжевых до “отрицательных” – условно фиолетовых. АМ появляется в тех участках изображения, где движение крови заведомо отсутствует. В спектральном режиме АМ проявляется широким “белым” спектром – часто расположенными вертикальными линиями, а на слух проявляется в виде шума большой интенсивности.

“Золотым стандартом” в диагностике камней в почках является компьютерная томография (КТ), обладающая высокой чувствительностью (80–99%), однако она подвергает пациентов воздействию ионизирующего излучения [1]. Ультразвук в В-режиме не подвергает пациентов ионизирующему воздействию, но чувствительность визуали-

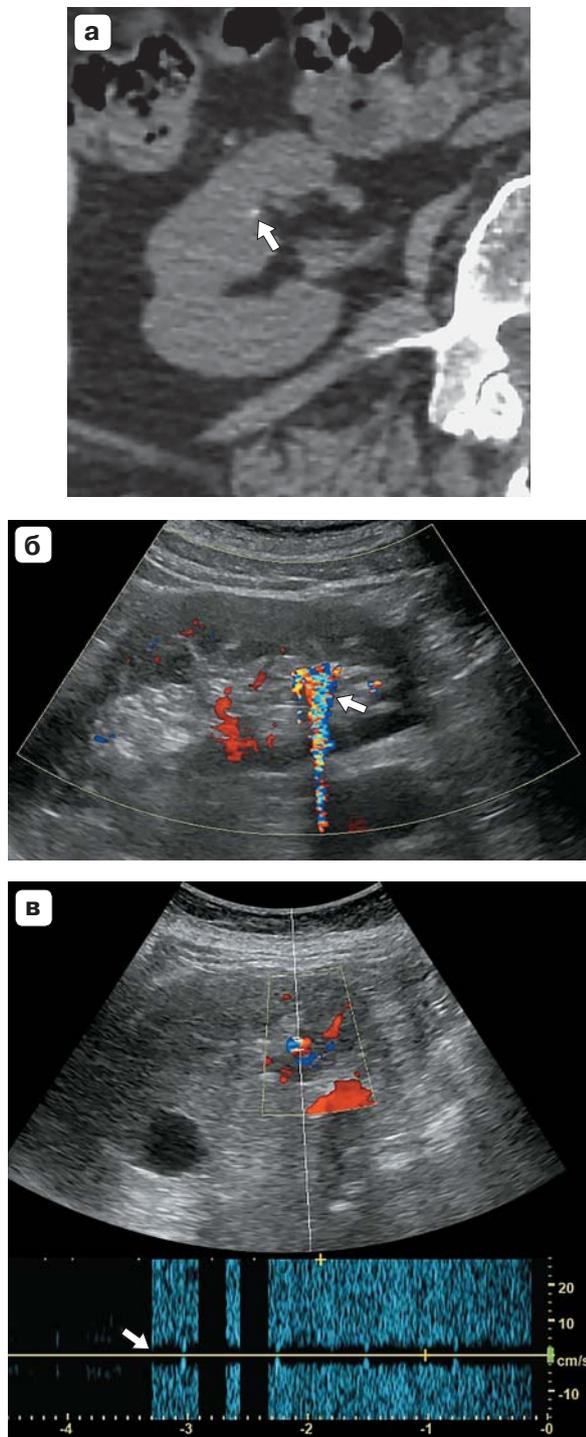
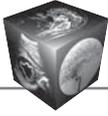


Рис. 1. Мелкий камень почки. **а** – компьютерная томограмма, визуализируется мелкий конкремент правой почки (стрелка); **б** – УЗИ в режиме цветового доплера. Выраженный АМ (стрелка); **в** – УЗИ в режиме спектрального доплера. Видны плотно расположенные вертикальные линии (стрелка).

Fig. 1. Small kidney stone. **a** – CT scan visualizes a small calculus in the right kidney (arrow); **б** – Ultrasound imaging in color Doppler mode. The twinkling artefact is pronounced AM (arrow); **в** – Ultrasound imaging in spectral Doppler mode. Closely spaced vertical lines are visible (arrow).

зации сильно варьирует (19–93%), поскольку точное обнаружение камней в значительной степени зависит от навыков оператора и типа камней [2]. Артефакт мерцания позволяет выявить 43–96% камней в почках [3–13] и может помочь отличить камни в почках от окружающих тканей (рис. 1). Это обстоятельство указывает на важность изучения и использования АМ для улучшения алгоритмов ультразвуковой визуализации конкрементов.

Материал и методы

В электронных базах данных (PubMed, E-library, Web of Science) был проведен поиск опубликованных исследований по ключевым словам “twinkling artifact”, “мерцающий артефакт”, “артефакт мерцания”. Систематизирована и проанализирована имеющаяся научная литература, посвященная доплеровскому АМ с момента первых публикаций о его существовании.

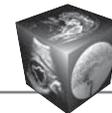
Результаты

1. Первые исследования особенностей возникновения артефакта мерцания

Специалисты ультразвуковой диагностики обратили внимание на АМ в середине 1990-х годов. Первое сообщение о нем было сделано в 1996 г. А. Rahmouni и соавт. [14]. Мы также опубликовали в 1997 г. статью о выявлении своеобразного доплерографического артефакта – значительного окрашивания ультразвукового изображения в области камней предстательной железы, характеризующегося в импульсном режиме резким высоким звуком [15]. При этом, как и в исследовании А. Rahmouni и соавт. [14], артефакт был обнаружен при трансректальном исследовании предстательной железы.

В последующие несколько лет появилось еще несколько публикаций, которые сообщали о различных особенностях проявления АМ. Было показано, что артефакт возникает при ультразвуковом исследовании (УЗИ) в присутствии сильно отражающих рассеивателей, таких как почечные камни [3, 4, 16] и стенты [17–19]. Было отмечено, что АМ проявляется по-разному в зависимости от морфологии почечных камней [16]. Выяснилось, что интенсивность мерцания повышается с ростом акустической мощности сканера [4].

На начальном этапе исследования АМ первым автором настоящего обзора и его коллегами выполнен ряд исследований этого явления. В 2002 г. совместно с Б.И. Зыкиным была опубликована статья по результатам экспериментального изучения АМ, в которой это явление было



названо эффектом резонанса микроконкрементов. Были охарактеризованы основные свойства артефакта и описано влияние на его возникновение отдельных параметров ультразвукового сканера [20]. В дальнейшем совместно с С.Ю. Кубовой было проведено обширное исследование, направленное на изучение возможностей получения дополнительной диагностической информации на основе выявления АМ [21, 22]. При этом удалось зафиксировать возникновение АМ в конкрементах и внутритканевых кальцинатах различных органов: мочевых путях, в паренхиме почек, желчном пузыре, общем желчном протоке, поджелудочной, молочной и щитовидной железах, в артериальных сосудах, в инородных телах мягких тканей. Продолжая экспериментальную часть работы, была определена зависимость интенсивности АМ от параметров ультразвукового сканирования: уровня мощности на передаче, усиления на приеме, величины доплеровской шкалы (частоты повторения импульсов). Результаты исследования показали эффективность учета наличия артефакта для диагностики мочевых камней, а также представили обнадеживающие данные о возможности использования мерцающего артефакта для диагностики холедохолитиаза, кальцинатов молочных желез, кальцинации атеросклеротических бляшек. Было показано повышение эффективности диагностики нефролитиаза при наличии АМ с увеличением чувствительности метода с 84 до 94%.

Аналогичные работы по изучению диагностических возможностей и особенностей возникновения АМ проводились и другими исследователями. В работах [23–26] отмечено, что АМ усиливается с ростом степени шероховатости поверхности твердотельного рассеивателя. Показано, что возможность обнаружения почечных камней на основе АМ имеет преимущество по сравнению с методом наблюдения акустической тени [27]. В то же время отмечено, что использование АМ для обнаружения почечных камней может дать большой процент ложноположительных случаев [8, 28].

2. Исследования физических механизмов возникновения артефакта мерцания

Безусловно, каждый специалист, впервые столкнувшийся с АМ, задавался вопросом о его физической природе. Из-за того, что современные коммерческие ультразвуковые сканеры являются закрытыми системами, которые не позволяют пользователям анализировать необработанные эхосигналы и регулировать выходные параметры желаемым образом, исследования первопричин АМ поначалу было весьма ограниченными.

Для понимания причин возникновения артефакта необходимо иметь в виду принцип измерения скорости рассеивателей, используемый в современных ультразвуковых доплеровских системах. Хотя детали обработки сигнала могут немного различаться у разных производителей ультразвуковых сканеров, суть импульсного доплеровского алгоритма одинакова. От ультразвукового датчика в зону визуализации посылаются периодическая последовательность из 10–20 одинаковых ультразвуковых импульсов (“доплеровский ансамбль”). Период повторения импульсов является жестко заданным. В результате рассеяния на неоднородностях среды на датчик возвращается соответствующая последовательность эхоимпульсов. Если среда неподвижна, то все эти импульсы абсолютно идентичны и следуют друг за другом с тем же периодом следования, что и исходные зондирующие импульсы. Алгоритм обработки в этом случае выдает нулевую скорость. Если среда движется, то период следования эхоимпульсов изменяется, так как за время между импульсами рассеиватели пространственно смещаются и, таким образом, возникает дополнительная временная задержка. Эта задержка измеряется, и ее отношение к периоду следования импульсов используется для оценки скорости рассеивателей вдоль направления акустического луча. Алгоритм, таким образом, основан на предположении, что форма импульсов в доплеровском ансамбле остается неизменной, изменяется лишь время задержки между ними. Однако по тем или иным причинам может возникнуть ситуация, когда для разных зондирующих импульсов из доплеровского ансамбля соответствующие эхосигналы не смещаются во времени, а несколько изменяют свою форму. Алгоритм вычисления скорости интерпретирует такие колебания формы, как случайный сдвиг во времени, и присваивает соответствующим точкам изображения некоторую скорость. Если колебания формы сигналов нерегулярны, то указанная кажущаяся скорость изменяется хаотично, что проявляется в виде мерцания на доплеровском изображении.

Эхоимпульсы в доплеровском ансамбле могут быть неодинаковыми по двум причинам. Первая причина касается акустических процессов, сопровождающих процесс ультразвукового зондирования. Второй причиной флуктуаций эхосигналов может быть нерегулярность электронного тракта ультразвукового сканера. В ранних публикациях по АМ обсуждались обе возможности. Так, в первой публикации по АМ авторы предположили, что причиной артефакта может быть случайное рассеяние ультразвукового сигнала от шероховатой по-

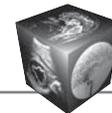


верхности конкремента [14]. Позже было высказано предположение, что причиной АМ является дрожание фазы импульсов доплеровского ансамбля, вызванное небольшими колебаниями синхронизации времени ультразвуковых аппаратов (clock jitter), которые могут усиливаться шероховатыми поверхностями [23]. Оба эти механизма не нашли подтверждения в более поздних исследованиях. В частности, с помощью ультразвукового сканера с открытой архитектурой было экспериментально показано, что электронный приемный тракт не вызывает фазовых флуктуаций, которые могли бы привести к АМ [29]. Нами была рассмотрена другая возможность – истинное (не кажущееся) движение камня под действием акустической радиационной силы, возникающей при падении на камень доплеровских импульсов [30–32]. На основе подходов, развитых в исследованиях по литотрипсии [33, 34], было проведено численное моделирование процесса акустического рассеяния, рассчитана акустическая радиационная сила и оценена скорость движения камня при падении на него доплеровского ансамбля. Проведенный анализ показал, что радиационная сила в принципе может привести к движению камня и вызвать заметный доплеровский сдвиг, но только для камней размером менее миллиметра. Тем самым было показано, что возникновение радиационной силы нельзя рассматривать в качестве основного механизма для объяснения мерцания изображений крупных камней. Отметим, что в недавних экспериментальных работах Д.В. Леонова и соавт. был сделан вывод о том, что механизм радиационного силового воздействия на малые твердотельные рассеиватели действительно может приводить к появлению АМ [35, 36].

В цикле исследований [29, 37, 38] был выявлен основной, на наш взгляд, физический механизм возникновения АМ. Показано, что причиной колебаний формы доплеровских ультразвуковых импульсов, отраженных от камня, является акустическая активация пузырьков газа микронного и субмикронного размера, расположенных в неровностях поверхности камня. Механизм стабилизации пузырьков газа в микроскопических щелях на поверхности твердых частиц известен давно [39]. Изображения поверхности почечных камней, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа, убедительно демонстрируют наличие неровностей, расщелин и пор микронного и субмикронного размера [40, 41]. Таких образований особенно много в случае шероховатой поверхности. Это дает основание полагать, что на

поверхности камней присутствуют устойчивые пузырьки газа микронных и субмикронных размеров. Из-за небольшого размера они не видны невооруженным глазом и в обычных условиях никак себя не проявляют. При попадании импульсов доплеровского ансамбля на камень амплитуда акустического давления может составлять от долей до единиц мегапаскалей. Такие существенные колебания давления приводят к активизации этих пузырьков. Они выходят из щелей в приповерхностное пространство, увеличиваются в размере и начинают играть активную роль в акустическом рассеянии. Поскольку описанные изменения происходят в процессе зондирования камня доплеровским ансамблем, т.е. последовательно из нескольких импульсов, разные импульсы ансамбля отражаются от поверхности камня по-разному, в итоге форма эхоимпульсов оказывается нестабильной. Это приводит к появлению доплеровского сигнала, который проявляется на ультразвуковом изображении в виде мерцающего пятна.

Первые экспериментальные доказательства роли поверхностных пузырьков в возникновении АМ были выполнены путем помещения исследуемых камней в камеру повышенного статического давления. Было показано, что наблюдаемый при нормальном давлении АМ пропадал при повышении статического давления выше уровня, соответствующего отрицательному давлению фазы разрежения в доплеровском импульсе. Поскольку ничто, кроме пузырей, не могло так “выключаться” при повышении статического давления, то пузырьковый механизм возникновения АМ был доказан [29, 37]. Чтобы получить дополнительные аргументы в пользу пузырькового механизма и убедить скептиков [42], в работе [43] использовались длинные импульсы разрежения, генерируемые литотриптером, для увеличения пузырьков для их непосредственной оптической регистрации с помощью высокоскоростной видеокамеры. Было отчетливо продемонстрировано, что в процессе облучения камня импульсами литотриптера на поверхности вырастали пузырьки миллиметрового размера. Описанные выше исследования физических механизмов АМ проводились с почечными камнями *in vitro*. Чтобы проверить справедливость полученных выводов о пузырьковом механизме возникновения АМ *in vivo*, были проведены исследования на людях с использованием гипербарической барокамеры [44]. Результаты показали, что увеличение статического давления на 3 атм заметно снижает степень проявления АМ.



3. Изучение влияния параметров ультразвукового сканера на возникновение АМ и выработанные рекомендации для его максимального проявления

Большое количество работ посвящено изучению влияния параметров ультразвукового сканера на возникновение АМ и разработке рекомендаций для его максимального проявления. Было отмечено влияние следующих параметров:

- Мощность передатчика. Безусловно, увеличение мощности акустического излучения и амплитуды звуковых колебаний приводит к усилению кавитации (активизации микропузырьков) и усилению АМ. Поэтому рекомендуется устанавливать максимально допустимую прибором мощность [21, 45, 46].

- Фокусное расстояние. Интенсивность ультразвука максимальна в фокусе, поэтому фокальная зона должна быть установлена на глубине расположения изучаемого объекта [47].

- Усиление ЦДК (С-gain) хотя непосредственно не влияет на возникновение АМ, правильный подбор шкалы позволит убрать с экрана отображение шума [21, 48].

- Межкадровое усреднение и сглаживание (frame averaging и smoothing). Высокие значения этих показателей подавляют отображение цветового шума, при этом могут подавлять и мерцание [36].

- Приоритет тканей (color-write priority) – специальная программная настройка, подавляющая цветовое окрашивание в доплеровском режиме в области гиперэхогенных структур. Таким образом, низкие значения данного показателя могут подавлять и отображение АМ [47, 49].

- Усиление в В-режиме (В-gain) напрямую не влияет на возникновение АМ, однако снижение яркости изображения помогает уменьшить подавление АМ [47, 48].

- Частота повторения импульсов (PRF). Сведения о влиянии данного параметра на возникновение АМ разноречивы. J.H. Yang и соавт. показали уменьшение артефакта при увеличении PRF [50]. Наоборот, в более поздней работе R. Vacha и соавт. отмечается отсутствие зависимости АМ от PRF [51]. В наших исследованиях также не отмечалось уменьшения интенсивности отображения АМ при увеличении значений PRF, но при этом подавление отображения кровотока заметно повышалось возможности случайного его обнаружения [21, 22].

- Рабочая частота цветового доплера. Отмечено существенное влияние данного показателя на интенсивность АМ, а именно его усиление при снижении несущей частоты [52, 53].

- Фильтр колебаний стенок сосудов (wall filter). Данная настройка позволяет снизить такие нежелательные явления, как артефакт вспышки, дрожание и blooming. Для более четкого отображения артефакта рекомендуется задавать максимальные значения этого параметра [48].

- Чувствительность (sensitivity). Этот параметр позволяет менять число импульсов зондирования в доплеровском ансамбле, что сопровождается снижением частоты кадров и увеличением интенсивности АМ [48].

- Размер цветового окна (color box). Уменьшение ширины окна ЦДК увеличивает величину энергии, поглощаемой изучаемым объектом, что приводит к усилению АМ. Высота окна на это не влияет [48].

- Рабочая частота датчика (carrier frequency) также определяет характер возникновения кавитации, поэтому ее снижение также повышает интенсивность АМ [48].

Таким образом, целый спектр параметров ультразвукового сканера влияет на возникновение АМ, и правильная их настройка помогает получить большую его интенсивность.

4. Определение возможностей использования артефакта мерцания для повышения эффективности выявления конкрементов и внутритканевых кальцинатов различных органов

За истекшие годы было опубликовано большое количество научных статей, представляющих специальные исследования, направленные на определение возможностей использования АМ для повышения эффективности выявления конкрементов и внутритканевых кальцинатов различных органов. Совершенно естественно, большинство из них посвящены диагностике мочевых камней [4, 7, 13, 27, 54–58, 88]. Исследования констатировали эффективность использования АМ для диагностики конкрементов верхних мочевых путей. S.J. Park и соавт. зафиксировали АМ у 86% больных с конкрементами мочеточников [7]. W. Chan и M.B. Stone показали эффективность выявления АМ для диагностики камней в интрамуральном отделе мочеточника [58]. Показано, что АМ имеет большее значение для диагностики мочевых камней, чем симптом акустической тени. Сопоставление результатов ультразвуковых доплеровских исследований с данными бесконтрастной КТ позволило многим исследователям определить показатели эффективности выявления АМ для диагностики нефролитиаза. Так, АМ был выявлен у 86,8% пациентов, у которых он был зафиксирован при бесконтрастной КТ [59].

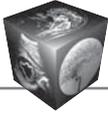


Таблица. Показатели диагностической информативности АМ для диагностики нефролитиаза
Table. Diagnostic efficiency of twinkling artifact for the diagnosis of nephrolithiasis

Автор	Se	Sp	Ac (точность)	PPV	NPV
Кубова С.Ю. / Kubova S.Yu., 2004 [21]	94,0%				
Gluga M.L. et al., 2017 [61]	99,12%	90,91%,		99,12%	90,91%
Salmashiođlu A. et al., 2018 [46]	75,1%			95,9%.	
Vacha R. et al., 2019 [62]	100,0%	97,4%			
Al Saiady M. et al., 2021 [63]	89,7%			86,7%.	
Yavuz A. et al., 2015 [64]	85,8%			94,9%	
Masch W.R. et al., 2016 [12]	78%	40%			
Hanafi M.Q. et al., 2019 [65]	94%		94%	100%	
Laher A.E. et al., 2020 [66]	88,16%,	79,22%			
Liu N. et al., 2020 [60]	96,98%	90,39%		99,77%	41,23%
Dillman J.R. et al., 2011 [8]	55%,			78%,	
Kielar A.Z. et al., 2012 [9]	83%			94%	

Исследование, проведенное N. Liu и соавт. на 2268 больных с почечной коликой, показало, что АМ имел чувствительность (Se) 96,98%, специфичность (Sp) 90,39%, положительную прогностическую ценность (PPV) 99,77% и отрицательную прогностическую ценность (NPV) 41,23%. Показатели серошкальной эхографии составили Se 96,39%, Sp 80,77%, PPV 99,53% и NPV 34,43%. КТ имела Se 99,59%, Sp 94,23%, PPV 99,86% и NPV 84,48%. Площадь под кривой составила 0,925 для АМ, 0,863 для В-УЗИ и 0,963 для КТ [60].

Данные о показателях диагностической информативности АМ, которые мы нашли в 12 источниках, представлены в таблице.

Представленные данные свидетельствуют о высокой эффективности выявления АМ для диагностики мочевых камней. Практически все исследователи пришли к мнению, что оценка АМ является дополнительным подспорьем к стандартной картине конкрементов в В-режиме и повышает возможности выявления конкрементов при мочекаменной болезни. Более того, M. Korkmaz и соавт. показали, что ультразвуковые признаки в совокупности с АМ позволяют получить результаты, сопоставимые с КТ [11]. Заметная разница в показателях информативности обусловлена различными подходами к проведению исследования и разницей в клиническом материале. Так, например, для пациентов, у которых АМ был обнаружен изолированно (без клинических проявлений, без других ультразвуковых признаков), чувствительность составила 0,78, специфичность 0,4, то есть число ложноположительных результатов составило 60% [12]. В качестве причин ложноположительных случаев выявления АМ отмечены нефрокальциноз и кальцификация сосудов [63]. Ряд ра-

бот основан на попытке учитывать интенсивность АМ для предположения о структуре конкремента и его химическом составе [67–70].

Попытки распространить диагностические возможности выявления АМ, которые доказаны на мочевых камнях, на конкременты других органов существовали все эти годы. Конечно, интерес представляли камни желчного пузыря. Исследовал 52 желчных камня *in vitro*, H.J. Kim и соавт. установили, что 77% камней дают АМ. Эффект зависел от структуры камня. Наибольшую интенсивность давали холестериновые камни с радиальной или радиально-концентрической структурой. Пигментные камни не вызывали АМ [71]. Ряд исследователей обратили внимание на АМ в отложениях холестерина в стенке желчного пузыря в синусах Рокитанского–Ашоффа при аденомиоматозе, который визуализировался чаще, чем “хвост кометы” в В-режиме [72–75].

Конечно, интерес исследователей не мог обойти изучение возможности использовать АМ для поиска микрокальцинатов, как предикторов рака молочной железы. Некоторые авторы представили наблюдения и даже исследования, основанные на небольшом материале, в которых указывали на возможность выявления с помощью АМ микрокальцинатов молочных желез [75–77]. Корейские ученые разработали методику многофокусного отображения АМ, суть которой заключалась в оптимизации некоторых показателей, в частности частоты передачи, количества фокусов и F-числа. Были получены данные о высокой эффективности использования АМ для выявления микрокальцинатов с целью их последующей пункции [78]. Мы также провели большое исследование в этом направлении. У 112 пациенток, у которых при



рентгеновской маммографии были выявлены кальцинаты молочных желез, была предпринята попытка обнаружить АМ при ультразвуковом сканировании в уже известной области. Было отмечено, что АМ регистрировался только в 8,9% случаев наличия кальцинатов в молочных железах. Возможность регистрации микрокальцинатов молочной железы (менее 1 мм), являющихся предикторами рака молочной железы, оказалась крайне ограниченной, удалось зафиксировать микрокальцинаты только в 1,5%. На основании полученных данных был сделан вывод, что использовать мерцающий артефакт для поиска микрокальцинатов и тем более использовать его в скрининге рака молочной железы нецелесообразно [79].

Отдельные исследования посвящены выявлению АМ в кальцинированных образованиях печени [80]; кальцификатах поджелудочной железы при хроническом панкреатите [81]; конкрементах слюнных желез [82]; кальцинатах плевры при туберкулезном плеврите [83]; в микрокальцинатах яичка [84, 85]; в кальцинатах атеросклеротических бляшек [21]; в кальцинатах сердечных клапанов [86]; в периартикулярных кальцинатах после внутрисуставного введения кортикостероидов у больных ревматоидным артритом [87]. При этом

исследователи отмечают регистрацию АМ во всех этих случаях. В то же время нужно отметить, что крупных исследований, которые указали бы на возможности учета наличия АМ для диагностики заболеваний этих органов, не было.

5. Применение артефакта мерцания для диагностики мочевого камней и выявления некоторых видов желчных камней

В настоящее время имеется отчетливое понимание области применения АМ для получения дополнительной диагностической информации: пока можно говорить только о двух таких направлениях – для диагностики мочевого камней и выявления некоторых видов желчных камней.

Современные ультразвуковые сканеры, особенно те, в которых есть специальные настройки для выделения АМ, позволяют увидеть мерцание от камней почек, размеры которых составляют даже 1 мм. При этом встречаются ситуации, когда мелкие конкременты отчетливо выявляются при УЗИ на основании АМ и в то же время упускаются при КТ-исследовании и выявляются только при тщательной ревизии данных КТ (рис. 2). Накопленный опыт позволяет заключить, что при выявлении в почках гиперэхогенных структур, име-

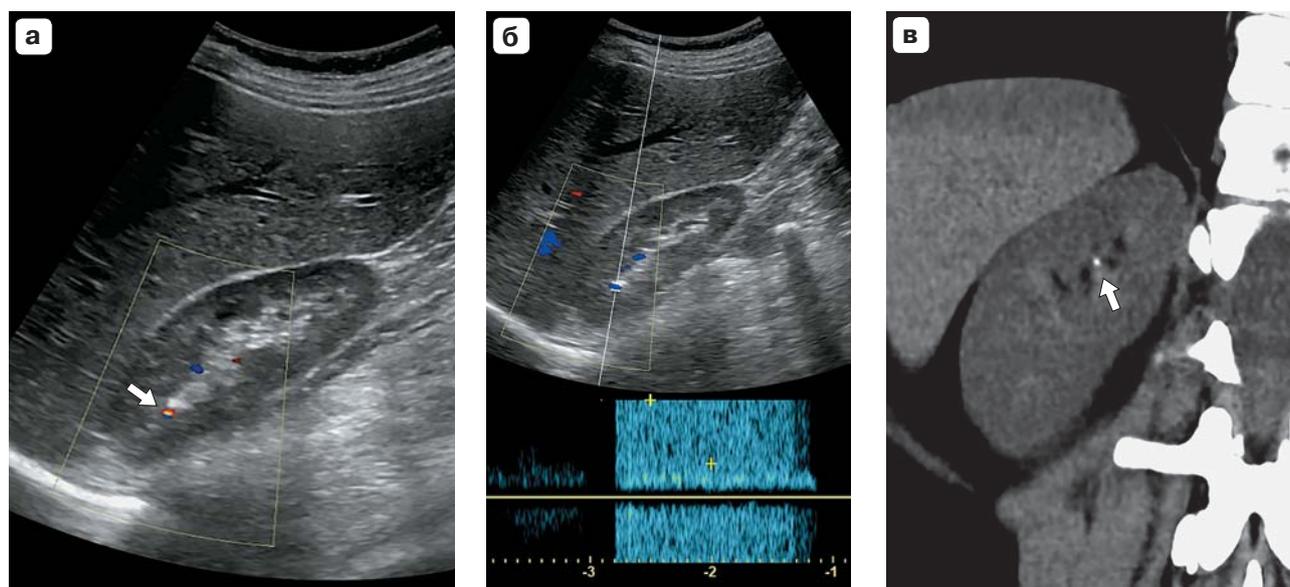


Рис. 2. Визуализация области почки. **а** – УЗИ в режиме цветового доплера. Наблюдается АМ в неуверительно выявляемой гиперэхогенной структуре в верхнем полюсе правой почки (стрелка); **б** – УЗИ в режиме спектрального доплера. Видны плотно расположенные вертикальные линии; **в** – КТ. В верхней чашке правой почки выявляется конкремент размером около 1 мм (стрелка).

Fig. 2. Visualization of the kidney area. **a** – Ultrasound imaging in Color Doppler mode. A twinkling artefact is observed in an inconclusively detectable hyperechoic structure in the upper pole of the right kidney (shown by an arrow); **б** – Ultrasound imaging in spectral Doppler mode. Closely spaced vertical lines are visible; **в** – CT image. In the upper cup of the right kidney, a calculus about 1 mm in size is revealed (shown by an arrow).

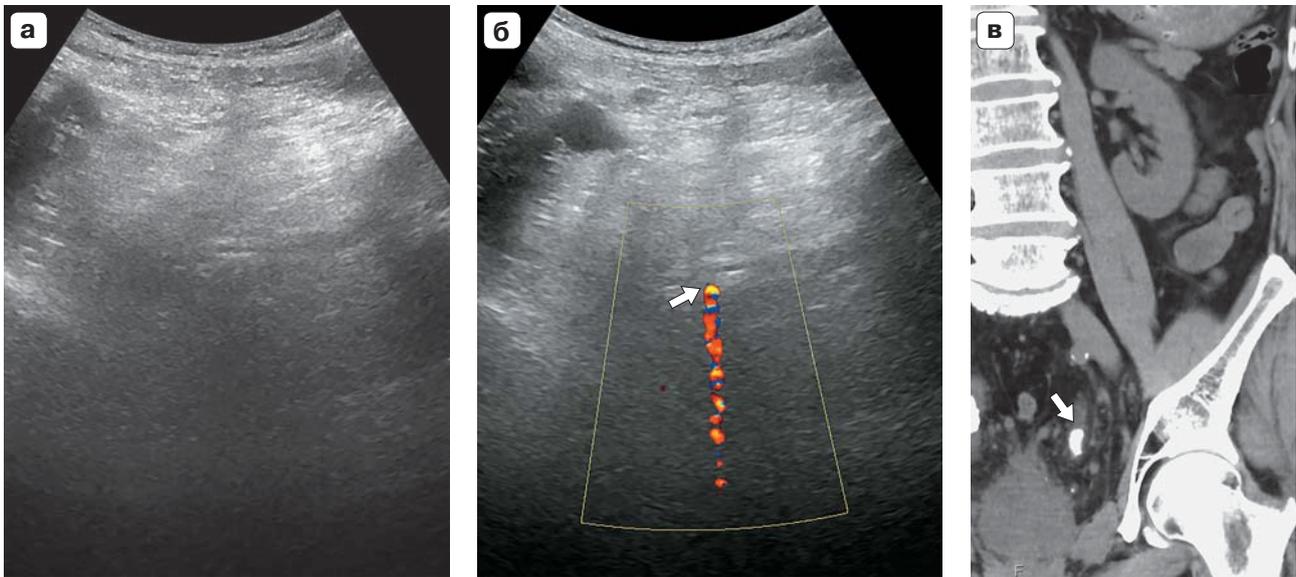
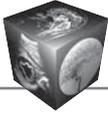


Рис. 3. Наблюдение забрюшинного пространства. **а** – УЗИ в В-режиме. Данных о наличии камня мочеточника не получено; **б** – режим цветового доплеровского сканирования. Виден отчетливый АМ (стрелка); **в** – компьютерная томограмма. В нижней трети мочеточника определяется конкремент (стрелка).

Fig. 3. Observation of the retroperitoneal space. **a** – Ultrasound imaging in B-mode. Data for the presence of a ureteral stone was not received; **б** – Color Doppler imaging mode. A distinct twinkling artefact is visible (shown by the arrow); **в** – CT imaging. In the lower third of the ureter, a calculus is determined (shown by an arrow).

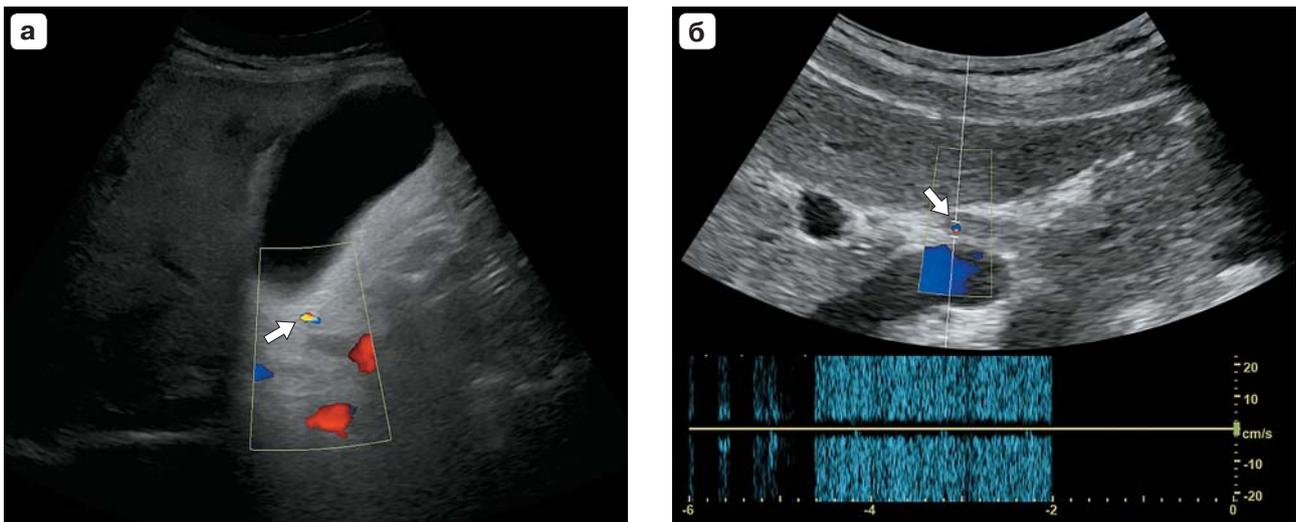
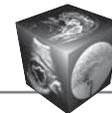


Рис. 4. Визуализация желчных камней (стрелки) при их различном расположении. Использован режим цветового доплеровского картирования. **а** – камень в шейке желчного пузыря, не видимый в В-режиме, диагностирован только благодаря проявлению АМ; **б** – аналогичное выявление камня в общем желчном протоке. Спектральный доплер отражает плотные вертикальные линии.

Fig. 4. Visualization of gallstones (shown by arrows) in their various locations. The color Doppler imaging mode was used. **a** – a gallstone in the neck of the gallbladder, not visible in the B-mode, is diagnosed only due to the manifestation of the twinkling artefact; **б** – similar detection of a stone in the common bile duct. Spectral Doppler reflects dense vertical lines.



ющих неубедительные признаки конкремента, возникновение АМ может быть однозначным доказательством наличия камня. Важно при этом, правда, отметить, что отсутствие АМ не может быть доказательством отсутствия конкремента.

Большую помощь выявление АМ может оказать в диагностике конкрементов мочеточника, когда в обычном режиме даже относительно крупные камни могут не визуализироваться (рис. 3).

Для выявления мочевого камня учет наличия АМ может быть использован в двух направлениях:

1. Первое свидетельство наличия конкремента, когда в доплеровском режиме обнаруживается АМ в месте расположения мочевых путей. Последующее целенаправленное УЗИ или выполнение КТ позволят убедиться в расположении в этом месте конкремента.

2. Доказательство того, что визуализируемая гиперэхогенная структура в почке или мочеточнике, не имеющая убедительных эхографических признаков конкремента в В-режиме, является таковым.

Изучение появления АМ в камнях желчного пузыря диагностического значения в большинстве случаев не имеет, так как камни, расположенные в полости пузыря, как правило, успешно выявляются на основе применения В-режима УЗИ. Более того, далеко не все желчные камни, не только пигментные, но и ряд холестериновых, АМ не формируют. Однако имеются диагностические ситуации, когда в В-режиме желчный камень не выявляется, но его изображение начинает мерцать при переходе в доплеровский режим. Во многих случаях этому способствует отложение на поверхности желчных камней солей кальция. Так, АМ иногда позволяет убедиться в наличии конкрементов в шейке желчного пузыря, а также во внепеченочных желчных протоках – обнаружение подобных конкрементов является определенной проблемой при обычном исследовании (рис. 4). Получение таких данных позволяет определить причину билиарной гипертензии.

6. Выбор настроек ультразвукового сканера для усиления артефакта мерцания

Впервые об АМ начали говорить еще в эпоху аналоговых ультразвуковых систем. С появлением цифровых аппаратов многие специалисты отметили заметное увеличение частоты выявления данного артефакта. Но нужно отметить, что в дальнейшем при использовании новых ультразвуковых систем АМ стал выявляться реже, что, очевидно, связано с активным внедрением программных си-

стем, подавляющих различные артефакты, в том числе доплерографические. Однако в последние годы появились приборы, в которых АМ не только не подавлен, но и специально выделяется с помощью имеющихся предустановок, которые в их перечне так и называются – “мерцание”. Они основаны на понимании, основанном на специально проведенных исследованиях, какие настройки ультразвукового сканера позволят получить АМ наибольшей интенсивности. Такие рекомендации можно кратко представить следующим образом:

1. Необходимо увеличить амплитуду падающих на изучаемый объект ультразвуковых импульсов и увеличить подводимую к объекту акустическую энергию. Для этого нужно сделать следующее:

- установить максимальные значения мощности передатчика;
- установить фокус на уровне объекта;
- уменьшить ширину цветового окна.

2. Необходимо понизить порог активизации газовых микропузырьков на поверхности конкрементов. Для этого нужно установить минимальные значения рабочей частоты датчика и рабочей частоты цветового доплера.

3. Необходимо уменьшить влияния настроек, направленных на подавление артефактов. Для этого нужно сделать следующее:

- установить высокие значения “приоритета тканей”;
- повысить значение фильтра колебания стенок сосудов;
- снизить значения межкадрового усреднения и сглаживания;
- снизить значения усиления В-режима и оптимизировать значения усиления ЦДК;
- отключить подавление вспышки.

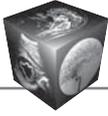
4. Необходимо уменьшить маскировку АМ отображением кровотока в сосудах, расположенных рядом с конкрементом. Для этого рекомендуется увеличить до максимальных значений частоту повторения сигнала (PRF).

Выполнение данных рекомендаций позволит зафиксировать АМ в тех случаях, когда он не отмечается при обычных настройках прибора, или увеличить его выраженность, когда он неубедителен.

Заключение

Отметим некоторые ограничения диагностических возможностей АМ, которые выяснились в процессе многолетних исследований.

Прежде всего необходимо отметить, что, согласно приведенным в этом обзоре данным, АМ проявляется в большинстве случаев, но не всегда (имеются ложноотрицательные случаи). Причины отсутствия АМ для некоторых конкре-



ментов не до конца поняты. Некоторые исследователи связывают это с химическим составом камней [16, 68], хотя надежды на получение на основе изучения АМ дополнительных диагностических признаков, таких как морфология и химический состав конкремента, пока не оправдались. Другой причиной является опыт оператора и влияние настроек ультразвукового сканера (см. выше). Если исходить из объяснения АМ активностью приповерхностных газовых пузырьков, то еще одной причиной может быть состояние поверхности камня и наличие контакта поверхности с жидкостью, где динамика и рост пузырьков облегчены по сравнению с мягкой тканью. Интересным в этом смысле является наблюдение G. Sharma и A. Sharma, которые обнаружили связь АМ с уровнем болевых ощущений пациентов, страдающих от мочекаменной болезни: отсутствие мерцания было связано со значительной болью или недавним эпизодом колики; у пациентов, не испытывающих болей, АМ проявлялся с большей вероятностью [88]. Болевые ощущения, очевидно, могут возникнуть лишь при наличии контакта конкремента с мягкой тканью, в то время как свободный камень в почке окружен жидкостью, которая благоприятствует активности микропузырьков.

АМ может возникнуть на изображении органа даже в отсутствие конкрементов (ложноположительные случаи). Такие случаи можно объяснить, в частности, тем, что микропузырьки могут рождаться и в отсутствие камней, хотя соответствующие пороги активизации пузырьков гораздо выше [89]. Нестационарное рассеяние импульсов доплеровского ансамбля при наличии гиперэхогенных неоднородностей в ткани может быть обусловлено и обсужденным выше эффектом радиационной силы, хотя однозначная связь этого явления с АМ не очевидна и требует отдельного исследования.

Важным выводом является то, что АМ является чрезвычайно полезным ультразвуковым доплеровским признаком, обнаружение которого оказывает большую помощь в диагностике нефро- и уретеролитиаза, в меньшей степени – в обнаружении камней желчных протоков. Анализ публикаций и наш собственный опыт показывают, что использовать оценку АМ для диагностики конкрементов в внутритканевых кальцинатах других органов практически бесперспективно. Визуализация АМ в кальцинатах щитовидной железы, атеросклеротических бляшек, мягких тканей не дает дополнительных диагностических признаков к информации, полученной при обычном серо-

шкальном сканировании. К сожалению, не оправдались надежды на возможность использования АМ для поиска микрокальцинатов молочной железы, наличие которых является предиктором рака молочной железы.

Следует отметить, что в результате многолетних исследований мерцающего артефакта это необычное явление в некотором смысле переродилось, превратившись из мешающего артефакта, искажающего диагностическую информацию, в полезный эффект. В настоящее время обнаружение АМ стало самостоятельным диагностическим методом для повышения эффективности ультразвуковой диагностики твердых включений. Прогресс в понимании механизмов и практического использования АМ произошел благодаря совместным усилиям диагностов, физиков и инженеров. Исследования, проведенные в разных странах, позволили выявить основные признаки этого явления, узнать, как усилить его проявление и использовать в медицинской практике. Изучение АМ продолжается, и нет сомнений, что в ближайшие годы его возможности будут раскрыты в еще большей степени.

Благодарности

Написание обзора частично поддержано грантом РФФИ № 20-02-00139.

Thanks

The review was partially supported by RFBR grant No. 20-02-00139.

Участие авторов

Громов А.И. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Сапожников О.А. – обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Каприн А.Д. – подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Gromov A.I. – responsibility for the integrity of all parts of the article, review of publications writing text, concept and design of the study.

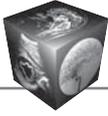
Sapozhnikov O.A. – review of publications, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Kaprin A.D. – text preparation and editing, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

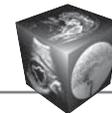


Список литературы [References]

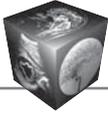
- Smith R.C., Varanelli M. Diagnosis and management of acute ureterolithiasis: CT is truth. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 175 (1): 3–6. <http://doi.org/10.2214/ajr.175.1.1750003>
- Sorensen M.D., Harper J.D., Hsi R.S. et al. B-mode ultrasound versus color Doppler twinkling artifact in detecting kidney stones. *J. Endourol.* 2013; 27 (2): 149–153. <http://doi.org/10.1089/end.2012.0430>
- Aytaç S.K., Özcan H. Effect of color Doppler system on the twinkling sign associated with urinary tract calculi. *J. Clin. Ultrasound.* 1999; 27 (8): 433–439. [http://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0096\(199910\)27:8<433::aid-jcu4>3.0.co;2-1](http://doi.org/10.1002/(sici)1097-0096(199910)27:8<433::aid-jcu4>3.0.co;2-1)
- Lee J.Y., Kim S.H., Cho J.Y., Han D. Color and power Doppler twinkling artifacts from urinary stones: clinical observations and phantom studies. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176 (6): 1441–1445. <http://doi.org/10.2214/ajr.176.6.1761441>
- Громов А.И., Зыкин Б.И., Кубова С.Ю., Сытник К.А. Тканевая доплерография. II. Диагностика камней дистального отдела мочеточника. *Эхография.* 2003; 4 (4): 376–382. Gromov A.I., Zykin B.I., Kubova S.Yu., Sytnik K.A. Tissue dopplerography. II. Diagnosis of stones in the distal ureter. *Echography.* 2003; 2 (4): 376–382. (In Russian)
- Turrin A., Minola P., Costa F. et al. Diagnostic value of colour Doppler twinkling artefact in sites negative for stones on B mode renal sonography. *Urol. Res.* 2007; 35 (6): 313–317. <http://doi.org/10.1007/s00240-007-0110-8>
- Park S.J., Yi B. H., Lee H.K. et al. Evaluation of patients with suspected ureteral calculi using sonography as an initial diagnostic tool: how can we improve diagnostic accuracy? *J. Ultrasound Med.* 2008; 27 (10): 1441–1450. <http://doi.org/10.7863/jum.2008.27.10.1441>
- Dillman J.R., Kappil M., Weadock W.J. et al. Sonographic twinkling artifact for renal calculus detection: correlation with CT. *Radiology.* 2011; 259 (3): 911–916. <http://doi.org/10.1148/radiol.11102128>
- Kielar A.Z., Shabana W., Vakili M., Rubin J. Prospective evaluation of Doppler sonography to detect the twinkling artifact versus unenhanced computed tomography for identifying urinary tract calculi. *J. Ultrasound Med.* 2012; 31 (10): 1619–1625. <http://doi.org/10.7863/jum.2012.31.10.1619>
- Winkel R.R., Kalhauge A., Fredfeldt K.E. The usefulness of ultrasound colour-Doppler twinkling artefact for detecting urolithiasis compared with low dose nonenhanced computerized tomography. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (7): 1180–1187. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.03.003>
- Korkmaz M., Aras B., Şanal B. et al. Investigating the clinical significance of twinkling artifacts in patients with urolithiasis smaller than 5 mm. *Jpn. J. Radiol.* 2014; 32 (8): 482–486. <http://doi.org/10.1007/s11604-014-0337-6>
- Masch W.R., Cohan R.H., Ellis J.H. et al. Clinical effectiveness of prospectively reported sonographic twinkling artifact for the diagnosis of renal calculus in patients without known urolithiasis. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 206 (2): 326–331. <http://doi.org/10.2214/AJR.15.14998>
- Wood B.G., Urban M.W. Detecting kidney stones using twinkling artifacts: Survey of kidney stones with varying composition and size. *Ultrasound Med. Biol.* 46 (1): 156–166. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.09.008>
- Rahmouni A., Bargoin R., Herment A. et al. Color Doppler twinkling artifact in hyperechoic regions. *Radiology.* 1996; 199 (1): 269–271. <http://doi.org/10.1148/radiology.199.1.8633158>
- Васильев А.Ю., Громов А.И. Цветовое доплеровское картирование с использованием энергетического доплера в оценке патологии предстательной железы. *Военно медицинский журнал.* 1997; 318 (4): 33–37. Vasiliev A.Yu., Gromov A.I. Color Doppler mapping using power Doppler in the assessment of prostate pathology. *Military Medical Journal.* 1997; 318 (4): 33–37. (In Russian)
- Chelfouh N., Grenier N., Higuieret D. et al. Characterization of urinary calculi: in vitro study of “twinkling artifact” revealed by color-flow sonography. *Am. J. Roentgenol.* 1998; 171 (4): 1055–1060. <http://doi.org/10.2214/ajr.171.4.9762996>
- Khan H.G., Gailloud P., Martin J.B. et al. Twinkling artifact on intracerebral color Doppler sonography. *Am. J. Neuroradiol.* 1999; 20 (2): 246–247.
- Trillaud H., Pariente J. L., Rabie A., Grenier N. Detection of encrusted indwelling ureteral stents using a twinkling artifact revealed on color Doppler sonography. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176 (6): 1446–1448. <http://doi.org/10.2214/ajr.176.6.1761446>
- Ustymowicz A., Krejza J., Mariak Z. Twinkling artifact in color Doppler imaging of the orbit. *J. Ultrasound Med.* 2002; 21 (5): 559–563. <http://doi.org/10.7863/jum.2002.21.5.559>
- Громов А.И., Зыкин Б.И. Тканевая доплерография. Регистрация с помощью цветовой доплерографии эффекта резонанса микроконкрементов, возникающего под воздействием ультразвуковой волны. *Эхография.* 2002; 3 (4): 348–353. Gromov A.I., Zykin B.I. Tissue dopplerography. Registration using color dopplerography of the effect of resonance of microcalculi, which occurs under the influence of an ultrasonic wave. *Echography.* 2002; 3 (4): 348–353. (In Russian)
- Кубова С.Ю. Значение доплеровского “мерцающего артефакта” для диагностики конкрементов и внутритканевых кальцинатов: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Обнинск, 2004. 22 с. Kubova S.Yu. The value of the Doppler “twinkling artifact” for the diagnosis of calculi and interstitial calcifications: Abstract of Cand. Med. Sci. Obninsk, 2004. 22 p. (In Russian)
- Громов А.И., Кубова С.Ю. Ультразвуковые артефакты. М.: Видар-М, 2007. 64 с. Gromov A.I., Kubova S.Yu. Ultrasonic artifacts. M.: Vidar-M, 2007. 64 p. (In Russian)
- Kamaya A., Tuthill T., Rubin J.M. Twinkling artifact on color Doppler sonography: dependence on machine parameters and underlying cause. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 180 (1): 215–222. <http://doi.org/10.2214/ajr.180.1.1800215>
- Лелюк В.Г., Лелюк С.Э., Карпочев М.В. Доплеровский “twinkling”-артефакт в эксперименте и практике. *Эхография.* 2003; 4 (1): 74–83. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E., Karpochev M.V. Doppler “twinkling” artifact in experiment and practice. *Echography.* 2003; 4 (1): 74–83. (In Russian)
- Alan C., Koçoğlu H., Kosar S. et al. Role of twinkling artifact in characterization of urinary calculi. *Actas Urol.*



- Esp. (English Edition)*. 2011; 35 (7): 396–402. <http://doi.org/10.1016/j.acuro.2011.02.006>
26. Jamzad A., Setarehdan S.K. A novel approach for quantification and analysis of the color Doppler twinkling artifact with application in noninvasive surface roughness characterization: an in vitro phantom study. *J. Ultrasound Med.* 2014; 33 (4): 597–610. <http://doi.org/10.7863/ultra.33.4.597>
 27. Shabana W., Bude R.O., Rubin J.M. Comparison between color Doppler twinkling artifact and acoustic shadowing for renal calculus detection: an in vitro study. *Ultrasound Med. Biol.* 2009; 35 (2): 339–350. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.023>
 28. Verhagen M.V., Watson T.A., Hickson M. et al. Acoustic shadowing in pediatric kidney stone ultrasound: a retrospective study with non-enhanced computed tomography as reference standard. *Pediatr. Radiol.* 2019; 49 (6): 777–783. <http://doi.org/10.1007/s00247-019-04372-x>
 29. Lu W., Sapozhnikov O.A., Bailey M.R. et al. Evidence for trapped surface bubbles as the cause for the twinkling artifact in ultrasound imaging. *Ultrasound Med. Biol.* 2013; 39 (6): 1026–1038. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.01.011>
 30. Sapozhnikov O.A., Trusov L.A., Gromov A.I. et al. Radiation force imparted on a kidney stone by a Doppler-mode diagnostic pulse. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006; 120 (5, Pt. 2): 3109. <https://doi.org/10.1121/1.4787586>
 31. Sapozhnikov O.A., Owen N.R., Bailey M.R. et al. Use of scattering of ultrasound pulses and shock waves by kidney stones for imaging in lithotripsy. In: Proceedings of the 14th International Congress on Sound and Vibration. 2007; ICSV 2007: 229–236.
 32. Gromov A.I., Kubova S.Y., Kapustin V.V. et al. Visualization of acoustic currents in liquid accumulations under ultrasound investigation. *Eur. Radiol. (ECR 2007), Book of Abstracts*. 17 Suppl. 1 (February 2007): 497.
 33. Sapozhnikov O.A., Maxwell A.D., MacConaghy B., Bailey M.R. A mechanistic analysis of stone fracture in lithotripsy. *J. Acoust. Soc. Am.* 2007; 112 (2): 1190–1202. <http://doi.org/10.1121/1.2404894>
 34. Sapozhnikov O.A., Bailey M.R. Radiation force of an arbitrary acoustic beam on an elastic sphere in a fluid. *J. Acoust. Soc. Am.* 2013; 133 (2): 661–676. <http://doi.org/10.1121/1.4773924>
 35. Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Громов А.И., Морозов С.П., Ким С.Ю. Исследование причин возникновения мерцающего артефакта в доплеровских режимах ультразвукового медицинского диагностического устройства. *Акустический журнал*. 2018; 64 (1): 100–111. Leonov D.V., Kulberg N.S., Gromov A.I., Morozov S.P., Kim S.Yu. Investigation of the causes of the twinkling artifact in the Doppler modes of an ultrasound medical diagnostic device. *Akusticheskij Zhurnal*. 2018; 64 (1): 100–111. (In Russian)
 36. Кульберг Н.С., Громов А.И., Леонов Д.В., Осипов Л.В., Усанов М.С., Морозов С.П. Диагностический режим обнаружения кальциатов и конкрементов при ультразвуковом исследовании. *Радиология-практика*. 2018; 1 (67): 37–49. Kulberg N.S., Gromov A.I., Leonov D.V., Osipov L.V., Usanov M.S., Morozov S.P. Diagnostic mode for the detection of calcifications and calculi during ultrasound examination. *Radiology-practice*. 2018; 1 (67): 37–49. (In Russian)
 37. Sapozhnikov O., Lu W., Bailey M.R. et al. Bubbles trapped on the surface of kidney stones as a cause of the twinkling artifact in ultrasound imaging. *Proceedings Meet. Acoust.* 2013; 19 (1): 075033. <http://doi.org/10.1121/1.4800292>
 38. Lu W., Sapozhnikov O., Hsi R. et al. Evidence for trapped surface micro-bubbles as the etiology of the twinkling artifact observed from ultrasound imaging of kidney stones. *J. Urol.* 2013; 189 (4S): e830–e831. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.01.011>
 39. Harvey E.N., Barnes D.K., McElroy W.D. et al. Bubble formation in animals. I. Physical factors. *J. Cellular Comparative Physiol.* 1944; 24 (1): 1–22. <https://doi.org/10.1002/jcp.1030240102>
 40. Sandersius S., Rez P. Morphology of crystals in calcium oxalate monohydrate kidney stones. *Urol. Res.* 2007; 35 (6): 287–293. <http://doi.org/10.1007/s00240-007-0115-3>
 41. Racek M., Racek J., Hupáková I. Scanning electron microscopy in analysis of urinary stones. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 2019; 79 (3): 208–217. <http://doi.org/10.1080/00365513.2019.1578995>
 42. Tanabe M., Naito Y., Nishimoto M., Liu L. Effect of pulse repetition frequency on microcalcification detection in color flow imaging. *Jap. J. App. Phys.* 2014; 53 (7S): 07KF15.
 43. Simon J.C., Sapozhnikov O.A., Kreider W. et al. The role of trapped bubbles in kidney stone detection with the color Doppler ultrasound twinkling artifact. *Phys. Med. Biol.* 2018; 63 (2): 025011. <http://doi.org/10.1088/1361-6560/aa9a2f>
 44. Simon J.C., Holm J.R., Thiel J. et al. Evidence of microbubbles on kidney stones in humans. *Ultrasound Med. Biol.* 2020; 46 (7): 1802–1807. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.02.010>
 45. Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Громов А.И., Морозов С.П., Владимирский А.В. Режим обнаружения твердых минеральных включений при медицинской акустической визуализации. *Акустический журнал*. 2018; 64 (5): 618–631. <http://doi.org/10.1134/S0320791918050064> Leonov D.V., Kulberg N.S., Gromov A.I., Morozov S.P., Vladzimirsky A.V. Mode of detection of solid mineral inclusions in medical acoustic imaging *Akusticheskij Zhurnal*. 2018; 64 (5): 618–631. <http://doi.org/10.1134/S0320791918050064> (In Russian)
 46. Salmashloğlu A., Bulakçı M., Bakır B. et al. The usefulness of agent emission imaging-high mechanical index ultrasound mode in the diagnosis of urolithiasis: a prospective preliminary study. *Diagn. Intervent. Radiol.* 2018; 24 (3): 169–174. <http://doi.org/10.5152/dir.2018.18005>
 47. Kim H.C., Yang D.M., Jin W. et al. Color Doppler twinkling artifacts in various conditions during abdominal and pelvic sonography. *J. Ultrasound Med.* 2010; 29 (4): 621–632. <http://doi.org/10.7863/jum.2010.29.4.621>
 48. Леонов Д.В. Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакта: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2018. 16 с. Leonov D.V. Ultrasound medical diagnostic system based on Doppler twinkling artifact: Abstract of Diss. Cand. Techn. Sci. M., 2018. 16 p. (In Russian)
 49. Tsao T.F., Kang R.J., Gueng M.K. et al. Color Doppler twinkling artifact and clinical use. *J. Med. Ultrasound.* 2009; 17 (3): 157–166. [https://doi.org/10.1016/S0929-6441\(09\)60122-3](https://doi.org/10.1016/S0929-6441(09)60122-3)
 50. Yang J.H., Kang G., Choi M.J. The role of the acoustic radiation force in color Doppler twinkling artifacts.



- Ultrasonography*. 2015; 34 (2): 109–114. <http://doi.org/10.14366/usg.14065>
51. Bacha R., Gilani S.A., Manzoor I. Relation of color Doppler twinkling artifact and scale or pulse repetition frequency. *J. Med. Ultrasound*. 2019; 27 (1): 13–18. http://doi.org/10.4103/JMU.JMU_129_18
 52. Gao J., Hentel K., Rubin J.M. Correlation between twinkling artifact and color Doppler carrier frequency: preliminary observations in renal calculi. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (9): 1534–1539. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.04.011>
 53. Rokni E., Zinck S., Simon J.C. Evaluation of stone features that cause the color Doppler ultrasound twinkling artifact. *Ultrasound Med. Biol.* 2021; 47 (5): 1310–1318. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.01.016>
 54. Davran R. The usefulness of color Doppler twinkling artifact in the diagnosis of urinary calculi. *Eur. J. Radiol.* 2009; 71 (2): 378. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.06.021>
 55. Granata A., Maccarrone R., Raspanti F.G. et al. Ultrasonography for diagnosis and management of nephrolithiasis: state of the art and new perspectives. *G. Ital. Nefrol.* 2020; 37 (Suppl. 75).
 56. Wang M., Ma Q., Chen Y. et al. Value of the color Doppler imaging mode in improving physicians' diagnostic performance in patients with mid-ureteric stones larger than 5 mm: a retrospective study. *Urolithiasis*. 2021; 49 (5): 463–469. <http://doi.org/10.1007/s00240-021-01250-w>
 57. Ng C., Tsung J.W. Avoiding computed tomography scans by using point-of-care ultrasound when evaluating suspected pediatric renal colic. *J. Emergenc. Med.* 2015; 49 (2): 165–171. <http://doi.org/10.1016/j.jemermed.2015.01.017>
 58. Chan W., Stone M.B. Male with fever and flank pain. *Ann. Emergenc. Med.* 2016; 67 (1): E1–E2. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2015.07.505>
 59. Sen V., Imamoglu C., Kucukurkmen I. et al. Can Doppler ultrasonography twinkling artifact be used as an alternative imaging modality to non-contrast-enhanced computed tomography in patients with ureteral stones? A prospective clinical study. *Urolithiasis*. 2017; 45 (2): 215–219. <http://doi.org/10.1007/s00240-016-0891-8>
 60. Liu N., Zhang Y., Shan K. et al. Sonographic twinkling artifact for diagnosis of acute ureteral calculus. *Wld J. Urol.* 2020; 38 (2): 489–495. <http://doi.org/10.1007/s00345-019-02773-z>
 61. Gliga M.L., Chirila C N., Podeanu D.M. et al. Twinkle, twinkle little stone: an artifact improves the ultrasound performance! *Med. Ultrasonography*. 2017; 19 (3): 272–275. <http://doi.org/10.11152/mu-984>
 62. Bacha R., Manzoor I., Gilani S.A., Khan A.I. Clinical significance of twinkling artifact in the diagnosis of urinary stones. *Ultrasound Med. Biol.* 2019; 45 (12): 3199–3206. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.08.015>
 63. Al Saiady M., Alqatie A., Almushayqih M. Twinkle artifact in renal ultrasound, is it a solid point for the diagnosis of renal stone in children? *J. Ultrasonography*. 2021; 21 (87): e282–e285. <http://doi.org/10.15557/JoU.2021.0048>
 64. Yavuz A., Ceken K., Alimoglu E., Kabaalioglu A. The reliability of color doppler “twinkling” artifact for diagnosing millimetrical nephrolithiasis: comparison with B-Mode US and CT scanning results. *J. Med. Ultrasonics*. 2015; 42 (2): 215–222. <http://doi.org/10.1007/s10396-014-0599-8>
 65. Hanafi M.Q., Fakhrizadeh A., Jaafaezadeh E. An investigation into the clinical accuracy of twinkling artifacts in patients with urolithiasis smaller than 5 mm in comparison with computed tomography scanning. *J. Family Med. Prim. Care*. 2019; 8 (2): 401–406. http://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_300_18
 66. Laher A.E., McDowall J., Gerber L. et al. The ultrasound ‘twinkling artefact’ in the diagnosis of urolithiasis: hocus or valuable point-of-care-ultrasound? A systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Emerg. Med.* 2020; 27 (1): 13–20. <http://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000601>
 67. Bulakçı M., Tefik T., Akbulut F. et al. The use of non-contrast computed tomography and color Doppler ultrasound in the characterization of urinary stones-preliminary results. *Turkish J. Urology*. 2015; 41 (4): 165–170. <http://doi.org/10.5152/tud.2015.91297>
 68. Hassani H., Raynal G., Spie R. et al. Imaging-based assessment of the mineral composition of urinary stones: an in vitro study of the combination of Hounsfield unit measurement in noncontrast helical computerized tomography and the twinkling artifact in color Doppler ultrasound. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (5): 803–810. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.01.009>
 69. Shang M., Sun X., Liu Q. et al. Quantitative evaluation of the effects of urinary stone composition and size on color Doppler twinkling artifact: A phantom study. *J. Ultrasound Med.* 2017; 36 (4): 733–740. <http://doi.org/10.7863/ultra.16.01039>
 70. Jamzad A., Setarehdan S.K. Noninvasive prediction of renal stone surface irregularities by numerical analysis of the color Doppler twinkling artifact: an ex vivo study. *J. Ultrasound Med.* 2018; 37 (5): 1211–1224. <http://doi.org/10.1002/jum.14465>
 71. Kim H.J., Lee J.Y., Jang J.Y. et al. Color Doppler twinkling artifacts from gallstones: in vitro analysis regarding their compositions and architectures. *Ultrasound Med. Biol.* 2010; 36 (12): 2117–2122. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.08.021>
 72. Yu M.H., Lee J.Y., Yoon J.H. et al. Color Doppler twinkling artifacts from gallbladder adenomyomatosis with 1.8 MHz and 4.0 MHz color Doppler frequencies. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (7): 1188–1194. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.03.010>
 73. Ghersin E., Soudack M., Gaitini, D. Twinkling artifact in gallbladder adenomyomatosis. *J. Ultrasound Med.* 2003; 22 (2): 229–231. <http://doi.org/10.7863/jum.2003.22.2.229>
 74. Hammad A.Y., Miura J.T., Turaga K.K. et al. A literature review of radiological findings to guide the diagnosis of gallbladder adenomyomatosis. *HPB*. 2016; 18 (2): 129–135. <http://doi.org/10.1016/j.hpb.2015.09.006>
 75. Ozan E., Atac G.K., and Gundogdu S. Twinkling artifact on color Doppler ultrasound: an advantage or a pitfall? *J. Med. Ultrasonics*. 2016; 43 (3): 361–371. <http://doi.org/10.1007/s10396-016-0715-z>
 76. Tsujimoto F. Microcalcifications in the breast detected by a color Doppler method using twinkling artifacts: some important discussions based on clinical cases and experiments with a new ultrasound modality called multidetector-ultrasonography (MD-US). *J. Med. Ultrasonics*. 2014; 41 (1): 99–108. <http://doi.org/10.1007/s10396-013-0476-x>
 77. Relea A., Alonso J.A., González M. et al. Usefulness of the twinkling artifact on Doppler ultrasound for the detection of breast microcalcifications. *Radiología*



- (English Edition). 2018; 60 (5): 413–423.
<http://doi.org/10.1016/j.rx.2018.04.004>
78. Kang J., Han K., Song I. et al. Real-time ultrasound detection of breast microcalcifications using multifocus twinkling artifact imaging. *IEEE Transact. Med. Imaging*. 2022; 41 (5): 1300–1308.
<http://doi.org/10.1109/TMI.2021.3136901>
79. Громов А.И., Комин Ю.А., Мозеров С.А., Красницкая С.К. Ультразвуковой мерцающий артефакт в дифференциальной диагностике кальцинатов молочных желез. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (3): 157–166. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1025>
Gromov A.I., Komin Yu.A., Mozerov S.A., Gromov A.I., Komin Yu.A., Mozerov S.A., Krasnickaya S.K. Twinkling artifact in differential diagnosis of mammary calcinates. *Medical Visualization*. 2021; 25 (3): 157–166.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1025> (In Russian)
80. Yanik B., Conkbayir I., Çakmakçi E. et al. Color Doppler twinkling artifact in a calcified liver mass. *J. Clin. Ultrasound*. 2005; 33 (9): 474–476. <http://doi.org/10.1002/jcu.20172>
81. Tsao T.F., Kang R.J., Tyan Y.S. et al. Color Doppler twinkling artifact related to chronic pancreatitis with parenchymal calcification. *Acta Radiol*. 2006; 47 (6): 547–548. <http://doi.org/10.1080/02841850600690371>
82. Pabst G., Strobel K., Zehnder J. The value of the twinkling artefact for the diagnosis of sialolithiasis of the large salivary glands. *J. Laryngol. Otol*. 2018; 132 (2): 162–167. <http://doi.org/10.1017/S002221511700250X>
83. Tian J., Xu L. Color Doppler twinkling artifact in diagnosis of tuberculous pleuritis: A comparison with gray-scale ultrasonography and computed tomography. *Ultrasound Med. Biol*. 2018; 44 (6): 1291–1295.
<http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.01.003>
84. Serter S., Orguc S., Gumus B. et al. Doppler sonographic findings in testicular microlithiasis. *Int. Braz. J. Urol*. 2008; 34 (4): 477–484.
<http://doi.org/10.1590/s1677-55382008000400010>
85. O'Flynn E.A., Sidhu P.S. The sonographic twinkling artifact in testicular calcification. *J. Ultrasound Med*. 2009; 28 (4): 515–517. <http://doi.org/10.7863/jum.2009.28.4.515>
86. Tsao T.F., Wu Y.L., Yu J.M. et al. Color Doppler twinkling artifact of calcified cardiac valves in vitro: a not well known phenomenon in echocardiography. *Ultrasound Med. Biol*. 2011; 37 (3): 386–392.
<http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.12.001>
87. Nagafuchi Y., Sumitomo S., Soroida Y. et al. The power Doppler twinkling artefact associated with periarticular calcification induced by intra-articular corticosteroid injection in patients with rheumatoid arthritis. *Ann. Rheumat. Dis*. 2013; 72 (7): 1267–1269.
<http://doi.org/10.1136/annrheumdis-2012-202897>
88. Sharma G., Sharma A. Clinical implications and applications of the twinkling sign in ureteral calculus: a preliminary study. *J. Urol*. 2013; 189 (6): 2132–2135.
<http://doi.org/10.1016/j.juro.2012.11.176>
89. Li T., Khokhlova T.D., Sapozhnikov O.A. et al. A new active cavitation mapping technique for pulsed HIFU applications – Bubble Doppler. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*. 2014; 61 (10): 1698–1708.
<http://doi.org/10.1109/TUFFC.2014.006502>

Для корреспонденции*: Громов Александр Игоревич – 127473 Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1. Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова” Минздрава России. E-mail: gai8@mail.ru

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова” Минздрава России; руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения отдела онкоурологии НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Сапожников Олег Анатольевич – доктор физ.-мат. наук, профессор физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-4979-7706>

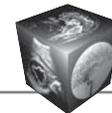
Каприн Андрей Дмитриевич – доктор мед. наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, генеральный директор ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; директор МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии медицинского факультета ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Contact*: Alexander I. Gromov – 20/1, Delegatskaya str., Moscow 127473, Russian Federation. A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. E-mail: gai8@mail.ru

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; head of the radiation diagnosis and treatment methods, Oncouriology Department; N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology - branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Oleg A. Sapozhnikov – Doct. of Sci. (Phys.-Math.), Professor at Physics Faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-4979-7706>

Andrei D. Kaprin – Doct. of Sci. (Med.), Academician of RAS, Professor, general director of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation; Director of P. Hertsen Moscow oncology research institute; Head of Department of Oncology and Radiology of RUDN University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1221>

Аномалии и пороки развития висцеральных артерий при внепеченочной портальной гипертензии у детей

© Юлдашев Р.З.^{1,2*}, Алиев М.М.¹, Максудов М.Ф.³, Хайдаров У.О.³

¹ Ташкентский педиатрический медицинский институт; 100140 Ташкент, Юнусабадский район, ул. Богишамол, 223, Республика Узбекистан

² Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр педиатрии; 100179 Ташкент, Алмазарский район, улица 2-й Чимбай, проезд Талант, 3, Республика Узбекистан

³ СП ООО "Fedorovich Klinikasi", Ташкент, проспект Амира-Темур, 39, Республика Узбекистан

Цель исследования: изучить частоту аномалий и пороков развития висцеральных артерий и оценить их роль в лечении внепеченочной блокады воротного кровообращения (ВБВК) у детей.

Материал и методы. В исследование включены 155 ранее не оперированных детей в возрасте от 2 до 17 лет с ВБВК. Проведен ретроспективный анализ результатов 3-фазной мультиспиральной компьютерной томографии с ангиографией (МСКТА) висцеральных сосудов. Проанализирована частота аномалий строения висцеральных артерий брюшного отдела аорты, величина аортomezентериального угла, структура собственно печеночной, селезеночной и верхней брыжеечной (ВБА) артерий. Также проанализированы размеры висцеральных артерий в зависимости от степени флеботромбоза в системе воротной вены (ВВ).

Результаты. Согласно анализу МСКТА, у 155 пациентов с внепеченочной портальной гипертензией (ВПГ) аномалии развития висцеральных артерий отмечены у 35 (22,6%) детей. При этом у 14 (11,7%) детей выявлены признаки аортomezентериальной компрессии левой почечной вены (ЛПВ). У 4 (2,5%) детей была выявлена транспозиция чревного ствола (*coeliacomesenteric trunk*). В одном (0,64%) случае выявлены признаки мешковидной аневризмы внутриорганных ветвей селезеночной артерии (СА). Согласно анализу, отмечена достоверная средняя корреляция диаметра СА и ВБА с возрастом детей ($r = 0,58$; $p = 0,001$). Согласно исследованию, диаметр собственной печеночной артерии у детей при флеботромбозе системы ВВ с преимущественным поражением верхней брыжеечной вены (ВБВ) был достоверно ниже, чем при поражении основного ствола ВВ и его ветвей ($2,48 \pm 0,23$ мм против $3,15 \pm 0,08$ мм, $p = 0,01$). Диаметр СА у детей с преимущественным флеботромбозом селезеночной вены был достоверно меньше ($4,26 \pm 0,19$ мм) в сравнении с детьми с поражением основного ствола ВВ и его притоков ($4,9 \pm 0,12$ мм, $p = 0,01$), а также детей с флеботромбозом ВБВ ($5,45 \pm 0,41$ мм, $p = 0,05$).

Заключение. Таким образом, данные исследования свидетельствуют, что МСКТА является информативным методом оценки сопутствующих аномалий висцеральных артерий у детей с ВПГ. Возможность оценки существующих вариаций анатомических изменений висцеральных артерий у детей с ВБВК позволяет снизить до минимума риск ятрогенного повреждения и неудовлетворительных исходов одного из наиболее сложного направлений – хирургии портальной гипертензии.

Ключевые слова: висцеральные артерии, внепеченочная блокада воротной вены, портальная гипертензия, печеночная артерия, селезеночная артерия, верхняя брыжеечная артерия, аневризма селезеночной артерии

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Юлдашев Р.З., Алиев М.М., Максудов М.Ф., Хайдаров У.О. Аномалии и пороки развития висцеральных артерий при внепеченочной портальной гипертензии у детей. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 135–144. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1221>

Поступила в редакцию: 20.06.2022. Принята к печати: 15.08.2022. Опубликовано online: 8.02.2023.



Anomalies and malformations of visceral arteries in children with extrahepatic portal vein obstruction

© Rustam Z. Yuldashev^{1, 2*}, Mahmud M. Aliev¹, Muzaffar F. Maksudov³, Umar O. Khaydarov³

¹ Tashkent Pediatric Medical Institute; 223, Bogishamol str., Yunusabad district, Tashkent 100140, Uzbekistan

² Republican Specialized Scientific-Practical Medical Center of Pediatrics; 3, 2 Chimbay str., Talant str., Almazar district, Tashkent 100179, Uzbekistan

³ "Fedorovich Klinikasi" JV, Radiology and PET/CT Department; 39, Amir Temur av., Tashkent 100011, Uzbekistan

Purpose. To study the incidence of anomalies and malformations of visceral arteries and evaluate their role in the treatment of extrahepatic portal vein obstruction (EHPVO) in children

Material and Methods. The study included 155 previously not operated children with EHPVO. A retrospective analysis of the results of three-phase multislice computed tomography with angiography (MSCTA) of visceral vessels was performed. Frequency of visceral arteries anomalies of the abdominal aorta, aortomesenteric angle, the structure of the hepatic, splenic and superior mesenteric arteries (SMA) were assessed. The size of visceral arteries depending on the prevalence of portal vein thrombosis was also assessed.

Results. According to analysis 35 (22.6%) children with EHPVO had abnormalities of visceral arteries. Of them, 14 (11.7%) patients presented with signs of aortomesenteric compression of the left renal vein (LRV). Coeliacomesenteric trunk was detected in 4 (2.5%) children. In one (0.64%) case there was sign of saccular splenic artery (SA) aneurysm. According to data, there was a significant correlation of the diameter of SA and SMA with the age of children ($r = 0.58$; $p = 0.001$). According to the study, diameter of arteria hepatica propria in children with portal vein thrombosis (PVT) with extension into superior mesenteric vein (SMV) was significantly lower than in PVT and its branches (2.48 ± 0.23 mm vs 3.15 ± 0.08 mm, $p = 0.01$). The diameter of SA in children with PVT extended into splenic vein was significantly smaller (4.26 ± 0.19 mm) in comparison to children with PVT and its branches (4.9 ± 0.12 mm, $p = 0.01$), and children with widespread thrombosis of portal vein system (5.45 ± 0.41 mm, $p = 0.05$).

Conclusion. Multiple aberrations of the anatomical structures of visceral arteries make any hepatobiliary surgery challenging to surgeons. The study data suggest that MSCTA is an informative method for evaluation of associated anomalies of visceral arteries in children with EHPH.

Keywords: visceral arteries, extrahepatic portal vein obstruction, portal hypertension, hepatic artery, splenic artery, superior mesenteric artery, splenic artery aneurism

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Yuldashev R.Z., Aliev M.M., Maksudov M.M., Khaydarov U.O. Anomalies and malformations of visceral arteries in children with extrahepatic portal vein obstruction. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 135–144. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1221>

Received: 20.06.2022.

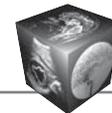
Accepted for publication: 15.08.2022.

Published online: 8.02.2023.

Введение

Внепеченочная портальная гипертензия (ВПГ) вследствие внепеченочной блокады воротного кровообращения (ВБВК) является одной из наиболее распространенных причин гастроэзофагеальных кровотечений у детей [1]. ВБВК является сосудистой патологией печени, и наиболее эффективным методом ее лечения являются операции сосудистого шунтирования [2]. Визуализация сосудов брюшной полости и забрюшинного пространства у детей с ВБВК в последние годы стала актуальным направлением различных исследований [3, 4]. В большинстве случаев исследования посвящены поиску наиболее оптимальных и эффективных методов дооперационной визуализации сосудов, пригодных к шунтированию [5, 6]. При

этом основной акцент упирается на визуализацию порочно развитой системы воротной вены (ВВ) и ее внутрипеченочных разветвлений без учета висцеральной артериальной архитектоники [3, 5]. Вопросы, посвященные архитектонике висцеральных артерий при портальной гипертензии, являются темой случаев из практики либо предметом изучения артериальной гемодинамики при циррозе печени [7]. В литературе описаны случаи пороков развития ВВ и чревного ствола при ВПГ, которые определяют причину заболевания, а также прогнозируют исход хирургического лечения [8]. Тем не менее вопросы касательно роли висцеральной артериальной архитектоники у детей с ВПГ и частота сопутствующих пороков не раскрыты и требуют дальнейшего изучения.



Цель исследования

Изучить частоту аномалий и пороков развития висцеральных артерий и оценить их роль в лечении внепеченочной блокады воротного кровообращения у детей.

Материал и методы

Проведен ретроспективный анализ результатов мультиспиральной компьютерной томографии с ангиографией (МСКТА) висцеральных сосудов у ранее не оперированных детей с ВПГ. В исследование включены 155 детей, находившихся на обследовании и лечении в отделениях детской хирургии клиники Ташкентского педиатрического медицинского института и Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра педиатрии за период с 2013 по 2021 г. Диагноз ВПГ поставлен на основании клинико-лабораторного исследования, УЗИ органов брюшной полости с ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) сосудов гепатолиенальной зоны, МСКТА.

МСКТА брюшной полости с внутривенным контрастным (Юнигексол-350) усилением проведена на аппарате Brilliance i-CT 256 Philips (Голландия) в 3 фазы: нативная, артериальная, портальная-венозная. Аксиальные изображения с толщиной среза 2,5 мм были получены из наборов данных артериальной и венозной фаз. Снижение лучевой нагрузки достигалось применением протоколов i-Dose. Исследования производили после применения очистительной клизмы, на голодный желудок. При анализе артериальной фазы контрастирования проводилась оценка наличия аномалий строения, отхождения висцеральных артерий от брюшного отдела аорты и чревного ствола, величина аортomezентериального угла, диаметры собственно печеночной, селезеночной и верхней брыжеечной артерий. Также проанализированы размеры висцеральных артерий в зависимости от степени флелотромбоза в системе ВВ. При этом для оценки состояния флелотромбоза системы ВВ проведен анализ ангиоархитектоники ее внепеченочных притоков в портальную-венозную фазу контрастирования МСКТА. Также проанализировано наличие сопутствующих аномалий органов брюшной полости и забрюшинного пространства.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 23 (SPSS Inc, США). Описание количественных признаков с нормальным распределением выполнено с указанием среднего арифметического и стандартного отклонения, их сравнение – с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Значение $p < 0,05$ считалось статистически значимым. Для определения наличия

силы связи между значениями диаметров висцеральных артерий с другими параметрами проведен корреляционный анализ с расчетом коэффициента корреляции Пирсона, значения которого $< 0,30$ ($> -0,30$) считали признаком слабой положительной (отрицательной) связи признаков, $0,30-0,69$ ($-0,30-0,69$) – умеренной, $0,70$ ($< -0,70$) – сильной связи при $p < 0,05$.

Результаты

Изучение висцерального кровообращения у детей с ВПГ подразумевает анализ архитектоники не только порочно развитой системы ВВ, но и изучения артериального кровообращения. Согласно анализу МСКТА, у 155 пациентов с ВПГ аномалии развития висцеральных артерий отмечены у 35 (22,6%) детей. Наиболее часто в нашем наблюдении отмечалась аномалия взаимоотношения верхней брыжеечной артерии (ВБА) и брюшной аорты. В норме ВБА отходит от аорты под углом не менее 36° , и между этими сосудами проходит левая почечная вена (ЛПВ), которая далее дренируется в нижнюю полую вену [9]. При уменьшении аортomezентериального угла ($< 35^\circ$) развивается феномен “nutcracker” – так называемая аортomezентериальная компрессия ЛПВ [9, 10]. При данном состоянии создаются гемодинамические неблагоприятные условия для левой почки [11, 12]. Согласно нашим исследованиям, у 14 (11,7%) детей с ВПГ на дооперационном этапе выявлены ангиографические признаки аортomezентериальной компрессии ЛПВ (рис. 1).

Следующей по частоте наблюдений была аномалия количества артерий печени (рис. 2).

При этом отмечалось наличие одной дополнительной артерии, исходящей из ВБА (см. рис. 3а), данный вариант отмечен у 10 (6,4%) детей с ВПГ. Также у детей с ВПГ выявлены транспозиции собственной печеночной артерии (СПА) и селезеночной артерии (СА) от ВБА (рис. 3б).

При этом чаще отмечалась транспозиция СПА от ВБА, она была выявлена у 5 (3,2%) детей, тогда как транспозиция СА отмечена только в одном наблюдении (0,6%). При анализе ангиограмм у 4 (2,5%) детей была выявлена транспозиция чревного ствола (*coeliacomesenteric trunk*), при этом общая печеночная артерия и СА отходили от ВБА (рис. 4).

Среди 4 детей с транспозицией чревного ствола в нашем наблюдении у одного ребенка также была выявлена добавочная доля печени (рис. 5).

У одного (0,64%) ребенка при анализе артериальной фазы ангиограммы выявлены признаки мешковидной аневризмы внутриорганных ветвей СА (рис. 6).

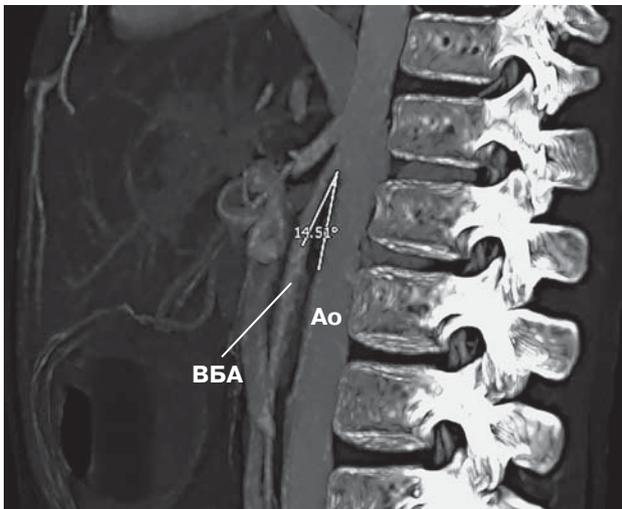


Рис. 1. МСКТ-ангиограмма (MIP-реконструкция) ребенка с признаками “nutcracker” синдрома и ВПГ. Аортomesenterальный угол равен 14,51°. Ao – аорта, ВБА – верхняя брыжеечная артерия.

Fig. 1. MSCT angiogram (MIP reconstruction), a patient with “nutcracker” syndrome and extrahepatic portal hypertension (EHPH). Aortomesenteric angle 14.51°. Ao – aorta, SMA – superior mesenteric artery.



Рис. 2. МСКТ-ангиограмма ребенка с ВПГ, MIP-реконструкция артериальной фазы. Стрелками указана дополнительная артерия к печени, которая исходит из ВБА.

Fig. 2. CTA of a patient with EHPH, MIP reconstruction of arterial phase. Additional artery to the liver originating from SMA (arrows),

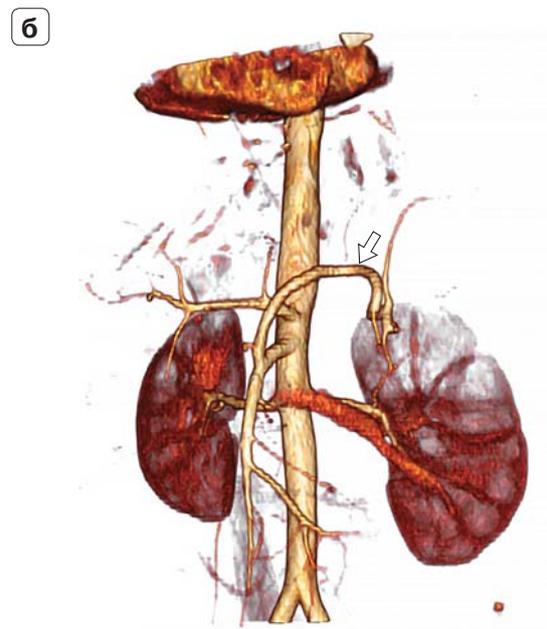
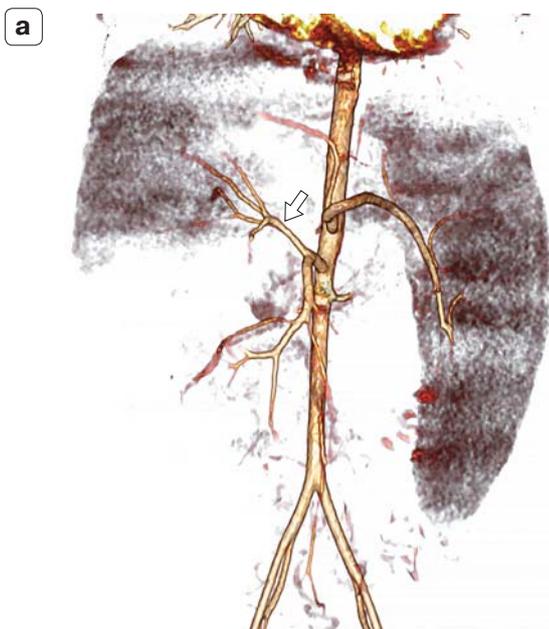


Рис. 3. МСКТ-ангиограммы, трехмерная реконструкция артериальной фазы контрастирования ребенка с ВПГ. **а** – транспозиция СПА от ВБА (указана стрелкой); **б** – транспозиция СА от ВБА (указана стрелкой).

Fig. 3. CTA, 3D reconstruction of arterial phase, a patient with EHPH. **a** – AHP transposition from SMA (arrow); **б** – SA transposition from SMA (arrow).

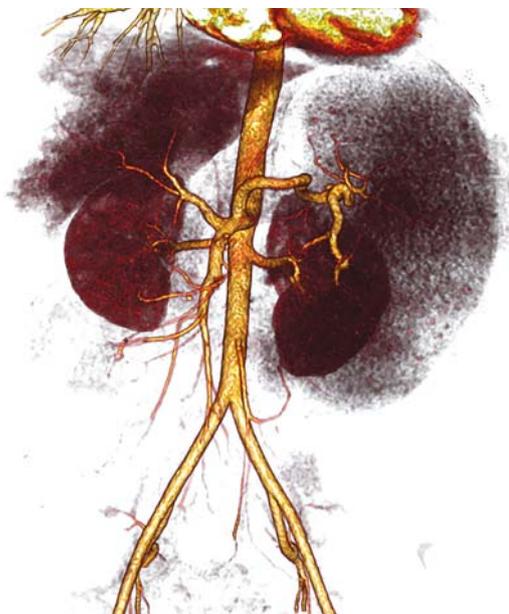
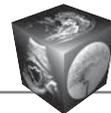


Рис. 4. МСКТ-ангиограмма, трехмерная реконструкция артериальной фазы ребенка с ВПГ и транспозицией чревного ствола.

Fig. 4. CTA, 3D-reconstruction of arterial phase of a patient with EHPH and coeliacomesenteric trunk.

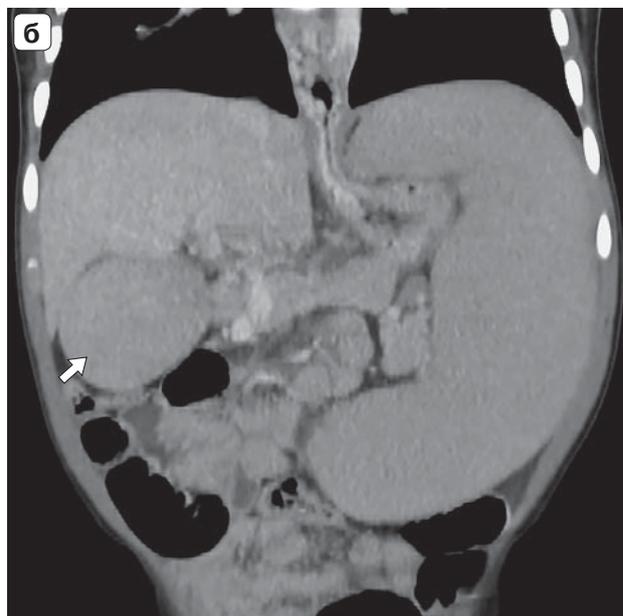


Рис. 5. а – сонограмма ребенка с добавочной долей печени с ВПГ (стрелка); **б** – МСКТ-ангиограмма, портальная фаза того же ребенка, отмечаются наличие добавочной доли печени (указана стрелкой) и другие характерные признаки ВПГ – кавернозная трансформация воротной вены, спленомегалия, флебэктазия пищевода.

Fig. 5. a – ultrasound scan of a patient with EHPH and accessory liver lobe (arrow); **б** – CTA, portal phase of the same patient, accessory liver lobe (arrow) and other signs of EHPH – splenomegaly, portal cavernoma, esophageal varices.



Рис. 6. МСКТ-ангиограмма ребенка с ВПГ, MIP-реконструкция артериальной фазы контрастирования. Стрелками указаны участки локального расширения ветвей селезеночной артерии (участки аневризматического “мешковидного” расширения).

Fig. 6. CTA of a patient with HPH, MIP reconstruction of arterial phase. Saccular splenic artery aneurism (arrows).

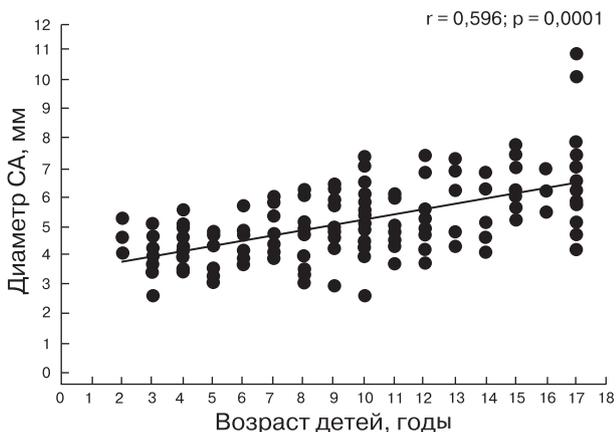


Рис. 7. Корреляционная связь диаметра СА и возраста детей с ВПГ.

Fig. 7. Correlation of SA diameter and patients ages.

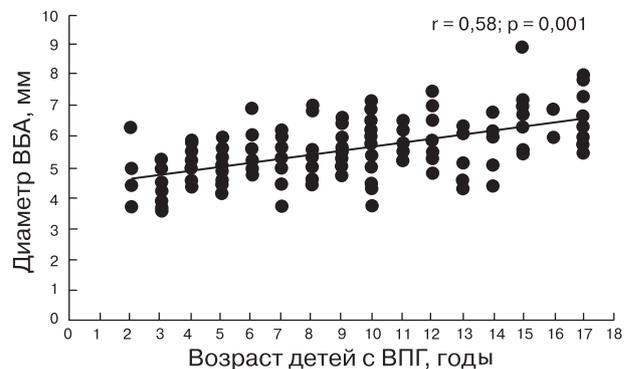


Рис. 8. Корреляционная связь диаметра СА и возраста детей с ВПГ.

Fig. 8. Correlation of SMA diameter and patients ages.

Анализ показал достоверную среднюю корреляционную связь между диаметром СА и возрастом детей с ВПГ (рис. 7).

Аналогичные данные получены при анализе корреляция диаметра СА и возраста детей с ВПГ ($r = 0,58$; $p = 0,001$) (рис. 8), в то время как СПА слабо коррелировала с возрастом детей с ВПГ ($r = 0,2$; $p = 0,009$).

При изучении портальной-венозной фазы контрастирования МСКТА выявлены определенные различия венозной ангиоархитектоники у детей с ВПГ. Согласно анализу, в большинстве наблюдений ($n = 119$; 77%) выявлен флелотромбоз системы ВВ (ФСВВ) с преимущественным пораже-

нием основного ствола ВВ и его долевых ветвей (рис. 9а). При данном варианте ФСВВ основные притоки ВВ, такие как селезеночная (СВ) и верхняя брыжеечная (ВБВ) вены, сохранены и контрастируются удовлетворительно. Также при анализе ангиограмм у детей с ВПГ выявлены варианты с преимущественным флелотромботическим поражением СВ ($n = 9$; 6%), ВБВ ($n = 13$; 18%) и вариант распространенного ФСВВ ($n = 14$; 9%) (рис. 9б, в, г соответственно).

При проведении сравнительного анализа размеров висцеральных артерий были выявлены достоверные различия при определенных вариантах поражения системы ВВ у детей с ВПГ. Согласно

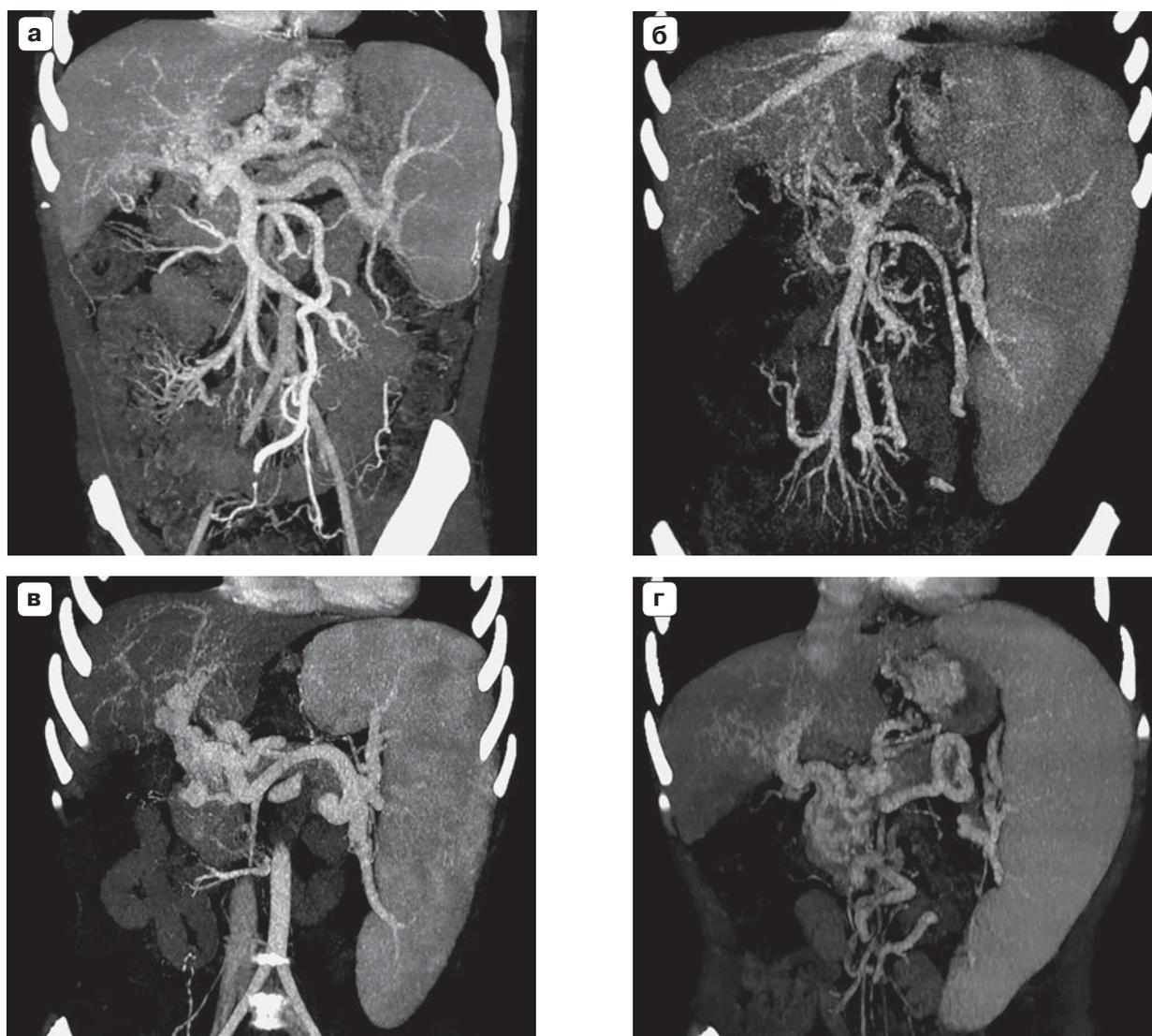
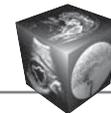


Рис. 9. МСКТ-ангиограммы (MIP-реконструкция), портальная фаза, варианты поражения системы воротной вены при ВПГ у детей (пояснение в тексте).

Fig. 9. CTA, MIP reconstruction of portal phase, types of thrombosis of the extrahepatic portal venous system in children with extrahepatic portal hypertension.

анализу, диаметр СПА по данным артериальной фазы МСКТА у детей при ФСВВ с преимущественным поражением ВВВ был достоверно ниже, чем у детей с поражением основного ствола ВВ и его притоков ($2,48 \pm 0,23$ мм против $3,15 \pm 0,08$ мм, $p = 0,01$). Диаметр СА у детей с преимущественным флеботромбозом СВ был достоверно меньше ($4,26 \pm 0,19$ мм) в сравнении с детьми с поражением основного ствола ВВ и его притоков ($4,9 \pm 0,12$ мм, $p = 0,01$), а также детей с флеботромбозом ВВВ ($5,45 \pm 0,41$ мм, $p = 0,05$). Мы не обнаружили достоверных различий диаметра ВБА при всех вариантах поражения системы ВВ у детей с ВПГ.

Обсуждение

У детей с ВПГ при МСКТА выявлены значимые особенности архитектоники висцеральных артерий, которые важны как в диагностическом плане и при планировании хирургических вмешательств, так и для понимания патофизиологических изменений при портальной гипертензии у детей.

Согласно нашим исследованиям, в 11,7% наблюдений у детей с ВПГ выявлен МСКТА-феномен "nutcracker". Точная частота этого анатомического варианта в общей популяции до сих пор не определена, и он считается недодиагностированным, поскольку часто протекает малосимптомно или полностью бессимптомно [9–12]. Тем не менее,



согласно исследованию, в 40% наблюдений у пациентов с гематурией неясной этиологией выявлен синдром аортomezентериальной компрессии [11]. Кроме того, в литературе есть сообщения о почечной флехогипертензии у детей с ВПГ, которая была выявлена на до- и в послеоперационных периодах и была обусловлена наличием аортomezентериальной компрессии ЛПВ [12]. Результаты анализа частоты выявленных аномалий отхождения ветвей брюшной аорты, таких как СПА, СА, ВБА, были схожи с данными литературы [13]. Однако следует отметить, что в нашем исследовании у 1 из 4 детей с транспозицией чревного ствола была выявлена добавочная доля печени, и аналогичный случай у ребенка с ВПГ был представлен И.В. Поповым и соавт. [14]. То есть в данной ситуации у детей с пороком развития ВВ выявлены аномалии как висцеральных артерий, так и аномалия строения печени. Следовательно, при МСКТА выявление аномалии в одной системе настораживает и свидетельствует о необходимости тщательного изучения на предмет наличия аномалий в других органах и системах.

Согласно нашему исследованию, у детей с ВПГ также были выявлены структурные изменения висцеральных артерий. Следует отметить, что изменения, такие как аневризма или увеличение диаметра, чаще отмечены в бассейне СА. Несмотря на то что аневризма СА характерна для внутривисцеральной формы портальной гипертензии и является наиболее часто встречающейся аневризмой сосудов брюшной полости [15, 16], в нашем анализе она была выявлена только у одной (0,64%) пациентки с ВПГ. Для аневризмы СА характерно бессимптомное течение и сообщения как о причине ВПГ в литературе крайне редки, и в основном это аневризмы большого размера [17].

Следующим, на наш взгляд, важным изменением, выявленным при МСКТА висцеральных артерий, было наличие трансформаций диаметров артерией гепатолиенальной зоны при определенных вариантах поражения системы ВВ. В частности, у детей с тромбозом СВ диаметр СА был наименьшим, тогда как у детей с флехотромбозом ВВВ диаметр СА был достоверно выше. То есть наличие препятствия по ходу СВ отражается на СА и в данной ситуации компенсация печеночного кровотока (портальной и артериальной перфузии) осуществляется иными путями. Наличие этих изменений косвенно свидетельствует о значимой роли селезенки и ее артериального русла в поддержании гомеостаза печеночного кровотока в условиях ФСВВ. В доступных научных базах аналогичных исследований по изучению структурных изменений висцеральных артерий у детей с ВПГ

нами не обнаружено. Однако существует ряд исследований, посвященных изучению артериальной гемодинамики при портальной гипертензии, согласно которым в регуляции гомеостаза печеночного кровотока одним из важнейших механизмов является буферный ответ печеночной артерии [18–20]. При этом в ответ на снижение портальной перфузии печени отмечаются вазодилатация печеночной артерии и усиление артериальной перфузии печени. Результаты нашего исследования также подтверждает данную теорию. В частности, как показал анализ, у детей при ВПГ с возрастом отмечается увеличение ВБА и СА, однако данной тенденции относительно СПА мы не обнаружили. Кроме того, диаметр СПА у детей с тромбозом ВВВ был достоверно ниже, чем у детей с поражением основного ствола ВВ и его притоков.

Наиболее важным ограничением нашего исследования явился тот факт, что исследование проводилось только методом МСКТА, при этом изучены структурные характеристики висцеральной артериальной архитектоники, в то время как изучение гемодинамических параметров методом ультразвуковой доплерометрии позволило бы получить полную картину висцерального кровотока у детей с ВПГ.

Заключение

Таким образом, данные исследования свидетельствуют, что МСКТА является информативным методом оценки сопутствующих аномалий висцеральных артерий у детей с ВПГ. Возможность оценки существующих вариаций анатомических изменений висцеральных артерий у детей с ВПГ позволит снизить до минимума риск ятрогенного повреждения одного из наиболее сложных направлений – хирургии портальной гипертензии у детей.

Участие авторов

Юлдашев Р.З. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

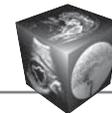
Алиев М.М. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Максудов М.Ф. – проведение исследования, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Хайдаров У.О. – проведение исследования, обзор публикаций по теме статьи, сбор и обработка данных.

Authors' participation

Yuldashev R.Z. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review



of publications, statistical analysis, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Aliev M.M. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Maksudov M.M. – conducting research, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

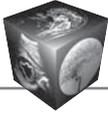
Khaydarov U.O. – conducting research, review of publications, collection and analysis of data.

Список литературы

- Di Giorgio A., De Angelis P., Cheli M. et al. Etiology, presenting features and outcome of children with non-cirrhotic portal vein thrombosis: A multicentre national study. *Dig. Liver Dis.* 2019; 51 (8): 1179–1184. <http://doi.org/10.1016/j.dld.2019.02.014>
- Shneider B.L., de Ville de Goyet J., Leung D.H. et al. Primary prophylaxis of variceal bleeding in children and the role of MesoRex Bypass: Summary of the Baveno VI Pediatric Satellite Symposium. *Hepatology.* 2016; 63 (4): 1368–1380. <http://doi.org/10.1002/hep.28153>
- Bertocchini A., Falappa P., Grimaldi C. et al. Intrahepatic portal venous systems in children with noncirrhotic prehepatic portal hypertension: anatomy and clinical relevance. *J. Pediatr. Surg.* 2014; 49 (8): 1268–1275. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2013.10.029>
- Сухов М.Н., Дроздов А.В., Лывина И.П., Исаева М.В. Распространенный флеботромбоз у детей с внепеченочной портальной гипертензией: клиника, диагностика, лечение. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского.* 2010; 89 (2): 65–70.
- Соколова Д.А., Митупов З.Б., Куртак Н.Д., Разумовский А.Ю. Оценка проходимости левой воротной вены при мезопортальном шунтировании у детей с внепеченочной портальной гипертензией. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии.* 2021; 11 (2): 185–200. <https://doi.org/10.17816/psaic723>
- Zhang J.S., Li L. Imaging features and clinical relevance of portal venous systems shown by extrahepatic portal angiography in children with extrahepatic portal venous obstruction. *J. Vasc. Surg. Venous Lymphat. Disord.* 2020; 8 (5): 756–761. <http://doi.org/10.1016/j.jvsv.2019.11.016>
- Zipprich A. Hepatic arterial vasodilation is independent of portal hypertension in early stages of cirrhosis. *PLoS One.* 2015; 10 (3): e0121229. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0121229>
- Elamurugan T.P., Kumar S.S., Muthukumarassamy R., Kate V. Splenic artery aneurysm presenting as extrahepatic portal vein obstruction: a case report. *Case Rep. Gastrointest. Med.* 2011; 2011: 908529. <http://doi.org/10.1155/2011/908529>
- Granata A., Distefano G., Sturiale A. et al. From Nutcracker Phenomenon to Nutcracker Syndrome: A Pictorial Review. *Diagnostics (Basel).* 2021; 11 (1): 101. <http://doi.org/10.3390/diagnostics11010101>
- Ananthan K., Onida S., Davies A.H. Nutcracker Syndrome: An Update on Current Diagnostic Criteria and Management Guidelines. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2017; 53 (6): 886–894. <http://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.02.015>
- Tago M., Katsuki N.E., Hirakawa Y., Yamashita S.I. Asymptomatic nutcracker phenomenon: entrapment of the left renal vein shown by CT without left flank or pelvic pain, or macroscopic haematuria. *BMJ Case Rep.* 2020; 13 (1): e233867. <http://doi.org/10.1136/bcr-2019-233867>
- Алиев М.М., Юлдашев Р.З., Турсунова Д.Б. Ренальная флебогипертензия у детей с внепеченочной портальной гипертензией. *Педиатрия.* 2019; 2: 23–29.
- Gkaragkounis A., Fanariotis M., Tepetes K. et al. Celiac Trunk and Hepatic Arteries: Anatomical Variations of Liver Arterial Supply as Detected with Multidetector Computed Tomography in 1,520 Patients and its Clinical Importance. *Clin. Anat.* 2020; 33 (7): 1091–1101. <http://doi.org/10.1002/ca.23511>
- Попов И.В., Разумовский А.Ю., Романов А.В., Рачков В.Е., Алхасов А.Б., Батаев С.М., Баширов И.Н. Добавочная доля печени у мальчика 9 лет с внепеченочной портальной гипертензией. *Детская хирургия.* 2000; 4: 50–52.
- Messina L.M., Shanley C.J. Visceral artery aneurysms. *Surg. Clin. N. Am.* 1997; 77 (2): 425–42. [http://doi.org/10.1016/s0039-6109\(05\)70559-4](http://doi.org/10.1016/s0039-6109(05)70559-4)
- Thonig A., Pohl S., Ripoll C. et al. Splenic artery aneurysm, case series of seven patients. *J. Surg. Case. Rep.* 2021; 2021 (3): rjab046. <http://doi.org/10.1093/jscr/rjab046>
- Therakathu J., Panwala H.K., Bhargava S. et al. Contrast-enhanced Computed Tomography Imaging of Splenic Artery Aneurysms and Pseudoaneurysms: A Single-center Experience. *J. Clin. Imaging. Sci.* 2018; 8: 37. http://doi.org/10.4103/jcis.JCIS_21_18
- Lautt W.W. Regulatory processes interacting to maintain hepatic blood flow constancy: Vascular compliance, hepatic arterial buffer response, hepatorenal reflex, liver regeneration, escape from vasoconstriction. *Hepatology. Res.* 2007; 37 (11): 891–903. <http://doi.org/10.1111/j.1872-034X.2007.00148.x>
- Eipel C., Abshagen K., Vollmar B. Regulation of hepatic blood flow: the hepatic arterial buffer response revisited. *Wld J. Gastroenterol.* 2010; 16 (48): 6046–6057. <http://doi.org/10.3748/wjg.v16.i48.6046>
- Randhir J., Chandrasekaran S., Sathiyasekaran M., Venkataraman J. Hepatic artery Doppler indices in children with extra hepatic portal vein obstruction. *J. Clin. Exp. Hepatol.* 2013; 3 (2): 102–105. <http://doi.org/10.1016/j.jceh.2013.04.002>

References

- Di Giorgio A., De Angelis P., Cheli M. et al. Etiology, presenting features and outcome of children with non-cirrhotic portal vein thrombosis: A multicentre national study. *Dig. Liver Dis.* 2019; 51 (8): 1179–1184. <http://doi.org/10.1016/j.dld.2019.02.014>
- Shneider B.L., de Ville de Goyet J., Leung D.H. et al. Primary prophylaxis of variceal bleeding in children and the role of MesoRex Bypass: Summary of the Baveno VI Pediatric Satellite Symposium. *Hepatology.* 2016; 63 (4): 1368–1380. <http://doi.org/10.1002/hep.28153>
- Bertocchini A., Falappa P., Grimaldi C. et al. Intrahepatic portal venous systems in children with noncirrhotic prehepatic portal hypertension: anatomy and clinical relevance. *J. Pediatr. Surg.* 2014; 49 (8): 1268–1275. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2013.10.029>
- Suhov M.N., Drozdov A.V., Lyvina I.P., Isaeva M.V. Widespread phlebothrombosis in children with extrahepatic portal hypertension: clinics, diagnostics, treatment. *Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky.* 2010; 89 (2): 65–70 (In Russian)



5. Sokolova D.A., Mitupov Z.B., Kurtak N.D., Razumovsky A.Yu. Assessment of the patency of the left portal vein during mesoportal shunting in children with extrahepatic portal hypertension. *Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care*. 2021; 11 (2): 185–200. <https://doi.org/10.17816/psaic723> (In Russian)
6. Zhang J.S., Li L. Imaging features and clinical relevance of portal venous systems shown by extrahepatic portal angiography in children with extrahepatic portal venous obstruction. *J. Vasc. Surg. Venous Lymphat. Disord*. 2020; 8 (5): 756–761. <http://doi.org/10.1016/j.jvsv.2019.11.016>
7. Zipprich A. Hepatic arterial vasodilation is independent of portal hypertension in early stages of cirrhosis. *PLoS One*. 2015; 10 (3): e0121229. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0121229>
8. Elamurugan T.P., Kumar S.S., Muthukumarassamy R., Kate V. Splenic artery aneurysm presenting as extrahepatic portal vein obstruction: a case report. *Case Rep. Gastrointest. Med*. 2011; 2011: 908529. <http://doi.org/10.1155/2011/908529>
9. Granata A., Distefano G., Sturiale A. et al. From Nutcracker Phenomenon to Nutcracker Syndrome: A Pictorial Review. *Diagnostics (Basel)*. 2021; 11 (1): 101. <http://doi.org/10.3390/diagnostics11010101>
10. Ananthan K., Onida S., Davies A.H. Nutcracker Syndrome: An Update on Current Diagnostic Criteria and Management Guidelines. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg*. 2017; 53 (6): 886–894. <http://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.02.015>
11. Tago M., Katsuki N.E., Hirakawa Y., Yamashita S.I. Asymptomatic nutcracker phenomenon: entrapment of the left renal vein shown by CT without left flank or pelvic pain, or macroscopic haematuria. *BMJ Case Rep*. 2020; 13 (1): e233867. <http://doi.org/10.1136/bcr-2019-233867>
12. Aliev M.M., Yuldashev R.Z., Tursunova D.B. Renal venous hypertension in children with extrahepatic portal hypertension. *Pediatrics*. 2019; 2: 23–29. (In Russian)
13. Gkaragkounis A., Fanariotis M., Tepetes K. et al. Celiac Trunk and Hepatic Arteries: Anatomical Variations of Liver Arterial Supply as Detected with Multidetector Computed Tomography in 1,520 Patients and its Clinical Importance. *Clin. Anat*. 2020; 33 (7): 1091–1101. <http://doi.org/10.1002/ca.23511>
14. Popov I.V., Razumovskij A.Ju., Romanov A.V., Rachkov V.E., Alhasov A.B., Bataev S.M., Bashirov I.N. Accessory lobe of the liver in a 9-year-old boy with extrahepatic portal hypertension. *Pediatric surgery*. 2000; 4: 50–52. (In Russian)
15. Messina L.M., Shanley C.J. Visceral artery aneurysms. *Surg. Clin. N. Am*. 1997; 77 (2): 425–42. [http://doi.org/10.1016/s0039-6109\(05\)70559-4](http://doi.org/10.1016/s0039-6109(05)70559-4)
16. Thonig A., Pohl S., Ripoll C. et al. Splenic artery aneurysm, case series of seven patients. *J. Surg. Case. Rep*. 2021; 2021 (3): rjab046. <http://doi.org/10.1093/jscr/rjab046>
17. Therakathu J., Panwala H.K., Bhargava S. et al. Contrast-enhanced Computed Tomography Imaging of Splenic Artery Aneurysms and Pseudoaneurysms: A Single-center Experience. *J. Clin. Imaging. Sci*. 2018; 8: 37. http://doi.org/10.4103/jcis.JCIS_21_18
18. Lauth W.W. Regulatory processes interacting to maintain hepatic blood flow constancy: Vascular compliance, hepatic arterial buffer response, hepatorenal reflex, liver regeneration, escape from vasoconstriction. *Hepatol. Res*. 2007; 37 (11): 891–903. <http://doi.org/10.1111/j.1872-034X.2007.00148.x>
19. Eipel C., Abshagen K., Vollmar B. Regulation of hepatic blood flow: the hepatic arterial buffer response revisited. *Wld J. Gastroenterol*. 2010; 16 (48): 6046–6057. <http://doi.org/10.3748/wjg.v16.i48.6046>
20. Randhir J., Chandrasekaran S., Sathiyasekaran M., Venkataraman J. Hepatic artery Doppler indices in children with extra hepatic portal vein obstruction. *J. Clin. Exp. Hepatol*. 2013; 3 (2): 102–105. <http://doi.org/10.1016/j.jceh.2013.04.002>

Для корреспонденции*: Юлдашев Рустам Зафарджанович – 100140 Ташкент, Юнусабадский район, ул. Богишамол, 223, Республика Узбекистан. Ташкентский педиатрический медицинский институт. Тел.: +99-890-134-40-00. E-mail: yuldashev.rustam@yahoo.com

Юлдашев Рустам Зафарджанович – PhD, докторант кафедры факультетской хирургии детского возраста Ташкентского педиатрического медицинского института; детский хирург отделения детской хирургии Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра педиатрии, Ташкент, Узбекистан. <https://orcid.org/0000-0002-4335-9879>. E-mail: yuldashev.rustam@yahoo.com

Алиев Махмуд Муслимович – доктор мед. наук, профессор кафедры факультетской хирургии детского возраста Ташкентского педиатрического медицинского института, Ташкент, Узбекистан. <https://orcid.org/0000-0001-7229-3445>. E-mail: mahmudali47@list.ru

Максудов Музаффар Фатхуллович – доктор мед. наук, заведующий отделением радиологии и ПЭТ/КТ диагностики СП ООО “Fedorovich Klinikasi”, Ташкент, Узбекистан. <https://orcid.org/0000-0002-5177-0166>. E-mail: dr.mfmaksudov@gmail.com

Хайдаров Умар Олимжанович – врач отделения радиологии и ПЭТ/КТ диагностики СП ООО “Fedorovich Klinikasi”, Ташкент, Узбекистан. <https://orcid.org/0000-0003-3974-267X>. E-mail: dok-umar@mail.ru

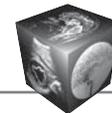
Contact*: Rustam Z. Yuldashev – 223, Bogishamol str., Yunusabad district, Tashkent 100140, Uzbekistan. Tashkent Pediatric Medical Institute. Phone: +99-890-134-40-00. E-mail: yuldashev.rustam@yahoo.com

Rustam Z. Yuldashev – PhD, postdoctoral fellow, Department of Pediatric Surgery; pediatric surgeon, Department of Pediatric Surgery, Republican Specialized Scientific-Practical Medical Center of Pediatrics, Tashkent, Uzbekistan. <https://orcid.org/0000-0002-4335-9879>. E-mail: yuldashev.rustam@yahoo.com

Mahmud M. Aliev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the department of pediatric surgery, Tashkent Pediatric Medical Institute, Tashkent, Uzbekistan. <https://orcid.org/0000-0001-7229-3445>. E-mail: mahmudali47@list.ru

Muzaffar F. Maksudov – Doct. of Sci. (Med.), Associated Professor, Department of Radiology and PET/CT diagnostics JV LLC “Fedorovich Klinikasi”, Tashkent, Uzbekistan. <https://orcid.org/0000-0002-5177-0166>. E-mail: dr.mfmaksudov@gmail.com

Umar O. Khaydarov – Doctor of the Department of Radiology and PET/CT diagnostics JV LLC “Fedorovich Klinikasi”, Tashkent, Uzbekistan. <https://orcid.org/0000-0003-3974-267X>. E-mail: dok-umar@mail.ru



Роль ПЭТ/КТ в онкогинекологии (обзор литературы)

© Николаева Е.А.^{1,2*}, Тарачкова Е.В.², Шейх Ж.В.^{2,3,4}, Тюрин И.Е.^{1,2}

¹ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России; 115478 Москва, Каширское шоссе, 24, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

³ ФГБУ “Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна” Федерального медико-биологического агентства России; 123098 Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23, Российская Федерация

⁴ ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница имени С.П. Боткина ДЗ города Москвы”; 125284 Москва, 2-й Боткинский пр-д, 5, Российская Федерация

Цель исследования: рассмотреть современные возможности позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) с фтордезоксиглюкозой (ФДГ), в диагностике онкологических образований в гинекологии.

Материал и методы. Поиск, отбор и оценка существующих зарубежных и отечественных исследований, включенных в рецензируемые базы E-library, PubMed, GoogleScholar, Scopus.

Результаты. В статье обобщается существующая доказательная база для установления клинического значения и новых возможностей применения ПЭТ/КТ с ФДГ при распространенных гинекологических злокачественных новообразованиях.

Заключение. Использование ПЭТ/КТ с ФДГ может оказать значительное влияние на ведение пациентов за счет улучшения стадирования рака, влияния на выбор пациентов для лечения и выявления раннего рецидива заболевания.

Ключевые слова: рак шейки матки, гинекологическая онкология, рак яичников, рак матки, рак вульвы, ПЭТ/КТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Николаева Е.А., Тарачкова Е.В., Шейх Ж.В., Тюрин И.Е. Роль ПЭТ/КТ в онкогинекологии (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 145–157. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1198>

Поступила в редакцию: 30.04.2022. **Принята к печати:** 12.09.2022. **Опубликована online:** 8.02.2023.

The role of PET/CT in oncogynecology (literature review)

© Ekaterina A. Nikolaeva^{1,2*}, Elena V. Tarachkova², Zhanna V. Sheikh^{2,3,4}, Igor E. Tyurin^{1,2}

¹ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 23, Kashirskoe shosse, Moscow 115478, Russian Federation

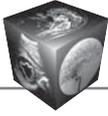
² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1 bld. 1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

³ Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan; 23, Marshal Novikov str., Moscow 123098, Russian Federation

⁴ S.P. Botkin City Clinical Hospital; 5, 2nd Botkinsky pr., Moscow 125284, Russian Federation

Purpose: to consider the modern possibilities of positron emission tomography combined with computed tomography (PET/CT) with FDG in the diagnosis of oncological formations in gynecology.

Materials and methods. Search, selection and evaluation of existing foreign and domestic research included in the peer-reviewed E-library, PubMed, GoogleScholar, Scopus.



Results. This article summarizes the existing evidence base to establish the clinical relevance and new possibilities for the use of FDG PET/CT in common gynecological malignancies.

Conclusion. The use of FDG PET/CT can have a significant impact on patient management by improving cancer staging, influencing patient choice for treatment, and detecting early disease recurrence.

Keywords: cervical cancer, gynecological oncology, ovarian cancer, uterine cancer, vulvar cancer, PET/CT

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Nikolaeva E.A., Tarachkova E.V., Sheikh Zh.V., Tyurin I.E. The role of PET/CT in oncogynecology (literature review). *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 145–157. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1198>

Received: 30.04.2022.

Accepted for publication: 12.09.2022.

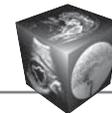
Published online: 8.02.2023.

Введение

Технология гибридной визуализации с помощью позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) с [¹⁸F] фтордезоксиглюкозой (ФДГ) постоянно развивается. В настоящее время этот метод применяется для определения стадии заболевания, ответа на лечение, выявления рецидива заболевания и наблюдения за пациентами при многочисленных первичных злокачественных новообразованиях. При гинекологических злокачественных новообразованиях ПЭТ/КТ с ФДГ играет важную роль не только в оценке заболевания до и после терапии, но и в планировании лучевой терапии путем определения метаболического объема опухоли (GTV). На сегодняшний день ¹⁸F-ФДГ является наиболее часто используемым радиофармпрепаратом в ПЭТ/КТ, поскольку злокачественные клетки, обладая высоким метаболизмом, поглощают глюкозу в большом количестве. Этот радиофармпрепарат обладает высокой чувствительностью, но низкой специфичностью в отношении злокачественных новообразований, поскольку доброкачественные процессы, сопровождающиеся воспалительной реакцией, также гипераккумулируют ФДГ. При оценке органов малого таза у женщин важно знание факторов, способных исказить интерпретацию результатов ПЭТ/КТ с ФДГ, поскольку изменения поглощения ФДГ происходят в соответствии с менструальным циклом и менопаузальным состоянием. Случайные находки при визуализации женских половых органов могут представлять трудности в дифференциальной диагностике, поскольку ложноположительные и ложноотрицательные результаты при доброкачественных и злокачественных процессах не являются редкостью. Гинекологические злокачественные новообразования остаются серьезной проблемой для общественного здравоохранения. Обзор часто встречающихся доброкачественных и злокачественных вариантов накопления ФДГ при ПЭТ/КТ области таза у женщин может помочь в улучшении дифференциальной диагностики.

1. Нормальные варианты ПЭТ/КТ с ФДГ у женщин в пре- и постменопаузе

Понимание нормальных метаболических и структурных изменений, происходящих в женских половых путях на протяжении всей жизни, имеет значение при интерпретации изображений ПЭТ/КТ таза. Эти процессы связаны с гормональными влияниями и, следовательно, наиболее заметны в репродуктивном периоде и в начале постменопаузального периода. На ПЭТ/КТ-изображениях изменения в первую очередь видны в матке и яичниках и при отсутствии гинекологических заболеваний характер накопления ФДГ может существенно варьировать в зависимости от менструального цикла, который, как известно, состоит из 4 фаз: менструальных выделений, пролиферативной, овуляторной и секреторной [1]. Сообщалось, что два пика повышенного поглощения ФДГ в эндометрии возникают в первые дни менструации и/или во время овуляции [2]. Также повышенное поглощение ФДГ можно увидеть в вагинальных тампонах [3]. Физиологическое накопление, связанное с менструацией, равномерно распределяется в полости матки в соответствии с распределением жидкости, в отличие от злокачественного новообразования эндометрия, которое часто является очаговым с различной степенью инвазии миометрия и видимой опухолью при КТ. Физиологическое поглощение ФДГ эндометрием можно наблюдать примерно в первые 3 дня менструации и в овуляторную фазу менструального цикла у женщин в пременопаузе. Средние стандартизированные значения поглощения эндометрием (SUV) в исследовании H. Lerman и соавт. [1] у женщин в пременопаузе составили $5 \pm 3,2$ (SD) и $3,7 \pm 0,9$ во время менструации и овуляции соответственно и $2,6 \pm 1,1$ и $2,5 \pm 1,1$ во время пролиферативной и секреторной фаз соответственно. Среднее значение SUV эндометрия у женщин в постменопаузе, получавших гормональную терапию, составило $1,7 \pm 0,7$ (диапазон 1,1–2,6), а гормональная терапия у женщин в постменопаузе не была связа-



на со значительным изменением поглощения ФДГ эндометрием.

У женщин в пременопаузе очаговое интенсивное поглощение ФДГ может наблюдаться в яичниках, обычно оно одностороннее и имеет округлую или дисковидную форму с гладкими краями, возникает примерно во время овуляции в фазе от поздней фолликулярной до ранней лютеиновой [1]. Во время фолликулярной фазы рекрутируются один или несколько фолликулов, но только один из них становится доминирующим и овулирует [4]. *Фолликулярная киста* образуется, если доминантный фолликул не овулирует. Желтое тело представляет собой остаток зрелого фолликула, который подвергается гипертрофии и васкуляризации и служит “временной железой”, которая инволютирует и исчезает к концу цикла, если беременность не наступает [4]. Таким образом, желтое тело видно во время секреторной фазы, и, если оно не регрессирует за это время, образуется заполненная жидкостью *киста желтого тела*. Она может сохраняться в течение нескольких месяцев и визуализируется как небольшая округлая киста в придатках с интенсивным поглощением ФДГ и контрастным усилением по периферии, обычно называемая “огненным кольцом”.

У женщин, использующих противозачаточную внутриматочную спираль, отсутствующее или умеренное поглощение ФДГ вне менструальной и овуляторной фаз, вероятно, имеет физиологическое происхождение [5]. Это Т-образные рентгеноконтрастные устройства, которые вызывают локальную воспалительную реакцию [6] с умеренным поглощением ФДГ [7]. Использование оральных контрацептивов существенно не изменяет поглощение ФДГ эндометрием [1].

Естественная менопауза определяется как отсутствие менструаций в течение 12 мес подряд и наступает в возрасте около 50 лет [8]. Гормональные изменения приводят к постепенному снижению физиологического поглощения ФДГ и сопровождаются прогрессирующим уменьшением объема репродуктивных органов [2]. В поздней постменопаузе физиологическое поглощение ФДГ обычно не наблюдается в матке или яичниках [1]. Не было показано, что заместительная гормональная терапия влияет на поглощение ФДГ эндометрием у женщин в постменопаузе. Поглощение ФДГ эндометрием у пациенток с аменореей похоже на таковое у женщин в постменопаузе, в то время как у женщин с олигоменореей оно высокое, со значениями, напоминающими значения в середине цикла у здоровых.

В ограниченном количестве исследований сообщалось о характере поглощения ФДГ бере-

менными женщинами: в норме в матке оно слабое, а картина поглощения ФДГ плодом зависит от гестационного возраста [9, 10]. Физиологическое интенсивное поглощение ФДГ маткой и шейкой матки наблюдается у недавно родивших пациенток [11].

Чтобы свести к минимуму возможность неправильной интерпретации, необходима корреляция с менструальным циклом. Следовательно, визуализацию оптимально планировать в течение недели до или через несколько дней после менструации, если цикл регулярный, что редко наблюдается среди пациенток с известным или подозреваемым злокачественным новообразованием [1, 2, 5].

2. Дифференциальная диагностика новообразований

2.1. Матка

Лейомиомы, или миомы, происходят преимущественно из гладкомышечной ткани миометрия и являются наиболее распространенными доброкачественными новообразованиями матки (около 70%) [12]. Они частично гормонозависимы и наиболее распространены у женщин в пременопаузе, являются частой случайной находкой при ПЭТ/КТ и представляют собой потенциальную ловушку при дифференциации доброкачественного и злокачественного накопления ФДГ в матке [13]. Поглощение ФДГ при лейомиомах может значительно различаться у женщин в пре- и постменопаузе, но аномальное поглощение ФДГ чаще наблюдается у женщин в пременопаузе и меняется в зависимости от менструального цикла [14]. Обычно множественные лейомиомы имеют размер от нескольких миллиметров до 20 см в диаметре и более, часто с участками некроза, кальцификации и кровоизлияний [13]. Важно отметить, что появление нового очага поглощения ФДГ или увеличение поглощения ФДГ в ранее существовавшей лейомиоме наблюдается часто и не обязательно сигнализирует о злокачественной трансформации, тем не менее описаны редкие случаи (0,13–0,29%) трансформации в лейомиосаркому, визуализированные при ПЭТ/КТ, которые часто бессимптомны, но примерно у 30% женщин в какой-то момент развивается вагинальное кровотечение, появляются пальпируемое образование в области малого таза и боли [15].

По данным S. Kusunoki и соавт. [15], медиана SUV_{max} (максимального стандартизованного значения поглощения) для саркомы матки и лейомиомы составила 12 и 4,1 соответственно, эти значения достоверно отличались. SUV_{max} более 7,5 позволило исключить лейомиому с чувствительностью 80,8% и специфичностью 100% (plo-



щадь под кривой 95,3%). Пороговое значение SUV_{max} равное 7,5, дает 100% специфичность, а пороговое значение SUV_{max} равное 4,4, дает 100% отрицательное прогностическое значение. Комбинация уровней ПЭТ/КТ и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) имела чувствительность 86,6%, специфичность 100%, положительную прогностическую ценность 100% и отрицательную – 90,4%. Никакой связи между гистопатологией или стадией FIGO и значением поглощения ФДГ при ПЭТ/КТ не наблюдалось.

Злокачественные новообразования в теле матки включают карциному, при этом карцинома эндометрия является наиболее распространенной (~90%), а также различные формы очень редких и часто агрессивных сарком матки [16]. Они сопровождаются интенсивным поглощением ФДГ, однако сильно варьируемое поглощение ФДГ в лейомиомах затрудняет дифференциацию [13]. Лейомиосаркома является наиболее частой саркомой матки, но встречается только в 1% всех гинекологических злокачественных новообразований [17]. Она часто визуализируется как большая гетерогенная масса с внутренними участками некроза, может напоминать дегенеративную лейомиому матки, как с участками некроза, так и с интенсивным поглощением ФДГ.

Сообщается, что все методы визуализации менее чувствительны, чем хирургическое определение метастазов в лимфатических узлах, хотя ПЭТ/КТ с ФДГ обеспечивает большую чувствительность (80%), чем размер узлов по УЗИ (65%), морфология узлов (75%) или диффузионно-взвешенная визуализация МРТ (70%) для выявления поражения лимфатических узлов [17]. ПЭТ/КТ с ФДГ является превосходным методом для выявления новообразования до операции и рецидива заболевания после операции с общей точностью 88% для выявления узлового заболевания и 93% для рецидива.

Доброкачественные полипы эндометрия нередко встречаются в клинической практике, чаще у женщин, получавших тамоксифен, при отсутствии аномального поглощения ФДГ [18]. *Аденомиоз* является распространенным доброкачественным гинекологическим заболеванием у женщин репродуктивного возраста и характеризуется наличием диффузного или очагового эктопического эндометрия в пределах миометрия [19], и лишь в нескольких сообщениях описаны различные значения поглощения ФДГ, варьирующие от умеренного до высокого [13, 20].

Гиперплазия эндометрия возникает при аномальной пролиферации стромы и является одной из наиболее частых причин аномальных маточных

кровотечений [21], в основном наблюдается у женщин в постменопаузе и у женщин, получающих любую форму антиэстрогенных препаратов, например тамоксифена [22]. Ее можно разделить на типичную и атипичную, причем последняя является потенциальным предшественником карциномы эндометрия [21]. Гиперплазия эндометрия в основном сопровождается умеренным поглощением ФДГ или его отсутствием [13, 23]. Это еще раз подчеркивает, что поглощение ФДГ эндометрием у женщин в постменопаузе или аномальное поглощение ФДГ у женщин, получающих лечение антиэстрогенами, имеет клиническое значение и требует дальнейшего изучения.

2.2. Шейка матки

Рак шейки матки является четвертой по частоте причиной смерти от рака у женщин во всем мире и наиболее распространенным гинекологическим злокачественным новообразованием в западном мире [24]. Персистирующий вирус папилломы человека (ВПЧ) является основной причиной рака шейки матки. Наиболее распространенным гистологическим типом является плоскоклеточный рак (около 80%), за которым следует аденокарцинома [25]. Рак шейки матки независимо от гистологического подтипа обычно накапливает ФДГ [26]. У пациенток с установленным раком шейки матки поглощение ФДГ эндометрием может быть повышено вследствие стеноза и скопления жидкости и не обязательно представляет собой распространение в тело матки [1]. Е.А. Kidd и соавт. [26] сообщили, что SUV_{max} у 287 пациенток с раком шейки матки составило в среднем 11,4 (диапазон 1–50,4). Не было отмечено корреляции между SUV_{max} , стадией FIGO и объемом опухоли. Сообщалось, что плоскоклеточные карциномы имеют более высокие значения SUV_{max} , чем неплюскоклеточные карциномы, а низкодифференцированные карциномы, как сообщается, имеют более высокие значения SUV_{max} , чем высоко- или умеренно дифференцированные карциномы. Более высокие значения SUV_{max} были связаны с повышенным риском метастазирования в лимфатические узлы. Таким образом, ПЭТ/КТ полезна для определения отдаленных метастазов и оценки риска их возникновения. Хотя ПЭТ/КТ может обнаружить метастазы в лимфатических узлах нормального размера от 5 до 9 мм, которые не могут диагностировать обычные КТ и МРТ, даже ПЭТ/КТ не может обнаружить микрометастазы, размер которых ниже чувствительности аппарата ПЭТ.

Доброкачественные кистозные поражения шейки матки широко распространены и включают эндоцервикальную гиперплазию, наботовы кисты



и цервицит матки с ретенционными кистами, если они сопровождаются воспалением, то их может быть трудно отличить от редкой злокачественной аденомы, которая имеет схожие результаты визуализации с высоким поглощением ФДГ и мультифокулярными кистами в шейке матки [27]. Это редкая форма рака шейки матки (<1%) с плохим прогнозом из-за ранней диссеминации [28]. К *доброкачественным солидным образованиям шейки матки* относятся полипы эндоцервикса и лейомиомы шейки матки. Эндоцервикальные полипы являются частой причиной кровотечений с низкой частотой малигнизации. Лейомиомы шейки матки встречаются редко, частота их возникновения колеблется от 0,6 до 10% всех лейомиом матки, и они имеют те же визуальные характеристики, что в матке [29].

2.3. Яичник

Рак яичников является третьим наиболее распространенным гинекологическим злокачественным новообразованием и вторым наиболее фатальным с самой высокой заболеваемостью в возрастной группе 50–59 лет [30]. Большинство женщин (>70%) имеют на момент постановки диагноза запущенную стадию заболевания FIGO III или IV, что обуславливает высокий уровень смертности [31]. Рак яичников на поздних стадиях имеет неблагоприятный прогноз с 5-летней выживаемостью 17,9% при IV стадии заболевания. Важно отметить, что признаки новообразований яичников на компьютерной и МР-томограммах часто перекрываются и не обладают специфичностью [32]. Точность диагностики улучшается с добавлением функциональной информации, полученной с помощью ПЭТ с ФДГ при диагностике и определении стадии рака яичников, но не исключает полностью возможность появления ложноположительных или ложноотрицательных результатов. Суммарная чувствительность и специфичность ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ФДГ при дифференциации доброкачественных и злокачественных опухолей яичников или придатков составила 0,94 (95% ДИ 0,87–0,97) и 0,86 (95% ДИ 0,79–0,91) соответственно [33].

В развитых странах рак яичников является вторым по распространенности, но наиболее летальным гинекологическим злокачественным новообразованием. Одной из существенных причин плохого прогноза является то, что у большинства пациентов с ранней стадией заболевание протекает бессимптомно, а к моменту выявления и постановки диагноза у большинства пациентов заболевание уже находится на поздней стадии, часто с перитонеальными метастазами. Наличие перитонеального карциноматоза является одним

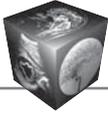
из важнейших прогностических маркеров у больных раком яичников, поэтому важно как можно раньше выявить поражение брюшины, чтобы начать соответствующую онкологическую или хирургическую терапию. Выявление перитонеального распространения может быть затруднено при диагностической КТ и МРТ. В метаанализе J. Li и соавт. [34] показали, что совокупная чувствительность для выявления заболеваний брюшины при ПЭТ/КТ (84%) была значительно выше, чем при ПЭТ (60%).

Первичные новообразования яичников в широком смысле можно разделить на эпителиальные опухоли, опухоли зародышевых клеток и опухоли стромы полового тяжа. Подавляющее большинство злокачественных новообразований яичников (>90) имеют эпителиальное происхождение. На самом деле считается, что большинство случаев рака яичников возникает вне яичника, то есть в фаллопиевых трубах.

Эпителиальные опухоли яичников

Эпителиальные опухоли яичников подразделяют на доброкачественные, пограничные и злокачественные, они возникают на поверхности эпителия [34]. Серозные и муцинозные опухоли часто бывают доброкачественными, а эндометриоидные и светлоклеточные опухоли почти всегда злокачественны [35]. *Доброкачественная серозная цистаденома* является наиболее частым новообразованием яичников. Обычно это тонкостенная (<3 мм) простая однокамерная киста без солидных компонентов, без узловатых стенок или утолщенных перегородок, часто двусторонняя. *Доброкачественные муцинозные цистаденомы* имеют те же визуальные характеристики, что и серозные, но имеют тенденцию быть более крупными, мультифокулярными и односторонними [32]. Цистаденомы обычно сопровождаются незначительным поглощением ФДГ или без него внутри и/или по краям кист [36].

На момент выявления *серозная карцинома высокой степени злокачественности* часто имеет внеорганный распространение с инкапсуляцией соседних органов, поражением брюшины с асцитом и обширным распространением в брюшной полости [37]. Отслоившиеся опухолевые клетки мигрируют в брюшную полость с циркулирующей перитонеальной жидкостью и чаще всего имплантируются на поверхности брюшины: в дугласовом пространстве, параколических желобах, брыжейке тонкой кишки, илеоцекальном переходе и на поверхности диафрагмы, особенно в правом поддиафрагмальном пространстве [38]. Правый гемоторакс может быть вовлечен из-за его сооб-



щения с правым поддиафрагмальным пространством. При наличии асцита можно наблюдать высокое накопление ФДГ в асцитической жидкости. Обнаружение поражения брюшины необходимо для определения стадии рака яичников и последующей терапии. В недавнем метаанализе сообщалось о совокупной чувствительности и специфичности 92 и 85% соответственно для ПЭТ/КТ с ФДГ при выявлении поражений брюшины, что было сравнимо с эффективностью МРТ. Ложноотрицательные результаты в основном связаны с низким пространственным разрешением как при КТ, так и при ПЭТ: субсантиметровые поражения не всегда выявляются при ПЭТ [39]. Обычные места внутрибрюшного метастазирования включают: брюшину, парааортальные лимфатические узлы, толстую кишку, тазовые лимфатические узлы и печень [40]. Частые метастатические экстраабдоминальные очаги включают: легкие, плевру, грудные лимфатические узлы. Результаты визуализации, указывающие на серозную карциному высокой степени злокачественности, включают: а) диаметр поражения > 4 см; б) папиллярные выросты; в) стенки и перегородки толщиной более 3 мм; г) частично кистозное, частично солидное образование; д) дольчатая плотная масса. При ПЭТ/КТ солидные компоненты обычно сопровождаются патологическим поглощением ФДГ.

Муцинозные новообразования яичника составляют 10–15% всех опухолей яичников, 80% из них доброкачественные [35]. Характерным признаком муцинозных новообразований является скопление желеобразной жидкости – муцина. При визуализации эти опухоли обычно большие (>10 см), множественные и односторонние [40]. Муцинозная цистаденокарцинома встречается редко и диагностируется на ранней стадии. Ложноотрицательные результаты ПЭТ/КТ с ФДГ могут быть связаны с низкой клеточностью опухоли и обилием муцина.

Псевдомиксома брюшины (ПМБ) – редкое заболевание, характеризующееся прогрессирующим накоплением муцинозного асцита в брюшной полости. ПМБ связана с муцинозными опухолями в желудочно-кишечном тракте, особенно в аппендиксе, с вторичным поражением яичников [41]. Сообщалось, что ПЭТ/КТ с ФДГ полезна при предоперационном стадировании ПМБ высокой степени [36]. При наличии двусторонних опухолей яичников с подозрением на муцинозное происхождение следует учитывать возможность метастазирования, особенно из желудочно-кишечного тракта.

Опухоли Крукенберга являются наиболее частым подтипом метастазирования в яичники и гистологически характеризуются перстневиднокле-

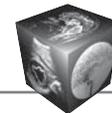
точной опухолью [42]. Опухоли Крукенберга часто бывают двусторонними и преимущественно поражают женщин в пременопаузе и имеют неблагоприятный прогноз. В зависимости от первичной локализации метастазы в яичники сопровождаются переменным поглощением ФДГ от слабого до интенсивного и могут быть кистозного или солидного типа. Метастазы в яичники также могут возникать в результате прямого распространения опухоли в соседние органы, поэтому бывает трудно различить первичные и метастатические поражения яичников [43].

Серозные и муцинозные пограничные опухоли являются наиболее частым подтипом пограничных эпителиальных новообразований, которые обычно поражают молодых женщин, относительно редки, имеют хороший прогноз из-за отсутствия стромальной инвазии. Вовлечение лимфатических узлов также является относительно распространенным явлением [44]. Пграничные опухоли имеют такие же результаты визуализации, как и их злокачественные аналоги, серозные пограничные опухоли чаще поражают оба яичника по сравнению с муцинозными, которые чаще всего односторонние [13]. ПЭТ/КТ с ФДГ имеет низкую диагностическую ценность при дифференциации доброкачественных и пограничных опухолей, поскольку эти опухоли могут сопровождаться низким поглощением ФДГ или его отсутствием, что дает ложноотрицательные результаты, поэтому они редко диагностируются до операции [44].

Эндометриоидная и светлоклеточная карциномы почти всегда инвазивны и злокачественны [35], как правило, интенсивно накапливают ФДГ при неспецифических визуальных изменениях на компьютерной томограмме в виде большого сложного кистозного образования с солидными компонентами [42]. Оба подтипа также тесно связаны с эндометриозом [45].

Опухоли Бреннера являются редкими эпителиально-стромальными новообразованиями, которые составляют 2–3% всех новообразований яичников [46], редко бывают злокачественными, обычно небольшого размера (<2 см) и часто выявляются случайно. При визуализации представляют собой мультифокальную кистозную структуру с солидными компонентами, часто содержащими кальцификаты, и с переменным поглощением ФДГ в зависимости от подтипа (доброкачественная, пограничная, злокачественная), при этом большинство доброкачественных опухолей Бреннера демонстрируют слабое поглощение ФДГ [47].

Цистаденофиброма яичника – доброкачественная опухоль эпителиально-стромального происхождения, которая может имитировать злокаче-



ственное образование за счет наличия солидных компонентов. ПЭТ/КТ с ФДГ может быть ценна для дифференциации различных типов фибром яичников и злокачественных образований [42].

Неэпителиальные опухоли яичников

Опухоли зародышевых клеток представляют собой гетерогенную группу опухолей, возникающих из первичных зародышевых клеток эмбриональной гонады [48]. В эту группу входят *доброкачественные зрелые тератомы* (дермоидные кисты) – вторые по частоте встречаемости новообразования яичников, в то время как другие опухоли этой группы (дисгерминома, хориокарцинома, эмбриональная карцинома) являются злокачественными и встречаются очень редко. Зрелые тератомы в основном поражают молодых женщин (20–40 лет), у большинства из которых на момент постановки диагноза симптомы отсутствуют. Они состоят из зрелой ткани по крайней мере двух из трех слоев зародышевых клеток. Эти опухоли обычно одногнездные, заполнены сальным содержимым и имеют узел Рокитанского, или дермоидную пробку, что является характерным признаком зрелой тератомы. Обычно это твердое внутриполостное выпячивание, обычно содержащее волосы, кость или зубы. Зрелые кистозные тератомы могут сопровождаться переменным поглощением ФДГ в зависимости от присутствующей ткани. Интенсивное поглощение ФДГ можно наблюдать в опухолях, содержащих большое количество ткани ЦНС, что может представлять собой потенциальную ловушку при различении зрелых и незрелых тератом [49].

Глиоматоз брюшины – редкое заболевание, характеризующееся наличием перитонеальных образований, состоящих преимущественно из зрелой глиальной ткани. Глиоматоз часто связан с незрелой или зрелой тератомой [50]. При ПЭТ/КТ с ФДГ это состояние может быть легко ошибочно истолковано как рак яичников с поражением брюшины из-за присущего высокого уровня поглощения ФДГ глиальными клетками.

Опухоли стромы полового тяжа

Опухоли стромы полового тяжа происходят из мезенхимальных клеток эмбриональных гонад или клеток примитивных половых тяжей и составляют около 8% всех новообразований яичников [51]. *Гранулезноклеточная опухоль* является наиболее распространенной злокачественной опухолью в этой группе. Эти опухоли происходят из клеток половых тяжей в яичнике и могут продуцировать эстроген, имеют широкий спектр результатов визуализации на компьютерной томограмме, начи-

мая от преимущественно солидных до полностью кистозных опухолей, иногда связанных с увеличением матки из-за гиперэстрогемии [52]. Они считаются низкоккачественными и связаны с ложноотрицательными результатами при ПЭТ/КТ с ФДГ. Тем не менее есть сообщения о случаях с высоким поглощением ФДГ в первичных гранулезноклеточных опухолях с метастазами.

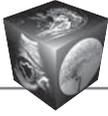
Метастатические опухоли яичников и лимфома

Вторичные опухоли яичников составляют примерно 10–30% всех злокачественных новообразований яичников [53]. Наиболее распространенной первичной локализацией в генитальной области являются тело и шейка матки, а негенитальные первичные опухоли происходят преимущественно из желудочно-кишечного тракта (толстая кишка, аппендикс) и молочной железы, включая опухоли Крукенберга [54]. Лимфома яичников чаще всего является не первичной, а частью системного заболевания.

Таким образом, ПЭТ/КТ с ФДГ обладает высокой диагностической точностью при различении доброкачественных и злокачественных опухолей яичников. При случайном выявлении образований в яичнике у бессимптомной женщины в пре- или постменопаузе следует иметь в виду, что подавляющее большинство всех выявленных образований яичников представляют собой доброкачественные однокамерные кисты, которые со временем спонтанно рассасываются.

2.4. Влагалище

Первичный рак влагалища является редким заболеванием и составляет менее 2% всех гинекологических злокачественных новообразований, при этом плоскоклеточный рак является наиболее распространенным подтипом [55]. ПЭТ/КТ с ФДГ, как было показано, выявляет первичную карциному и метастазы в лимфатических узлах с высокой диагностической точностью [56]. Тем не менее, когда злокачественное новообразование встречается во влагалище, оно, скорее всего, связано с метастазированием путем контактиозного распространения (>80%) из соседних органов в репродуктивном тракте (чаще *карциномы шейки матки*) и прямой кишке, другие первичные локализации встречаются крайне редко. Другие первичные опухоли влагалища включают *злокачественную меланому, лейомиосаркому и аденокарциному* [57]. Доброкачественные поражения, такие как *лейомиомы, полипы и эндометриоз*, также редки, но являются потенциальной ловушкой для неправильной интерпретации. У женщин, использующих



вагинальные тампоны, можно наблюдать высокое поглощение ФДГ во влагалище, что связано с загрязнением тампона мочой, который на компьютерной томограмме изоденсный. Другие инородные тела, которые в норме можно увидеть во влагалище, такие как менструальные чаши, рентгеноконтрастны и могут быть легко идентифицированы по их характерной форме.

2.5. Вульва

Карцинома вульвы составляет около 3% всех гинекологических злокачественных новообразований, при этом *плоскоклеточная карцинома* является наиболее распространенным подтипом (>80%) [58]. Карцинома вульвы в основном поражает пожилых женщин (старше 70 лет), но заболеваемость у молодых женщин ВПЧ-ассоциированной карциномой растет. Вульва представляет собой наружную часть женских половых путей и состоит из лобка, больших и малых половых губ, клитора, бартолиновых желез и преддверия влагалища. Оценка злокачественных новообразований вульвы с помощью ПЭТ/КТ с ФДГ может быть сложной задачей из-за анатомических особенностей и контаминации мочой с ФДГ в области вульвы. Большие половые губы являются основным местом, по давлению большинства случаев рака вульвы. На ранних стадиях заболевания чувствительность и специфичность ПЭТ/КТ с ФДГ в выявлении поражения лимфатических узлов в паху составляет 53 и 85% [56]. На более поздних – сообщают об отличной эффективности ПЭТ/КТ с ФДГ для паховых узлов с чувствительностью 100% и специфичностью 85%, с отсечкой SUV_{max} 4,5 или значением, в два раза превышающим среднее значение SUV (SUV_{mean}) печени. Если есть ограничения на биопсию сторожевого лимфатического узла, ПЭТ/КТ с ФДГ может играть роль в оценке поражения тазовых лимфатических узлов [56]. Перед планируемой операцией по экзентерации малого таза ПЭТ/КТ с ФДГ может сыграть роль в исключении отдаленных метастазов. Наличие стадии IVB включает вовлечение внутритазовых лимфатических узлов. Было показано, что во многих случаях ПЭТ/КТ с ФДГ более чувствительна, чем только КТ, при выявлении небольших положительных узлов.

Бартолиновые кисты часто встречаются у женщин репродуктивного возраста и возникают в результате обструкции протоков бартолиновых желез, секретирующих муцин, которые расположены билатерально у заднелатерального входа во влагалище [59]. Простые кисты бартолиновой железы обычно не поглощают ФДГ, но могут проявляться интенсивным поглощением ФДГ при инфицирова-

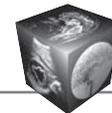
нии или в случае образования абсцесса. Первичное злокачественное новообразование или метастазы в бартолиновых железах встречаются редко, но в отчетах о таких случаях описано интенсивное поглощение ФДГ. Следует отметить, что у женщин старше 40 лет бартолиновые железы инволютированы, и поглощение ФДГ в бартолиновых железах у этих женщин не следует отбрасывать как доброкачественное явление без дальнейшего клинического обследования. Инфекционный или химически индуцированный вульвовагинит является распространенным состоянием и может проявляться интенсивным поглощением ФДГ в области вульвы и влагалища, что потенциально может ошибочно интерпретироваться как злокачественное новообразование.

2.6. Эндометриоз

Эндометриоз является относительно распространенным доброкачественным гинекологическим заболеванием (10% в общей популяции), поражающим исключительно женщин репродуктивного возраста с пиком заболеваемости в возрасте 25–29 лет [60]. Он может проявляться широким спектром симптомов в зависимости от места поражения и остается сложной диагностической и терапевтической проблемой.

В некоторых исследованиях описан аномальный характер поглощения ФДГ при эндометриозе, однако в большинстве эндометриозидных поражений нет специфического поглощения ФДГ [61]. Таким образом, ПЭТ/КТ с ФДГ не подходит для диагностики или стадирования эндометриоза.

Эндометриоз, поражающий яичники, называют эндометриомами, они могут быть одно- или многоочаговыми, могут демонстрировать, в зависимости от тяжести, широкий спектр результатов визуализации и иногда быть неотличимыми от рака яичников, поскольку существует значительное совпадение визуализационных характеристик. Сопутствующие эндометриозидные образования в брюшной полости могут еще больше исказить визуальную оценку, имитируя перитонеальный карциноматоз. При тяжелом эндометриозе выделяемые кровяные сгустки могут вызывать спайки между яичниками и фаллопиевыми трубами, что приводит к тому, что часто называют “целующимися яичниками”. Уровень ракового антигена СА-125 может быть значительно повышен при эндометриозе [62]. Важно отметить, что эндометриоз может служить предшественником некоторых гистологических подтипов рака яичников, таких как карцинома эндометрия и светлоклеточная карцинома, поэтому точный диагноз можно поставить только при гистологическом подтверждении.



3. Визуализация органов малого таза с помощью ПЭТ/КТ с ФДГ после операции, химиотерапии и лучевой терапии

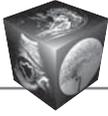
Варианты лечения гинекологических злокачественных новообразований включают хирургическое вмешательство, химиотерапию и лучевую терапию (ЛТ), часто в комбинации в зависимости от первичной локализации и стадии. Визуализация после лечения играет решающую роль в оценке терапии и последующем выявлении рецидива, но может быть сложной задачей из-за изменений нормальной анатомии. Знание ожидаемых результатов ПЭТ/КТ с ФДГ в зависимости от типа проводимой терапии, а также потенциальных посттерапевтических осложнений имеет решающее значение [63]. Хирургические процедуры и ЛТ вызывают активные воспалительные реакции с накоплением ФДГ в операционном ложе и, в случае ЛТ, в пределах поля облучения. Таким образом, обычно рекомендуется отложить ПЭТ/КТ с ФДГ на 8 нед после операции и на 12 нед после ЛТ, чтобы уменьшить вероятность ложноположительных результатов в раннем посттерапевтическом периоде.

Осложнения после ЛТ подразделяются на острые и хронические, из которых хронические осложнения могут проявиться через несколько лет после ЛТ и вызывать искажения изображений, которые могут быть ошибочно истолкованы как рецидив заболевания. Например, индуцированное ЛТ повреждение дистальной части мочеточников и последующее образование стриктур, приводящее к гидроуретеру и гидронефозу, может произойти через несколько лет после ЛТ и имитировать рецидив заболевания параметрия [64]. При ЛТ органов малого таза органы, подверженные изменениям, индуцированным ЛТ, включают мочевой пузырь, толстую и тонкую кишку, кости таза и половые пути, вызывая множество неспецифических симптомов и потенциальных ловушек при визуализации. У женщин в пременопаузе, получающих ЛТ области таза, сохранение функции яичников и предотвращение преждевременной менопаузы и бесплодия особенно важны для сохранения качества жизни. При транспозиции яичника его перемещают из поля облучения хирургическим путем латерально внутри таза. Если функция яичников сохранена, могут наблюдаться физиологические вариации поглощения ФДГ в соответствии с менструальным циклом [63]. Часто встречаются доброкачественные кистозные образования, обычно фолликулярные кисты. Формирование фистулы является поздним осложнением после ЛТ малого таза или хирургического вмешательства, которое часто возникает между

мочевым пузырем или прямой кишкой и влагалищем [65]. Формирование фистулы представляет собой диагностическую проблему при ПЭТ/КТ, поскольку свищевые ходы могут быть трудно дифференцированы на компьютерной томограмме, а аномальное поглощение ФДГ обычно наблюдается в окружающих тканях из-за воспаления, а в случае пузырьно-влагалищного свища дополнительно осложняется контаминацией мочой из-за экскреции ФДГ. Кроме того, образование свищей может быть вызвано первичной опухолью или рецидивирующим заболеванием [65]. Недавно выполненная конизация шейки матки сопровождается диффузным поглощением ФДГ, что потенциально может маскировать или имитировать онкологическое заболевание.

4. Воспалительные заболевания органов малого таза и тазовые инфекции

Хорошо известно, что инфекционные и воспалительные состояния могут демонстрировать интенсивное поглощение ФДГ, которое потенциально может имитировать злокачественное новообразование или быть неотличимым от него. *Воспалительные заболевания органов малого таза* (ВЗОМТ) верхних отделов половых путей (эндометрия, фаллопиевых труб, яичников или тазовой брюшины) обычно вызывают микробы из нижних отделов. Патогены, передающиеся половым путем, вызывают примерно 85% острых случаев ВЗОМТ, причем двумя наиболее распространенными возбудителями являются *Chlamydia trachomatis* и *Neisseria gonorrhoea* [66]. *Сальпингит* – воспаление одной или обеих фаллопиевых труб, является наиболее частым проявлением острого ВЗОМТ, часто вовлекающего ипсилатеральный яичник [67]. При сальпингите фаллопиевы трубы отечны и перегружены воспаленными структурами с высоким поглощением ФДГ. Серьезным и поздним осложнением ВЗОМТ является прогрессирование воспаления с последующим формированием tuboовариального абсцесса, который визуализируется как сложная кистозно-солидная масса. ВЗОМТ может привести к длительной нетрудоспособности, хронической боли, бесплодию или внематочной беременности [66]. Внематочная беременность в 95% случаев трубная, при КТ с контрастным усилением плодное яйцо может быть идентифицировано как внематочная кистозная структура с некоторой степенью периферического усиления контраста. Хроническое ВЗОМТ (>30 дней), вызванное микобактериями туберкулеза, встречается редко и обычно является вторичным по отношению к другим первичным лока-



лизициям. Диагноз затруднен из-за неспецифических симптомов, включающих асцит, нарушения менструального цикла и пальпируемые образования в области малого таза [68]. При этом всегда вовлекаются фаллопиевы трубы, обычно с двух сторон, за которыми следуют эндометрий, шейка матки и яичники, очень редко вовлекаются влагалище и вульва. При визуализации может быть ошибочно диагностирован как метастатический рак яичников, особенно если присутствует поражение брюшины. Туберкулезная инфекция вызывает гранулематозный воспалительный ответ с высокой avidностью ФДГ, который может быть полезен при оценке заболевания и последующем наблюдении [69]. Инфекции, вызванные актиномицетами, из-за медленного роста, редкости и способности имитировать злокачественное новообразование редко диагностируются до операции [70]. Результаты визуализации часто неспецифичны, но актиномикоз следует учитывать, когда при визуализации обнаруживаются инфильтративные массы, которые проникают через плоскости и границы тканей [71]. Подобно туберкулезу, актиномикоз вызывает гранулематозное воспаление с высоким накоплением ФДГ.

Инфекция и воспаление из негинекологических источников в области таза могут происходить из аппендикса, толстой кишки и мочевых путей. Общие особенности визуализации абсцесса таза включают: толстые или тонкие стенки, простые или сложные скопления жидкости, прилегающие жировые тяжи и свободную жидкость, сопровождающиеся интенсивным поглощением ФДГ. Аппендицит и дивертикулит трудно отличить от ВЗОМТ в случае вовлечения придатков и образования абсцесса. Дивертикулез имеет высокую распространенность в общей популяции, а наличие дивертикулов в пораженных сегментах свидетельствует о дивертикулите [72].

Заключение

Характер поглощения ФДГ женскими половыми путями необходимо соотносить с менопаузальным статусом пациентки и с менструальным циклом. Поглощение ФДГ яичниками или маткой у женщин в постменопаузе следует дополнительно исследовать для исключения злокачественных новообразований. Гинекологические злокачественные новообразования в основном сопровождаются гипераккумуляцией ФДГ, но бывают ложноотрицательные результаты при определенных гистологических подтипах и при наличии некроза. Ложноположительные результаты при доброкачественных опухолях, инфекциях и в посттерапевтических условиях не являются редкостью.

Субсантиметровые поражения могут быть пропущены из-за низкого пространственного разрешения ПЭТ/КТ, особенно при оценке потенциального заболевания брюшины. Постлучевые осложнения могут проявиться через несколько лет после завершения лучевой терапии, поэтому необходим тщательный анализ истории болезни пациента.

Участие авторов

Николаева Е.А. – написание текста, подготовка и создание опубликованной работы.

Тарачкова Е.В. – подготовка и редактирование текста.

Шейх Ж.В. – ответственность за целостность всех частей статьи.

Тюрин И.Е. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Nikolaeva E.A. – writing text, preparation and creation of the published work.

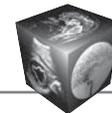
Tarachkova E.V. – text preparation and editing.

Sheikh Zh.V. – responsibility for the integrity of all parts of the article.

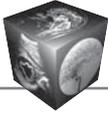
Tyurin I.E. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Lerman H., Metser U., Grisaru D. et al. Normal and abnormal ^{18}F -FDG endometrial and ovarian uptake in pre- and postmenopausal patients: assessment by PET/CT. *J. Nucl. Med.* 2004; 45 (2): 266–271. PMID: 14960646.1
2. Kim T.H., Kim M.R., Jung Y., An Y.S. Relationship between sex hormones levels and ^{18}F -FDG uptake by the ovaries in premenopausal woman. *Radiol. Oncol.* 2019; 53 (3): 293–299. <http://doi.org/10.2478/raon-2019-0035>
3. Burger I.A., Scheiner D.A., Crook D.W. et al. FDG uptake in vaginal tampons is caused by urinary contamination and related to tampon position. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2011; 38 (1): 90–96. <http://doi.org/10.1007/s00259-010-1618-7>
4. Najmabadi S., Schliep K.C., Simonsen S.E. et al. Menstrual bleeding, cycle length, and follicular and luteal phase lengths in women without known subfertility: A pooled analysis of three cohorts. *Paediatr. Perinat. Epidemiol.* 2020; 34 (3): 318–327. <http://doi.org/10.1111/ppe.12644>
5. Nishizawa S., Inubushi M., Okada H. Physiological ^{18}F -FDG uptake in the ovaries and uterus of healthy female volunteers. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2005; 32 (5): 549–556. <http://doi.org/10.1007/s00259-004-1703-x>
6. Costescu D., Chawla R., Hughes R. et al. Discontinuation rates of intrauterine contraception due to unfavourable bleeding: a systematic review. *BMC Womens Health.* 2022; 22 (1): 82. <http://doi.org/10.1186/s12905-022-01657-6>
7. Sosna J., Chisin R., Klein M. FDG positron emission tomographic imaging of the effect of an intrauterine device. *Clin. Nucl. Med.* 2002; 27 (2): 128–129. <http://doi.org/10.1097/00003072-200202000-00011>
8. Gold E.B., Crawford S.L., Avis N.E. et al. Factors related to age at natural menopause: longitudinal analyses from SWAN. *Am. J. Epidemiol.* 2013; 178 (1): 70–83. <http://doi.org/10.1093/aje/kws421>
9. Gill M.M., Sia W., Hoskinson M. et al. The use of PET/CT in pregnancy: A case report of malignant parathyroid



- carcinoma and a review of the literature. *Obstet. Med.* 2018; 11 (1): 45–49. <http://doi.org/10.1177/1753495X17724950>
10. Hsieh T.C., Wu Y.C., Sun S.S. et al. FDG PET/CT of a late-term pregnant woman with breast cancer. *Clin. Nucl. Med.* 2012; 37 (5): 489–491. <http://doi.org/10.1097/RLU.0b013e3182478a91>
 11. Lin E. FDG PET appearance of a postpartum uterus. *Clin. Nucl. Med.* 2006; 31 (3): 159–160. <http://doi.org/10.1097/O1.rlu.0000200726.93779.d9>
 12. Williams A.R.W. Uterine fibroids – what’s new? *F1000Res.* 2017; 6: 2109. Published 2017 Dec 7. <http://doi.org/10.12688/f1000research.12172.1>
 13. Kitajima K., Murakami K., Kaji Y., Sugimura K. Spectrum of FDG PET/CT findings of uterine tumors. *Am. J. Roentgenol.* 2010; 195 (3): 737–743. <http://doi.org/10.2214/AJR.09.4074>
 14. Pencharz D., Nathan M., Wagner T.L. Evidence-based management of incidental focal uptake of fluorodeoxyglucose on PET-CT. *Br. J. Radiol.* 2018; 91 (1084): 20170774. <http://doi.org/10.1259/bjr.20170774>
 15. Kusunoki S., Terao Y., Ujihira T. et al. Efficacy of PET/CT to exclude leiomyoma in patients with lesions suspicious for uterine sarcoma on MRI. *Taiwan J. Obstet. Gynecol.* 2017; 56 (4): 508–513. <http://doi.org/10.1016/j.tjog.2017.05.003>
 16. Miccò M., Sala E., Lakhman Y. et al. Imaging Features of Uncommon Gynecologic Cancers. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 205 (6): 1346–1359. <http://doi.org/10.2214/AJR.14.12695>
 17. Asano H., Isoe T., Ito Y.M. et al. Status of the Current Treatment Options and Potential Future Targets in Uterine Leiomyosarcoma: A Review. *Cancers (Basel).* 2022; 14 (5): 1180. <http://doi.org/10.3390/cancers14051180>
 18. Choi I.H., Jin S.Y., Jeon Y.M. et al. Tamoxifen-associated polypoid endometriosis mimicking an ovarian neoplasm. *Obstet. Gynecol. Sci.* 2015; 58 (4): 327–330. <http://doi.org/10.5468/ogs.2015.58.4.327>
 19. Garcia L., Isaacson K. Adenomyosis: review of the literature. *J. Minim. Invasive Gynecol.* 2011; 18 (4): 428–437. <http://doi.org/10.1016/j.jmig.2011.04.004>
 20. Yu J.I., Huh S.J., Kim Y.I. et al. Variable uterine uptake of FDG in adenomyosis during concurrent chemoradiation therapy for cervical cancer. *Radiat. Oncol. J.* 2011; 29 (3): 214–217. <http://doi.org/10.3857/roj.2011.29.3.214>
 21. Sobczuk K., Sobczuk A. New classification system of endometrial hyperplasia WHO 2014 and its clinical implications. *Prz. Menopauzalny.* 2017; 16 (3): 107–111. <http://doi.org/10.5114/pm.2017.70589>
 22. MacLean J.A. 2nd, Hayashi K. Progesterone Actions and Resistance in Gynecological Disorders. *Cells.* 2022; 11 (4): 647. <http://doi.org/10.3390/cells11040647>
 23. Tsujikawa T., Okazawa H., Yoshida Y. et al. Distinctive FDG and FES accumulation pattern of two tamoxifen-treated patients with endometrial hyperplasia. *Ann. Nucl. Med.* 2008; 22 (1): 73–77. <http://doi.org/10.1007/s12149-007-0075-2>
 24. Arbyn M., Weiderpass E., Bruni L. et al. Estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2018: a worldwide analysis. *Lancet Glob. Health.* 2020; 8 (2): e191–e203. [http://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30482-6](http://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30482-6). Epub 2019 Dec 4. Erratum in: *Lancet Glob Health.* 2022 Jan; 10 (1): e41.
 25. Guimarães Y.M., Godoy L.R., Longatto-Filho A., Reis R.D. Management of Early-Stage Cervical Cancer: A Literature Review. *Cancers (Basel).* 2022; 14 (3): 575. <http://doi.org/10.3390/cancers14030575>
 26. Kidd E.A., Spencer C.R., Huettner P.C. et al. Cervical cancer histology and tumor differentiation affect 18F-fluorodeoxyglucose uptake. *Cancer.* 2009; 115 (15): 3548–3554. <http://doi.org/10.1002/cncr.24400>
 27. Sharp H.J., Pinnix C.C., Jhingran A. et al. PET/CT in a patient with adenoma malignum of the uterine cervix. *Clin. Nucl. Med.* 2011; 36 (6): 468–469. <http://doi.org/10.1097/RLU.0b013e31820aa346>
 28. Wildenberg J.C., Yam B.L., Langer J.E., Jones L.P. US of the Nongravid Cervix with Multimodality Imaging Correlation: Normal Appearance, Pathologic Conditions, and Diagnostic Pitfalls. *Radiographics.* 2016; 36 (2): 596–617. <http://doi.org/10.1148/rg.2016150155>
 29. Ferrari F., Forte S., Valenti G. et al. Current Treatment Options for Cervical Leiomyomas: A Systematic Review of Literature. *Medicina (Kaunas).* 2021; 57 (2): 92. <http://doi.org/10.3390/medicina57020092>
 30. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J. Clin.* 2021; 71 (3): 209–249. <http://doi.org/10.3322/caac.21660>
 31. Heintz A.P., Odicino F., Maisonneuve P. et al. Carcinoma of the ovary. FIGO 26th Annual Report on the Results of Treatment in Gynecological Cancer. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2006; 95, Suppl. 1: S161–192. [http://doi.org/10.1016/S0020-7292\(06\)60033-7](http://doi.org/10.1016/S0020-7292(06)60033-7)
 32. Avesani G., Calio G., Gui B. et al. Pearls and Potential Pitfalls for Correct Diagnosis of Ovarian Cystadenofibroma in MRI: A Pictorial Essay. *Korean J. Radiol.* 2021; 22 (11): 1809–1821. <http://doi.org/10.3348/kjr.2020.1312>
 33. Hu X., Li D., Liang Z. et al. Indirect comparison of the diagnostic performance of ¹⁸F-FDG PET/CT and MRI in differentiating benign and malignant ovarian or adnexal tumors: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer.* 2021; 21 (1): 1080. <http://doi.org/10.1186/s12885-021-08815-3>
 34. Li J., Yan R., Lei J., Jiang C. Comparison of PET with PET/CT in detecting peritoneal carcinomatosis: a meta-analysis. *Abdom. Imaging.* 2015; 40 (7): 2660–2666. <http://doi.org/10.1007/s00261-015-0418-8>
 35. Prat J. Ovarian carcinomas: five distinct diseases with different origins, genetic alterations, and clinicopathological features. *Virchows. Arch.* 2012; 460 (3): 237–249. <http://doi.org/10.1007/s00428-012-1203-5>
 36. Delgado Bolton R.C., Aide N., Colletti P.M. et al. EANM guideline on the role of 2-[¹⁸F]FDG PET/CT in diagnosis, staging, prognostic value, therapy assessment and restaging of ovarian cancer, endorsed by the American College of Nuclear Medicine (ACNM), the Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (SNMMI) and the International Atomic Energy Agency (IAEA). *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2021; 48 (10): 3286–3302. <http://doi.org/10.1007/s00259-021-05450-9>
 37. Shepherd T.G., Dick F.A. Principles of dormancy evident in high-grade serous ovarian cancer. *Cell. Div.* 2022; 17 (1): 2. <http://doi.org/10.1186/s13008-022-00079-y>
 38. Campos N.M.F., Almeida V., Curvo Semedo L. Peritoneal disease: key imaging findings that help in the differential diagnosis. *Br. J. Radiol.* 2022; 95 (1130): 20210346. <http://doi.org/10.1259/bjr.20210346>



39. Sanli Y., Turkmen C., Bakir B. et al. Diagnostic value of PET/CT is similar to that of conventional MRI and even better for detecting small peritoneal implants in patients with recurrent ovarian cancer. *Nucl. Med. Commun.* 2012; 33 (5): 509–515. <http://doi.org/10.1097/MNM.0b013e32834fc5bf>
40. Yilmaz M.T., Gurlek E., Gultekin M. et al. Ovarian Carcinoma Presenting With a Large Cervical Mass. *Cureus.* 2022; 14 (1): e20994. <http://doi.org/10.7759/cureus.20994>
41. van 't Sant I., Engbersen M.P., Bhairosing P.A. et al. Diagnostic performance of imaging for the detection of peritoneal metastases: a meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2020; 30 (6): 3101–3112. <http://doi.org/10.1007/s00330-019-06524-x>
42. Rangan K., Ora M., Israrahmed A., Gambhir S. Krukenburg Tumors Arising from Rare Primary Sites: Role of ¹⁸F-Fluorodeoxyglucose-Positron Emission Tomography/Computed Tomography in Management and Outcome. *Indian J. Nucl. Med.* 2019; 34 (4): 302–306. http://doi.org/10.4103/ijnm.IJNM_86_19
43. McCluggage W.G. The pathology of and controversial aspects of ovarian borderline tumours. *Curr. Opin. Oncol.* 2010; 22 (5): 462–472. <http://doi.org/10.1097/CCO.0b013e32833b0dc1>
44. Nusbaum D.J., Mandelbaum R.S., Machida H. et al. Significance of lymph node ratio on survival of women with borderline ovarian tumors. *Arch. Gynecol. Obstet.* 2020; 301 (5): 1289–1298. <http://doi.org/10.1007/s00404-020-05535-0>
45. Oral E., Aydin O., Kumbak B.A. et al. Concomitant endometriosis in malignant and borderline ovarian tumours. *J. Obstet Gynaecol.* 2018; 38 (8): 1104–1109. <http://doi.org/10.1080/01443615.2018.1441815>
46. Barlow E.L., Kang Y.J., Hacker N.F., Canfell K. Changing Trends in Vulvar Cancer Incidence and Mortality Rates in Australia Since 1982. *Int. J. Gynecol. Cancer.* 2015; 25 (9): 1683–1689. <http://doi.org/10.1097/IGC.0000000000000547>
47. Matsutani H., Nakai G., Yamada T. et al. MRI and FDG PET/CT Findings for Borderline Brenner Tumor of the Ovary: A Case Report and Literature Review. *Case Rep. Obstet Gynecol.* 2020; 2020: 8878649. <http://doi.org/10.1155/2020/8878649>
48. Mishra T.S., Jena S.K., Kumari S. et al. Cecal dermoid masquerading dermoid cyst of ovary: a case report and review of the literature. *J. Med. Case Rep.* 2021; 15 (1): 38. <http://doi.org/10.1186/s13256-020-02570-y>
49. Yokoyama T., Takehara K., Yamamoto Y. et al. The usefulness of ¹⁸F-FDG-PET/CT in discriminating benign from malignant ovarian teratomas. *Int. J. Clin. Oncol.* 2015; 20 (5): 960–966. <http://doi.org/10.1007/s10147-015-0800-0>
50. Liang L., Zhang Y., Malpica A. et al. Gliomatosis peritonei: a clinicopathologic and immunohistochemical study of 21 cases. *Mod. Pathol.* 2015; 28 (12): 1613–1620. <http://doi.org/10.1038/modpathol.2015.116>
51. Young R.H. Ovarian sex cord-stromal tumours and their mimics. *Pathology.* 2018; 50 (1): 5–15. <http://doi.org/10.1016/j.pathol.2017.09.007>
52. Elsherif S., Bourne M., Soule E. et al. Multimodality imaging and genomics of granulosa cell tumors. *Abdom. Radiol (NY).* 2020; 45 (3): 812–827. <http://doi.org/10.1007/s00261-019-02172-3>
53. Zhang J.J., Cao D.Y., Yang J.X., Shen K. Ovarian metastasis from nongynecologic primary sites: a retrospective analysis of 177 cases and 13-year experience. *J. Ovarian Res.* 2020; 13 (1): 128. <http://doi.org/10.1186/s13048-020-00714-8>
54. Bennett J.A., Young R.H., Chuang A.Y., Lerwill M.F. Ovarian Metastases of Breast Cancers With Signet Ring Cells: A Report of 17 Cases Including 14 Krukenberg Tumors. *Int. J. Gynecol. Pathol.* 2018; 37 (6): 507–515. <http://doi.org/10.1097/PGP.0000000000000462>
55. Adams T.S., Cuello M.A. Cancer of the vagina. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2018; 143, Suppl. 2: 14–21. <http://doi.org/10.1002/ijgo.12610>
56. Salem A.E., Fine G.C., Covington M.F. et al. PET-CT in Clinical Adult Oncology-IV. Gynecologic and Genitourinary Malignancies. *Cancers (Basel).* 2022; 14 (12): 3000. <http://doi.org/10.3390/cancers14123000>
57. Chow L., Tsui B.Q., Bahrami S. et al. Gynecologic tumor board: a radiologist's guide to vulvar and vaginal malignancies. *Abdom. Radiol. (NY).* 2021; 46 (12): 5669–5686. <http://doi.org/10.1007/s00261-021-03209-2>
58. Bucchi L., Pizzato M., Rosso S., Ferretti S. New Insights into the Epidemiology of Vulvar Cancer: Systematic Literature Review for an Update of Incidence and Risk Factors. *Cancers (Basel).* 2022; 14 (2): 389. <http://doi.org/10.3390/cancers14020389>
59. Omole F., Simmons B.J., Hacker Y. Management of Bartholin's duct cyst and gland abscess. *Am. Fam. Physician.* 2003; 68 (1): 135–140. PMID: 12887119
60. Shafir A.L., Farland L.V., Shah D.K. et al. Risk for and consequences of endometriosis: A critical epidemiologic review. *Best Pract. Res. Clin. Obstet Gynaecol.* 2018; 51: 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2018.06.001>
61. Balogova S., Daraï E., Noskovicova L. et al. Interference of Known or Suspected Endometriosis in Reporting FDG PET/CT Performed in Another Indication. *Clin. Nucl. Med.* 2022; 47 (4): 305–313. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000000409>
62. Hirsch M., Duffy J., Davis C.J. et al.; International Collaboration to Harmonise Outcomes and Measures for Endometriosis. Diagnostic accuracy of cancer antigen 125 for endometriosis: a systematic review and meta-analysis. *BJOG.* 2016; 123 (11): 1761–1768. <http://doi.org/10.1111/1471-0528.14055>
63. Sadowski E.A., Pirasteh A., McMillan A.B. et al. PET/MR imaging in gynecologic cancer: tips for differentiating normal gynecologic anatomy and benign pathology versus cancer. *Abdom. Radiol. (NY).* 2021. <http://doi.org/10.1007/s00261-021-03264-9>. Epub ahead of print
64. Garg G., Benchekroun M.T., Abraham T. FDG-PET/CT in the Postoperative Period: Utility, Expected Findings, Complications, and Pitfalls. *Semin. Nucl. Med.* 2017; 47 (6): 579–594. <http://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2017.07.005>
65. van Kol K., Ebisch R., Piek J. et al. Adjuvant Hysterectomy for Cervical Cancer Patients Treated with Chemoradiation Therapy: A Systematic Review on the Pathology-Proven Residual Disease Rate. *Cancers (Basel).* 2021; 13 (24): 6190. <http://doi.org/10.3390/cancers13246190>
66. Brunham R.C., Gottlieb S.L., Paavonen J. Pelvic inflammatory disease. *N. Engl. J. Med.* 2015; 372 (21): 2039–2048. <http://doi.org/10.1056/NEJMra1411426>
67. Revzin M.V., Mathur M., Dave H.B. et al. Pelvic Inflammatory Disease: Multimodality Imaging Approach with Clinical-



- Pathologic Correlation. *Radiographics*. 2016; 36 (5): 1579–1596. <http://doi.org/10.1148/rg.2016150202>
68. Drayer S.M., Shank J.J. Infectious diseases mimicking ovarian carcinomatosis. *Gynecol. Oncol. Rep.* 2018; 26: 29–31. <http://doi.org/10.1016/j.gore.2018.08.008>
69. Sharma J.B., Karmakar D., Kumar R. et al. Comparison of PET/CT with other imaging modalities in women with genital tuberculosis. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2012; 118 (2): 123–128. <http://doi.org/10.1016/j.ijgo.2012.02.020>
70. Dejanović D., Ahnslide J.A., Nilsson C. et al. Pelvic Actinomycosis Associated with an Intrauterine Contraceptive Device Demonstrated on F-18 FDG PET/CT. *Diagnosics (Basel)*. 2015; 5 (3): 369–371. <http://doi.org/10.3390/diagnostics5030369>
71. Eskarous H., Pingili A., Venugopal D. Abdominal actinomycosis mimicking malignancy: A case report. *IDCases*. 2021; 25: e01252. <http://doi.org/10.1016/j.idcr.2021.e01252>
72. Epifani A.G., Cassini D., Cirocchi R. et al. Right sided diverticulitis in western countries: A review. *Wld J. Gastrointest. Surg.* 2021; 13 (12): 1721–1735. <http://doi.org/10.4240/wjgs.v13.i12.1721>

Для корреспонденции*: Николаева Екатерина Андреевна – тел.: +7-916-362-74-56. E-mail: nikoka1901@gmail.com

Николаева Екатерина Андреевна – аспирант лаборатории радиоизотопной диагностики отдела радиоизотопной диагностики и терапии НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7954-2560>

Тарачкова Елена Владимировна – канд. мед. наук, ассистент кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9051-474X>

Шейх Жанна Владимировна – доктор мед. наук, профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ “Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна” Федерального медико-биологического агентства России; врач-рентгенолог ГБУЗ “Городская клиническая больница им. С.П. Боткина” ДЗ города Москвы, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-1334-6652>.

Тюрин Игорь Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии ФГБОУ “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; заместитель директора по научной работе НИИ клинической и экспериментальной радиологии НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-3931-1431>

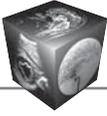
Contact*: Ekaterina A. Nikolaeva – phone: +7-916-362-74-56. E-mail: nikoka1901@gmail.com

Ekaterina A. Nikolaeva – PhD student, N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7954-2560>

Elena V. Tarachkova – Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9051-474X>

Sheikh Zhanna – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Department of Radiology and Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of Russia; Professor of the Department of Radiation Diagnostics, Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan; radiologist of S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-1334-6652>

Igor E. Tyurin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiology and Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of Russia; Deputy Director for Research Research Institute of Clinical and Experimental Radiology, N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-3931-1431>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1243>

Использование трансферного обучения для автоматизированного поиска дефектов на рентгенограммах органов грудной клетки

© Борисов А.А.^{1,2}, Семенов С.С.^{2*}, Арзамасов К.М.²

¹ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, дом 1, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы»; 127051 Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1, Российская Федерация

Цель исследования: разработать и протестировать алгоритмы определения проекции и поиска пространственных технических дефектов на рентгенограммах органов грудной клетки (ОГК) при помощи трансферного обучения, используя различные нейросетевые архитектуры.

Материал и методы. Определялись такие несоответствия методики сканирования на рентгенограммах как некорректный выбор границ исследования, нарушение укладки и позиционирования пациентов. В качестве основы для создания алгоритмов было выбрано трансферное обучение нейросетевых архитектур VGG19 и ResNet152V2. Для обучения и тестирования алгоритмов были использованы рентгенограммы из баз данных с открытым доступом (общий объем более 230 тыс. исследований). Для валидации полученных алгоритмов был подготовлен тестовый набор данных из 150 анонимизированных рентгенограмм ОГК, полученных из Единого радиологического информационного сервиса города Москвы (ЕРИС) и оцененных врачами-экспертами и лаборантами-экспертами.

Результаты. Все полученные алгоритмы имеют высокие показатели качества классификации. Максимальная точность на тестовом наборе данных была получена для модели, определяющей проекцию, AUC составил 1,0, минимальная точность: AUC 0,968 была получена для модели, определяющей ротацию грудной клетки на боковой проекции. На валидационном наборе данных максимальная точность была получена для модели, определяющей проекцию, AUC составил 0,996, минимальная точность: AUC 0,898 была получена для модели, определяющей ротацию грудной клетки на боковой проекции.

Заключение. По значениям метрик диагностической точности для каждой из задач разработанные алгоритмы превысили пороговое значение в 0,81 и могут быть рекомендованы к практическому применению.

Ключевые слова: рентгенограммы грудной клетки, контроль качества, машинное обучение, искусственные нейронные сети, глубокие сверточные нейронные сети, трансферное обучение

Источник финансирования: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы и подготовке статьи.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Борисов А.А., Семенов С.С., Арзамасов К.М. Использование трансферного обучения для автоматизированного поиска дефектов на рентгенограммах органов грудной клетки. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 158–169. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1243>

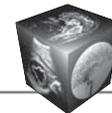
Поступила в редакцию: 10.10.2022. Принята к печати: 8.11.2022. Опубликовано online: 08.02.2023.

Transfer Learning for automated search for defects on chest X-rays

© Alexander A. Borisov^{1,2}, Serafim S. Semenov^{2*}, Kirill M. Arzamasov²

¹ Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University); 1, Ostrovityanova str., Moscow 117997, Russian Federation

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 24-1, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation



Purpose. To develop and test algorithms for determining the projection and searching for common technical defects on chest X-rays using transfer learning with various neural network architectures.

Materials and methods. Algorithms have been created to search for technical remarks such as incorrect choice of study boundaries and errors of patient positioning. Transfer learning of neural network architectures VGG19 and ResNet152V2 was chosen as the basis for creating algorithms. To train and test the algorithms, we used radiographs from open databases (over 230,000 studies in total). To validate the obtained algorithms, a test dataset was prepared from 150 anonymized chest X-rays unloaded from the Unified Radiological Information Service of the Moscow city (URIS) and evaluated by expert doctors and technicians.

Results. All obtained algorithms have high classification quality indicators. The maximum accuracy on the test dataset was obtained for the model that determines the projection, AUC was 1.0, the minimum accuracy: AUC 0.968 was obtained for the model that determines the rotation of the chest on the lateral X-ray. On the validation dataset maximum accuracy was obtained for the model that determines the projection, AUC was 0.996, the minimum accuracy: AUC 0.898 was obtained for the model that determines the rotation of the chest on the lateral X-ray.

Conclusions. All of diagnostic accuracy metrics for each of the models exceeded the threshold value of 0.81 and can be recommended for practical use.

Keywords: chest X-ray, quality assurance, machine learning, artificial neural network, Deep convolutional neural networks, transfer learning

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Borisov A.A., Semenov S.S., Arzamasov K.M. Transfer Learning for automated search for defects on chest X-rays. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 158–169. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1243>

Received: 10.10.2022.

Accepted for publication: 8.11.2022.

Published online: 08.02.2023.

Введение

Одним из наиболее распространенных рентгенографических исследований является рентгенография органов грудной клетки (ОГК). Рентгенография ОГК является скрининговым методом, позволяющим выявить патологические изменения анатомических структур, расположенных в грудной полости. Качество выполненного рентгенологического исследования напрямую влияет на правильность интерпретации, точность постановки медицинского диагноза и опосредованно на выбор тактики ведения пациента.

Также немаловажно обеспечение технического качества и правильной маркировки рентгенограмм для разработки алгоритмов машинного обучения, которые в дальнейшем могут использоваться для контроля качества исследований, полученных в разных медицинских организациях [1].

При выполнении рентгенографии могут возникать ошибки, по большей части обусловленные человеческим фактором, которые затрудняют интерпретацию изображения и дальнейшую, в том числе автоматическую, его обработку. Исследование N. Shet и соавт. показало, что процент брака для рентгенограмм ОГК, выполненных рентгенолаборантами одного учреждения, может варьироваться от менее 1% до более чем 8% [2].

Развитие методов медицинской визуализации, сильно повысившее диагностические возможности оказываемой медицинской помощи, привело к непропорциональному росту объема данных рентгенологических изображений по сравнению с количеством доступных обученных врачей. Это способствовало резкому увеличению рабочей на-

грузки рентгенологов [3]. В условиях высокой нагрузки на врача контроль качества изображений отходит на второй план. За редкими исключениями, изображения подлежат только быстрому просмотру, чтобы убедиться, что интересующие анатомические области включены в поле зрения перед их расшифровкой [4].

Ручная оценка качества утомительна и способна привести к неверной трактовке рентгенологического изображения [5]. Также ручная оценка требует от врача большего времени, что не допустимо в существующих реалиях. Учитывая, что рентгеновские изображения существуют в цифровой форме, логично предположить, что автоматизация может решить проблему задержки при контроле качества, в противном случае для диагностики могут использоваться неоптимальные исследования [4].

Актуальность автоматизации обеспечения качества медицинских изображений обусловлена также тем, что на сегодняшний день в рутинную практику входит дистанционное описание рентгенологических исследований (телерадиология как частный случай телемедицинских технологий) [6–10]. В таких условиях рентгенолаборанты выполняют сканирование пациентов без возможной курации и консультации со стороны врачей-рентгенологов, что делает качество исследований полностью зависимым от квалификации среднего медицинского персонала, что подтверждается отечественными исследованиями [11].

Алгоритмы машинного обучения активно применяются исследователями для классификации рентгенологических изображений ОГК. А. Rajkumar и соавт. создали алгоритм классификации проек-



ции рентгенограмм грудной клетки на фронтальную или боковую, предложив решение проблемы недостаточного доступа к рентгенологическим изображениям. В своей работе они предположили, что повторное обучение ранее существовавших, более общих сетей с использованием изображений в градациях серого улучшает качество классификации на рентгенограммах. Задача классификации была успешно ими решена. Точность определения проекции составила 100% на данных из другой организации [12].

Т.К. Kim также использовали метод трансферного обучения в задаче автоматизированной классификации фронтальных рентгеновских снимков на виды AP (Antero-Posterior, переднезадние) или PA (Postero-Anterior, заднепередние). Их системы глубокого обучения достигли высоких показателей для взрослого и педиатрического населения, демонстрируя высокую диагностическую эффективность для различных демографических групп [1].

Цель исследования

Разработать и протестировать алгоритмы поиска ряда распространенных дефектов на рентгенограммах ОГК при помощи трансферного обучения, используя нейросетевые архитектуры VGG19 и ResNet152V2.

Материал и методы

Сбор и предобработка данных, создание обучающей и тестовой выборки

Для обучения алгоритмов автоматизированной оценки качества использовались наборы рентгенограмм ОГК в прямой и боковой проекциях, взятые из открытых источников. Использовались наборы данных: CheXpert от клиники Стэнфордского университета [13], содержащий по 112 158 рентгенограмм ОГК в прямой и боковой проекциях; Chest X-rays от Индианского университета США [14]; Dataset Chest X-Ray Images (Pneumonia) [15]; NIH ChestX-ray14 от Национального института здоровья США (NIH) [16], содержащий 112 120 фронтальных рентгенограмм ОГК с метками 14 заболеваний. Данные наборы данных содержат изображения рентгенограмм ОГК в форматах PNG, JPEG и JPG различного разрешения. Поиск изображений с технологическими дефектами производился вручную в данных наборах. Наборы для обучения и проверки были дополнены путем применения аугментации (искусственного увеличения количества обучающих изображений путем применения к ним случайных преобразований): вертикального отражения, поворота на 2 или 3°, изменения яркости пикселей, обрезки изображения.

Были созданы 4 модели: модель определения проекции на рентгенограммах ОГК, модели определения некорректного выбора границ исследования на прямой и боковой проекциях, модель определения ротации грудной клетки на боковой проекции рентгенограмм ОГК. Для каждой модели были подготовлены обучающий и тестовый наборы данных:

Для модели, определяющей проекцию на рентгенограммах ОГК, размер обучающей выборки составил 2005 рентгенограмм. Из них 778 (38,9%) рентгенограмм в прямой и 1227 (61,1%) в боковой проекциях. Размер тестовой выборки составил 231 рентгенограмму. Из них 116 (50%) в прямой и 115 (50%) в боковой проекциях.

Для модели определения некорректного выбора границ исследования на прямой проекции (рис. 1) размер обучающей выборки составил 13 580 рентгенограмм. Из них 6732 (49,6%) рентгенограммы с полной визуализацией границ легких и 6848 (50,4%) с обрезанными границами. Размер тестовой выборки составил 2332 рентгенограммы. Из них 1075 (46,1%) с полной визуализацией границ легких и 1257 (53,9%) с обрезанными границами.

Для модели, определяющей некорректный выбор границ исследования на боковой проекции, размер обучающей выборки составил 8152 рентгенограммы. Из них 4131 (50,7%) рентгенограмма с полной визуализацией границ легких и 4021 (49,3%) с обрезанными границами. Размер тестовой выборки составил 1445 рентгенограмм. Из них 738 (51,1%) с полной визуализацией границ легких и 707 (48,9%) с обрезанными границами.

Для модели, определяющей ротацию грудной клетки на боковой проекции рентгенограмм ОГК (см. рис. 1), размер обучающей выборки составил 15 453 рентгенограммы. Из них 7940 (51,4%) рентгенограмм без ротации грудной клетки и 7513 (48,6%) с ротацией. Размер тестовой выборки составил 2664 рентгенограммы. Из них 1357 (50,9%) без ротации грудной клетки и 1307 (49,1%) с ротацией.

В качестве независимого тестового набора использовался набор анонимизированных рентгенограмм ОГК в формате DICOM, полученный из Единого радиологического информационного сервиса города Москвы (ЕРИС) и оцененный экспертами на предмет наличия технологических дефектов изображений экспертами двух групп – врачами-экспертами и лаборантами-экспертами (в рамках реализации постановления ДЗ города Москвы о плановом анализе исследований в ЕРИС [17]). Размер набора составил 150 рентгенограмм ОГК. Из них 84 (56%) рентгенограммы в прямой

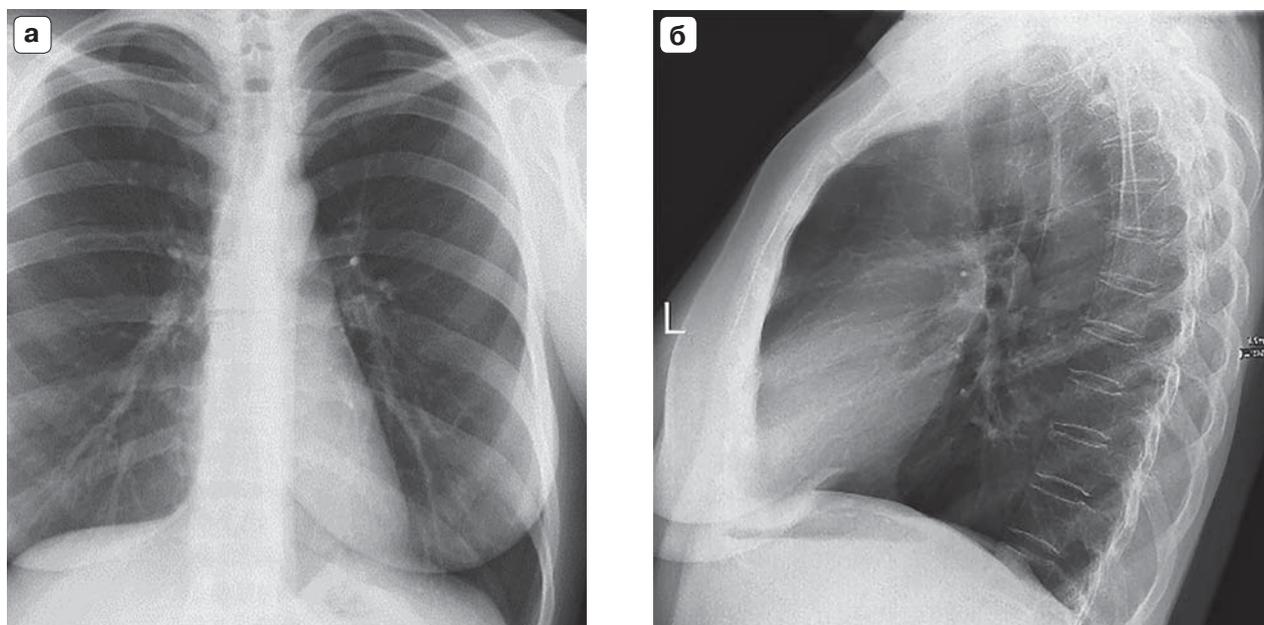
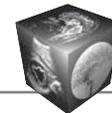


Рис. 1. а – исследование рентгенограмм ОГК с некорректным выбором границ исследования – неполный захват зоны интереса (отсутствуют части легочного поля и реберно-диафрагмальные углы на изображениях в прямой проекции); **б** – исследование рентгенограмм ОГК с нарушением укладки и позиционирования – чрезмерная ротация туловища на изображении в боковой проекции.

Fig. 1. a – chest X-ray with an incorrect choice of study boundaries – incomplete capture of the area of interest (parts of the lung field and costal-diaphragmatic angles are missing on the frontal X-ray); **б** – chest X-ray with errors of styling and positioning – excessive rotation of the chest on the lateral X-ray.

и 66 (44%) в боковой проекциях. На рентгенограммах присутствовали следующие дефекты: 9 рентгенограмм в боковой проекции имели обрезанные границы легких; 21 рентгенограмма в прямой проекции имела обрезанные границы легких; на 40 рентгенограммах в боковой проекции наблюдалась чрезмерная ротация пациента.

Изображения в формате DICOM претерпевали ряд преобразований для приведения их к формату, используемому моделями. Позитивные изображения, имеющие значение DICOM тега (0028, 0004) Photometric Interpretation – “MONOCHROME1”, преобразовывались в негативные путем инверсии значения пикселей. Все изображения проходили эквализацию гистограмм яркости изображения для коррекции слишком светлых и темных рентгенограмм. Изображения были преобразованы в 8-битный формат PNG и размер каждого изображения был изменен до 244 на 244 пикселя, неквадратные изображения были сжаты до этого размера.

Выбор модели

Так как обучение нейросетей требует большого количества данных, а некоторые дефекты рентгенограмм в открытых наборах данных встречаются редко, необходимо было выбрать подходы, использующие меньшее количество обучающих данных.

В качестве такого подхода было выбрано трансферное обучение. Для работы над поставленными задачами были выбраны две нейросетевые архитектуры VGG19 и ResNet152V2, предобученные на базе данных изображений ImageNet, содержащей около 15 млн аннотированных немедицинских изображений.

VGG19 – это глубокая CNN, используемая для классификации изображений. Она содержит 16 сверточных блоков, состоящих из сверточного и объединяющего слоев, 3 полносвязных слоя и выходной слой с функцией softmax. ResNet152V2 – это глубокая CNN, состоящая из 152 слоев архитектуры ResNetV2. По глубине ResNet152V2 превосходит VGG19 в 8 раз, но имеет меньшую насыщенность параметрами – 58 331 648 параметров на 152 слоя против 20 024 384 параметров на 19 слоев у VGG19. При решении различных задач обработки изображений эти архитектуры конкурируют друг с другом как самые эффективные [18].

Так как данные нейросетевые архитектуры не обучены работе с рентгенограммами, к ним добавлялись 3 дополнительных полносвязных слоя и выходной слой с функцией sigmoid, подходящей для задачи бинарной классификации. При этом веса внутри архитектур замораживались, что позволяет сохранить паттерны работы с изображе-



ниями, изученные на ImageNet, а настройка весов дополнительных слоев позволяет решить поставленную специфическую задачу.

Обе сети обучались на одинаковом наборе данных, затем оценивались их эффективность и качество классификации на тестовой выборке. После этого полученные модели использовали для работы с независимым валидационным набором данных.

Статистический анализ

Для каждого результата классификации строилась матрица ошибок и рассчитывались стандартные диагностические характеристики (precision, recall, f-мера). Качество классификации оценивалось с помощью логистической функции потерь (Logloss), показывающей, насколько сильно предсказания модели отличаются от ожидаемого ре-

зультата. Для каждой классификации строились ROC-кривые, рассчитывалась площадь под кривой (AUC) и определялось пороговое значение методом максимизации индекса Юдена с использованием открытого отечественного инструмента ROC-анализа [19].

Результаты

Определение проекции на рентгенограммах ОГК

Метрики классификаций для моделей ResNet152V2 и VGG 19 на тестовом и валидационном наборах данных представлены в таблице. ROC-кривые для тестового набора данных представлены на рис. 2.

Обе модели с высокой точностью произвели классификацию, но модель ResNet152V2 допустила одну классификационную ошибку.

Таблица. Результаты тестирования моделей ResNet152V2 и VGG19

Table. ResNet152V2 and VGG19 model testing results

	Тестовый набор данных Test dataset		Валидационный набор данных Validation dataset	
	ResNet152V2	VGG19	ResNet152V2	VGG19
Определение проекции/ Determining of x-ray projection				
AUC	1,0 [1,0; 1,0]	1,0 [1,0; 1,0]	0,992 [0,983; 1]	0,996 [0,99; 1]
Precision	0,991 [0,965; 991]	1,0 [0,976; 1,0]	0,955 [0,894; 0,984]	0,970 [0,914; 0,992]
Recall	1,0 [0,974; 1,0]	1,0 [0,976; 1,0]	0,955 [0,894; 0,984]	0,970 [0,914; 0,992]
F1-мера	0,995 [0,976; 1,0]	1,0 [0,984; 1,0]	0,955 [0,906; 0,981]	0,970 [0,924; 0,989]
Определение некорректного выбора границ исследования на прямой проекции Determining the incorrect choice of the study boundaries on the frontal chest X-ray				
AUC	0,989 [0,986; 0,992]	0,982 [0,979; 0,986]	0,866 [0,779; 0,954]	0,972 [0,93; 1]
Precision	0,960 [0,949; 0,969]	0,900 [0,888; 0,912]	0,625 [0,455; 0,743]	0,947 [0,785; 0,995]
Recall	0,924 [0,913; 0,933]	0,929 [0,916; 0,941]	0,750 [0,546; 0,892]	0,947 [0,785; 0,995]
F1-мера	0,942 [0,932; 0,951]	0,914 [0,902; 0,925]	0,682 [0,566; 0,779]	0,947 [0,880; 0,987]
Определение некорректного выбора границ исследования на боковой проекции Determining the incorrect choice of the study boundaries on the lateral chest X-ray				
AUC	0,992 [0,989; 0,995]	0,995 [0,992; 0,997]	0,621 [0,384; 0,848]	0,926 [0,858; 0,995]
Precision	0,951 [0,938; 0,961]	0,966 [0,954; 0,975]	0,206 [0,112; 0,254]	0,5 [0,317; 0,500]
Recall	0,955 [0,942; 0,965]	0,959 [0,947; 0,968]	0,778 [0,424; 0,960]	1,0 [0,634; 1,0]
F1-мера	0,953 [0,941; 0,963]	0,962 [0,951; 0,971]	0,326 [0,209; 0,453]	0,667 [0,543; 0,784]
Определение ротации грудной клетки на боковой проекции Determination of chest rotation on a lateral chest X-ray				
AUC	0,968 [0,962; 0,974]	0,961 [0,954; 0,968]	0,719 [0,587; 0,850]	0,898 [0,824; 0,974]
Precision	0,892 [0,880; 0,903]	0,934 [0,922; 0,945]	0,839 [0,704; 0,932]	1,0 [0,873; 1,0]
Recall	0,908 [0,896; 0,920]	0,885 [0,874; 0,895]	0,684 [0,574; 0,761]	0,692 [0,604; 0,692]
F1-мера	0,900 [0,888; 0,911]	0,909 [0,898; 0,920]	0,754 [0,633; 0,858]	0,818 [0,695; 0,899]

Примечание. Для каждой метрики диагностической точности указано значение 95% доверительного интервала. Жирным шрифтом выделены максимальные значения метрик, полученных на тестовом и валидационном наборах данных.

Note. Each diagnostic accuracy metric has a 95% confidence interval value. Bold font indicates the maximum values of the metrics obtained on the test and validation datasets.

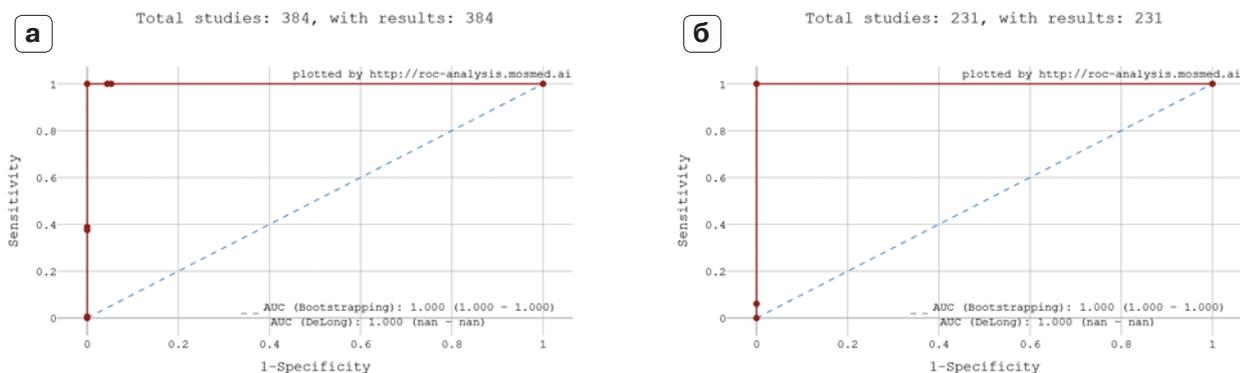


Рис. 2. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении проекции на рентгенограммах ОГК для тестового набора данных.

Fig. 2. ROC-curves. **a** – for ResNet152V2; **b** – for VGG19 when determining the projection on the chest X-ray for the test dataset.

ROC-кривые для валидационного набора данных, содержащего 150 рентгенограмм ОГК, представлены на рис. 3. Качество классификации у моделей VGG19 и ResNet152V2 достоверно не отличается, но у модели VGG19 наблюдается тенденция к более высоким значениям метрик классификации (абсолютные значения метрик у модели VGG19 выше, но ширина доверительных интервалов не позволяет сделать вывод о достоверности различий). Модель VGG19 достаточно хорошо выполнила поставленную задачу классификации, но допустила 3 классификационные ошибки. Данные ошибки были связаны с тем, что на неверно классифицированных изображениях легкие позиционировались несколько отлично от позиционирования в обучающих данных. (Изображения в боковой проекции, где крупные легкие прилегают к верхним границам исследования, определялись моделью как изображения в прямой проекции.

Пример изображений приведен на рис. 4.) Данную ошибку можно исправить дообучением модели на изображениях с похожим расположением легких.

Определение некорректного выбора границ исследования на прямой проекции

Метрики классификаций для моделей ResNet152V2 и VGG 19 на тестовом и валидационном наборах данных приведены в таблице. ROC-кривые для тестового набора данных представлены на рис. 5.

ROC-кривые для валидационного набора данных представлены на рис. 6. В валидации участвовали только изображения, правильно классифицированные моделью определения проекции.

Несмотря на то что на тестовых данных модель VGG19 проявила себя несколько хуже, чем модель ResNet152V2 (точность 0,926 против 0,947, $p < 0,05$), при работе с валидационными данными она лучше справилась с задачей классификации (точность 0,976 против 0,827, $p < 0,05$; специ-

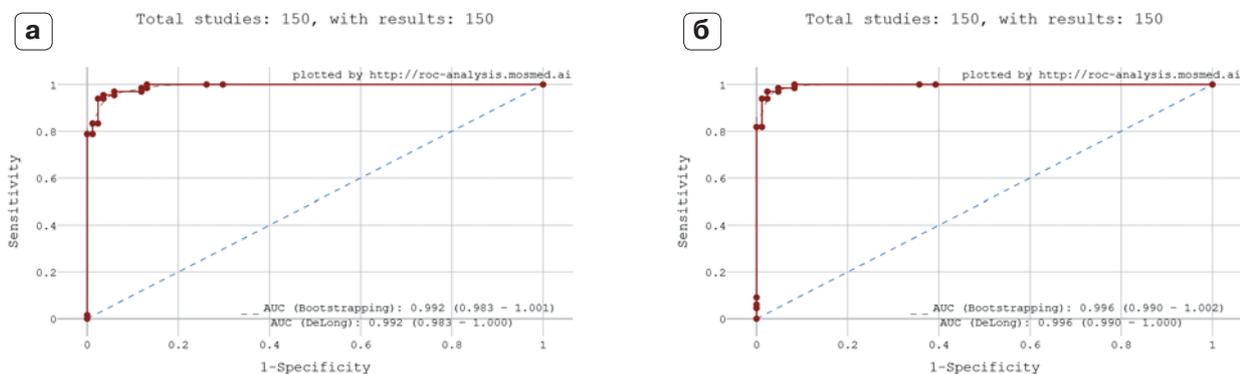


Рис. 3. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении проекции на рентгенограммах ОГК для валидационного набора данных.

Fig. 3. ROC-curves. **a** – for ResNet152V2; **b** – for VGG19 when determining the projection on the chest X-ray for the validation dataset.

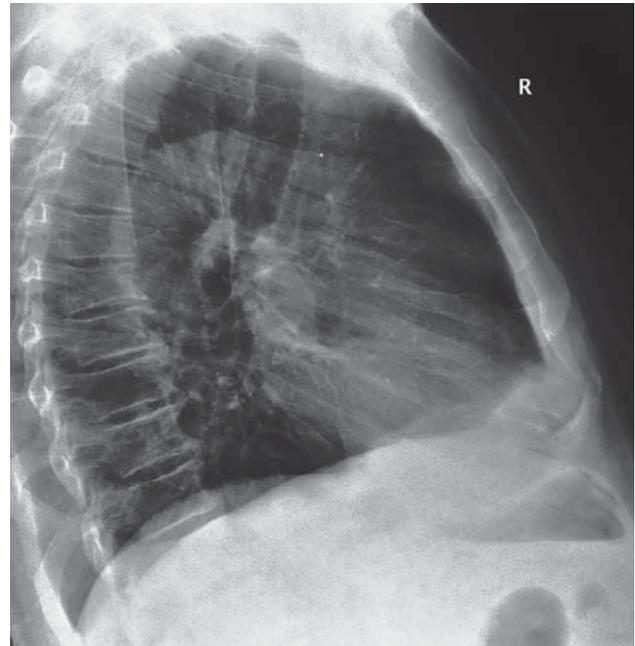
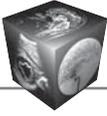


Рис. 4. Изображения, неверно классифицированные моделью определения проекции на рентгенограммах ОГК на основе архитектуры VGG19.

Fig. 4. Images incorrectly classified by the projection definition model on the chest X-ray based on the VGG19 architecture.

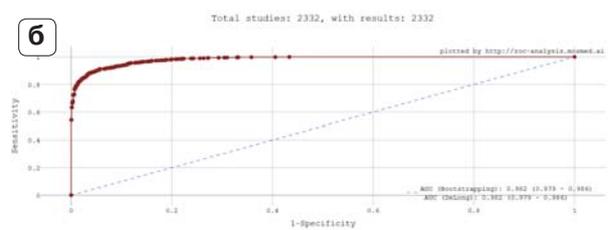
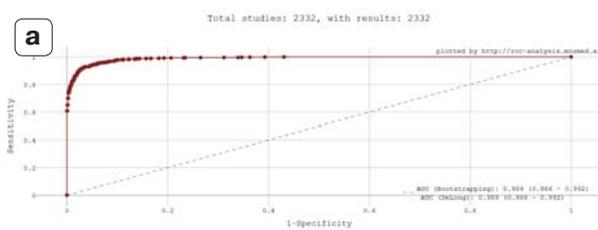


Рис. 5. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении некорректного выбора границ исследования на рентгенограммах ОГК прямой проекции для тестового набора данных.

Fig. 5. ROC-curves. **a** – for ResNet152V2; **б** – for VGG19 when determining the incorrect choice of the study boundaries on the frontal chest x-ray for the test dataset.

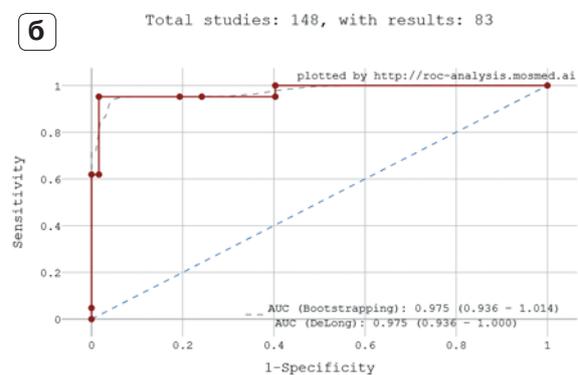
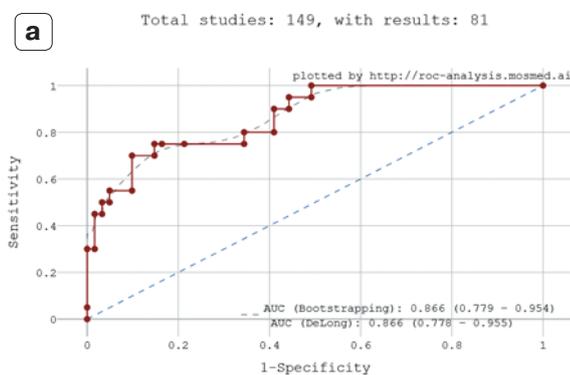


Рис. 6. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении некорректного выбора границ исследования на прямой проекции рентгенограмм ОГК для валидационного набора данных.

Fig. 6. ROC-curves. **a** – for ResNet152V2; **б** – for VGG19 when determining the incorrect choice of the study boundaries on the frontal chest x-ray for the validation dataset.

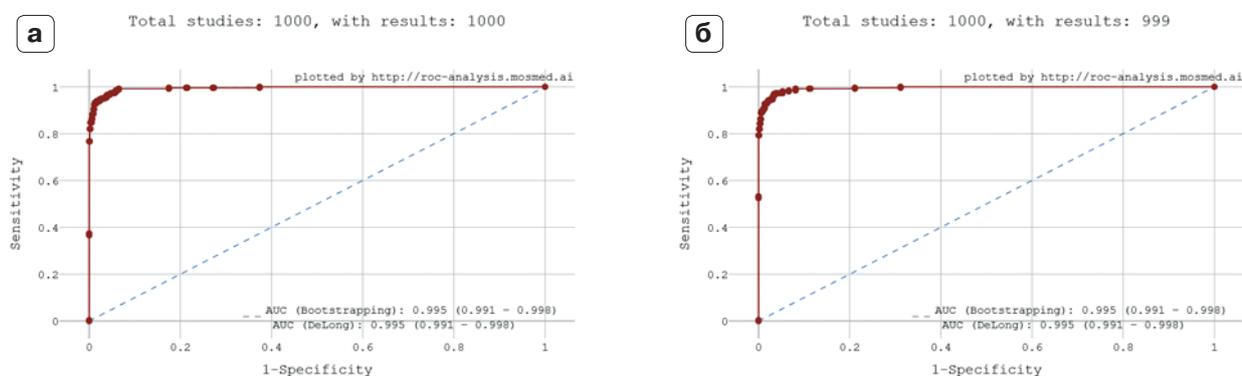
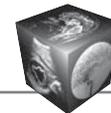


Рис. 7. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении некорректного выбора границ исследования на рентгенограммах ОГК боковой проекции для тестового набора данных.

Fig. 7. ROC-curves. **a** – for ResNet152V2; **b** – for VGG19 when determining the incorrect choice of the study boundaries on the lateral chest x-ray for the test dataset.

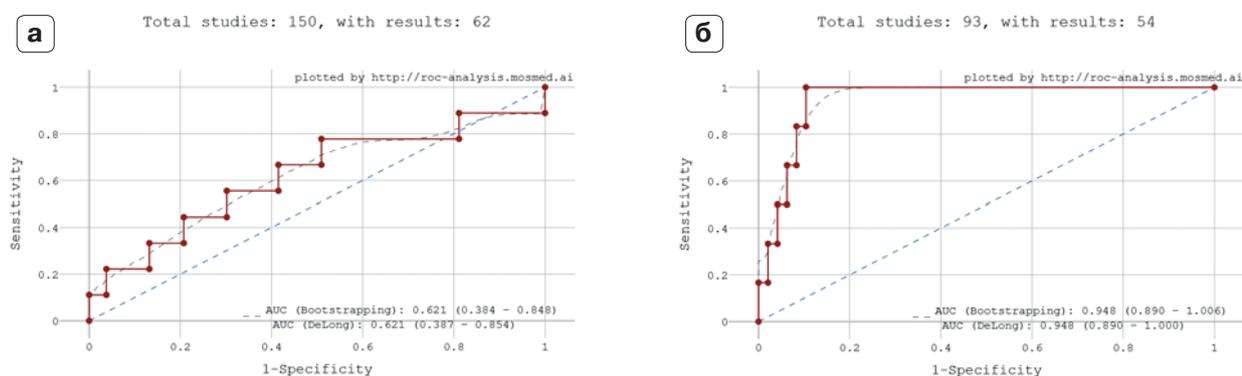


Рис. 8. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении некорректного выбора границ исследования на боковой проекции рентгенограмм ОГК для валидационного набора данных.

Fig. 8. ROC-curves **a** – for ResNet152V2; **b** – for VGG19 when determining the incorrect choice of the study boundaries on the lateral chest x-ray for the validation dataset.

фичность 0,984 против 0,852, $p < 0,05$). Ее можно использовать для определения обрезки границ легких с высокой точностью.

Определение некорректного выбора границ исследования на боковой проекции

Метрики классификаций для моделей ResNet152V2 и VGG 19 на тестовом и валидационном наборах данных приведены в таблице. ROC-кривые для тестового набора данных представлены на рис. 7.

ROC-кривые для валидационного набора данных представлены на рис. 8. В валидации участвовали только изображения, правильно классифицированные моделью определения проекции.

Модель VGG19 справилась с классификацией значительно лучше модели ResNet152V2 (AUC 0,926 против 0,621, $p < 0,05$; специфичность 0,857 против 0,491, $p < 0,05$; точность 0,875 против

0,532, $p < 0,05$). Фиксация данной отрезной точки позволяет максимизировать чувствительность модели и с максимальной вероятностью определять рентгенограммы с обрезанными границами легких на боковой проекции.

Определение ротации грудной клетки на боковой проекции

Метрики классификаций для моделей ResNet152V2 и VGG 19 на тестовом и валидационном наборах данных приведены в таблице. ROC-кривые для тестового набора данных представлены на рис. 9.

ROC-кривые для валидационного набора данных представлены на рис. 10. В валидации участвовали только изображения, правильно классифицированные моделью определения проекции.

Модель VGG19 лучше справилась с задачей классификации для данной задачи, чем модель ResNet152V2 (специфичность 1,0 против 0,792,

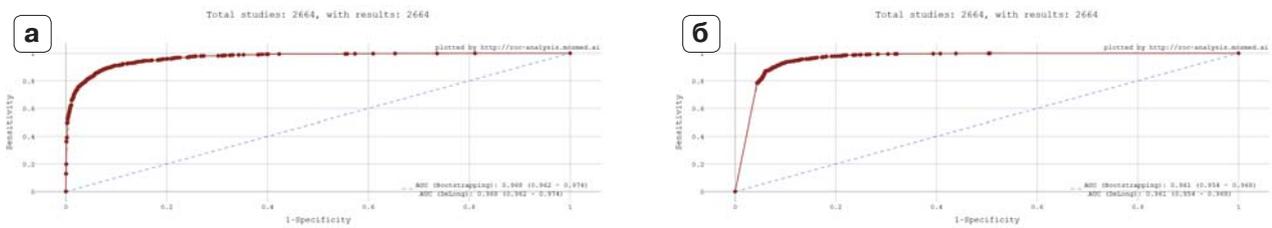
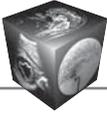


Рис. 9. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении ротации грудной клетки на рентгенограммах ОГК боковой проекции для тестового набора данных.

Fig. 9. ROC-curves. **a** – for ResNet152V2; **b** – for VGG19 when determining of chest rotation on a lateral chest x-ray for the test dataset.

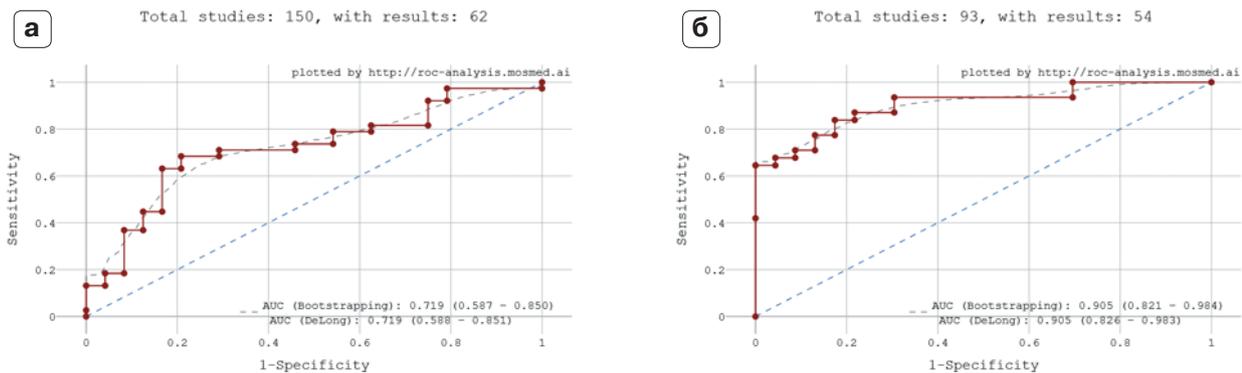


Рис. 10. ROC-кривые. **а** – для ResNet152V2; **б** – для VGG19 при определении ротации грудной клетки на боковой проекции рентгенограмм ОГК для валидационного набора данных.

Fig. 10. ROC-curves. **a** – for ResNet152V2; **b** – for VGG19 when determining of chest rotation on a lateral chest x-ray for the validation dataset.

$p < 0,05$). Высокая гетерогенность проявлений ротации и разнообразие гистограмм яркости рентгенограмм, полученных из разных медицинских организаций, усложняет получение более высоких метрик классификации. Решение этой проблемы возможно путем добавления в обучающую выборку изображений, полученных из DICOM файлов с различными исходными гистограммами яркости.

Обсуждение

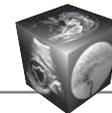
Трансферное обучение нашло широкое применение в разработке алгоритмов для лучевой диагностики [20–23]. Наше исследование показало, что трансферное обучение, основанное на использовании глубоких сверточных нейронных сетей, предобученных на больших объемах изображений, не связанных с медицинской визуализацией, при условии дообучения на небольшом количестве рентгенологических изображений может эффективно использоваться для обнаружения дефектов на рентгенограммах ОГК.

Наши результаты по определению проекции на рентгенограммах ОГК аналогичны результатам, показанным А. Rajkumar и соавт., которые проде-

монстрировали классификацию рентгенограмм ОГК на фронтальную или боковую проекцию с точностью 100% (99, 73–100). При этом мы смогли добиться данного результата, используя значительно меньшее количество обучающих данных: 2005 изображений против 128 796 у А. Rajkumar и соавт.

Это исследование также демонстрирует эффективность аугментации рентгенологических изображений для повышения производительности классификации. К аналогичному выводу приходили и другие исследователи [12, 20]. В условиях ограниченного количества доступных специально отобранных рентгенограмм с наличием различных дефектов, которые использовались для обучения, мы увеличили объем обучающего набора данных, что позволило осуществить классификацию рентгенограмм с достаточно высокой точностью и избежать переобучения.

В данном исследовании мы сравнили эффективность использования двух распространенных глубоких нейросетевых архитектур ResNet152V2 и VGG19, предобученных на ImageNet, при использовании для классификации рентгенограмм ОГК. Мы выяснили, что обе эти архитектуры спо-



способны классифицировать рентгенограммы с высокой точностью, но архитектура VGG19 обладает большей обобщающей способностью, что проявилось при тестировании на независимом наборе данных. Высокая эффективность архитектуры VGG19 при работе с рентгенологическими изображениями также подтверждается работами [24, 25].

Наиболее оптимальным вариантом использования моделей контроля качества медицинских изображений, подобных предложенным нами, является их внедрение в рабочую станцию рентгенолаборанта. В случае обнаружения алгоритмом технических замечаний на полученных рентгенограммах рентгенолаборант будет оповещен об этом и сможет выполнить исследование повторно до направления его врачу-рентгенологу на описание, если это позволяет допустимая дозовая нагрузка.

Заключение

Качество рентгенологического изображения зависит от множества технических, профессиональных и организационных факторов. Однако, несмотря на это, врач-рентгенолог на рабочем месте, а особенно в современных условиях глобального применения телемедицинских технологий, должен получать на диагностическую интерпретацию минимальное количество исследований с техническими замечаниями. Помочь сформировать такие условия могут системы автоматического контроля качества рентгенологических изображений. Трансферное обучение с использованием открытых наборов данных рентгенограмм ОГК позволило создать алгоритм для определения проекции и автоматического определения ряда дефектов на рентгенограммах ОГК с высокой точностью. Максимальная точность на валидационном наборе данных была получена для модели, определяющей проекцию, AUC составил 0,996, минимальная точность: AUC 0,898 была получена для модели, определяющей ротацию грудной клетки на боковой проекции. Наши результаты показывают, что трансферное обучение может успешно использоваться для классификации рентгенологических изображений и поиска на них дефектов. При использовании на этапе дообучения наших алгоритмов локальных данных метрики диагностической точности могут улучшиться. Однако обучения даже на открытых данных достаточно для допуска к клинической валидации по условному порогу диагностической точности 0,81 [26]. При широком применении наши алгоритмы способны облегчить создание больших баз данных медицинских изображений для целей машинного и глубокого обучения и обеспечение контроля качества рентгенологических изображений, что в итоге мо-

жет положительно сказаться на работе врача-рентгенолога и качестве выполнения рентгенографических исследований.

Дополнительная информация

Работа выполнена в рамках гранта с регистрационным номером карты в системе ЕГИСУ НИОКТР: 122112400040-1

Additional Information

The article was written as part of a grant with the registration number: 122112400040-1

Участие авторов

Борисов А.А. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста.

Семенов С.С. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Арзамасов К.М. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Borisov A.A. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, review of publications, writing text.

Semenov S.S. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Arzamasov K.M. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Список литературы

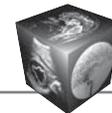
1. Kim T.K., Yi P.H., Wei J. et al. Deep learning method for automated classification of anteroposterior and postero-anterior chest radiographs. *J. Digit. Imaging.* 2019; 32 (6): 925–930. <https://doi.org/10.1007/s10278-019-00208-0>
2. Shet N., Chen J., Siegel E. Continuing challenges in defining image quality. *Pediatr. Radiol.* 2011; 41 (5): 582–589. <https://doi.org/10.1007/s00247-011-2028-0>
3. McDonald R.J., Schwartz K.M., Eckel L.J. et al. The effects of changes in utilization and technological advancements of cross-sectional imaging on radiologist workload. *Acad. Radiol.* 2015; 22 (9): 1191–1198. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.05.007>
4. Willis C.E., Nishino T.K., Wells J.R. et al. Automated quality control assessment of clinical chest images. *Med. Phys.* 2018; 45 (10): 4377–4391. <https://doi.org/10.1002/mp.13107>
5. Rale A.P., Gharpure D.C., Ravindran V.R. et al. Comparison of different ANN techniques for automatic defect detection in X-Ray images. *2009 International Conference on Emerging Trends in Electronic and Photonic Devices & Systems.* 2009; 193–197. <https://doi.org/10.1109/ELECTRO.2009.5441138>
6. Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В., Владимировский А.В., Трофименко И.А., Мокиенко О.А., Панина Е.В., Андрейченко А.Е., Омелянская О.В., Гомболевский В.А., Полищук Н.С., Шулькин И.М., Решетников Р.В. Мобилизация научно-практического потенциала службы лучевой диагностики г. Москвы в пандемию COVID-19. *Digital Diagn.* 2020. 1 (1): 5–12. <https://doi.org/10.17816/DD51043>



7. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 30 ноября 2017 г. № 965н "Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий" // base.garant.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71851294/>
8. Приказ Департамента здравоохранения города Москвы от 01.04.2020 №323 "О создании дистанционного референс-центра по лучевой диагностике". tele-med.ai [Электронный ресурс]. URL: <https://tele-med.ai/biblioteka-dokumentov/dzm-prikaz-01042020-323-distanc-referens-centr-ld>
9. Приказ Департамента здравоохранения города Москвы от 15.03.2018 № 183 "Об утверждении регламента организации оказания медицинской помощи по профилям "рентгенология" и "радиология" с применением телемедицинских технологий". consultant.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=MLAW&n=184819#vjWNo7T82RuFXi2g1>
10. Приказ Департамента здравоохранения города Москвы от 31.12.2019 №1160 "Об утверждении Регламента регистрации данных в Едином радиологическом информационном сервисе автоматизированной информационной системы города Москвы «Единая медицинская информационно-аналитическая система города Москвы»". mos.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/dzdrav/documents/department-acts/view/233696220/>
11. Morozov S.P., Ledikhova N.V., Panina E.V. et al. Performance quality of X-ray technicians when they interact remotely with the reference center for diagnostic radiology using telemedicine technologies. *Natsional'noe Zdravookhranenie*. 2021; 2 (2): 36–46.
12. Rajkomar A., Lingam S., Taylor A.G. et al. High-Throughput Classification of Radiographs Using Deep Convolutional Neural Networks. *J. Digit. Imaging*. 2017; 30 (1): 95–101. <https://doi.org/10.1007/s10278-016-9914-9>
13. CheXpert Dataset //URL: <https://stanfordmlgroup.github.io/competitions/chexpert/> (дата обращения 23.03.2022)
14. Chest X-rays dataset. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/raddar/chest-xrays-indiana-university> (дата обращения 26.03.2022)
15. Chest X-Ray Images (Pneumonia). URL: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> (дата обращения 20.12.2021)
16. NIH ChestX-ray14. URL: <https://nihcc.app.box.com/v/ChestXray-NIHCC> (дата обращения 20.12.2021)
17. Приказ Департамента здравоохранения города Москвы от 25.12.2017 № 918 о регламенте регистрации данных в системе "Единый радиологический информационный сервис" в медицинских организациях государственной системы здравоохранения города Москвы". consultant.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=MLAW&n=183590#zudlo7TsbVSwYBM12>
18. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. 3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015. *Conf. Track Proc.* 2015: 1–14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>
19. ROC-инструмент ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ // URL: <https://roc-analysis.mosmed.ai/> ROC analysis tool of Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow City Health Department // URL: <https://roc-analysis.mosmed.ai/>
20. Chan H.P., Samala R.K., Hadjiiski L.M., Zhou C. Deep Learning in Medical Image Analysis. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2020; 1213: 3–21. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33128-3_1
21. Litjens G., Kooi T., Bejnordi B.E. et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med. Image Anal.* 2017; 42: 60–88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
22. Sahiner B., Pezeshk A., Hadjiiski L.M. et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy. *Med. Phys.* 2019; 46 (1): 1–36. <https://doi.org/10.1002/mp.13264>
23. Mazurowski M.A., Buda M., Saha A., Bashir M.R. Deep learning in radiology: An overview of the concepts and a survey of the state of the art with focus on MRI. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2019; 49 (4) : 939–954. <https://doi.org/10.1002/jmri.26534>
24. Rahaman M.M., Li C., Yao Y. et al. Identification of COVID-19 samples from chest X-Ray images using deep learning: A comparison of transfer learning approaches. *J. Xray Sci. Technol.* 2020; 28 (5): 821–839. <https://doi.org/10.3233%2FXST-200715>
25. Arias-Garzón D., Alzate-Grisales J.A., Orozco-Arias S. et al. COVID-19 detection in X-ray images using convolutional neural networks. *Mach. Learn Appl.* 2021; 6: 100–138. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100138>
26. Morozov S.P., Vladzimirskyy A.V., Klyashtornyy V.G. et al. Clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology). arXiv preprint arXiv:1908.00381. 2019. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.00381>

References

1. Kim T.K., Yi P.H., Wei J. et al. Deep learning method for automated classification of anteroposterior and postero-anterior chest radiographs. *J. Digit. Imaging*. 2019; 32 (6): 925–930. <https://doi.org/10.1007/s10278-019-00208-0>
2. Shet N., Chen J., Siegel E. Continuing challenges in defining image quality. *Pediatr. Radiol.* 2011; 41 (5): 582–589. <https://doi.org/10.1007/s00247-011-2028-0>
3. McDonald R.J., Schwartz K.M., Eckel L.J. et al. The effects of changes in utilization and technological advancements of cross-sectional imaging on radiologist workload. *Acad. Radiol.* 2015; 22 (9): 1191–1198. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.05.007>
4. Willis C.E., Nishino T.K., Wells J.R. et al. Automated quality control assessment of clinical chest images. *Med. Phys.* 2018; 45 (10): 4377–4391. <https://doi.org/10.1002/mp.13107>
5. Rale A.P., Gharpure D.C., Ravindran V.R. et al. Comparison of different ANN techniques for automatic defect detection in X-Ray images. *2009 International Conference on Emerging Trends in Electronic and Photonic Devices & Systems*. 2009; 193–197. <https://doi.org/10.1109/ELECTRO.2009.5441138>
6. Morozov S.P., Kuzmina E.S., Ledikhova N.V., Vladzimirskyy A.V., Trofimenko I.A., Mokienko O.A., Panina E.V., Andreychenko A.E., Omelyanskaya O.V., Gombolevskiy V.A., Polishchuk N.S., Shulkin I.M., Reshetnikov R.V. Mobilizing the academic and practical potential of diagnostic radiology during the COVID-19 pandemic in Moscow. *Digital Diagnostics*. 2020; 1 (1): 5–11. <https://doi.org/10.17816/DD51043> (In Russian)
7. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of November 30, 2017 N 965n "About approval of the procedure for organizing and providing medical care using telemedicine technologies" base.garant.ru [Electronic



- resource]. URL: <https://base.garant.ru/71851294/> (In Russian)
8. Order of the Department of Health of the Moscow city of April 1, 2020 №323 "About the creation of a remote radiodiagnosis reference center" // tele-med.ai [Electronic resource]. URL: <https://tele-med.ai/biblioteka-dokumentov/dzm-prikaz-01042020-323-distanc-referens-centr-ld> (In Russian)
 9. Order of the Department of Health of the Moscow city of March 15, 2018 № 183 "About approval of the regulations for the organization of the provision of medical care in the profiles "roentgenology" and "radiology" using telemedicine technologies" // consultant.ru [Electronic resource]. URL : <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=MLAW&n=184819#vjWHO7T82RuFXi2g1> (In Russian)
 10. Order of the Department of Health of the Moscow city of December 31, 2019 №1160 "About approval of the Regulations for Data Registration in the Unified Radiological Information Service of the Automated Information System of the Moscow city "Unified Medical Information and Analytical System of the Moscow City"". mos.ru [Electronic resource]. URL: <https://www.mos.ru/dzdrav/documents/department-acts/view/233696220/> (In Russian)
 11. Morozov S.P., Ledikhova N.V., Panina E.V. et al. Performance quality of X-ray technicians when they interact remotely with the reference center for diagnostic radiology using telemedicine technologies. *Natsional'noe Zdravookhranenie*. 2021; 2 (2): 36–46.
 12. Rajkomar A., Lingam S., Taylor A.G. et al. High-Throughput Classification of Radiographs Using Deep Convolutional Neural Networks. *J. Digit. Imaging*. 2017; 30 (1): 95–101. <https://doi.org/10.1007/s10278-016-9914-9>
 13. CheXpert Dataset //URL: <https://stanfordmlgroup.github.io/competitions/chexpert/> (дата обращения 23.03.2022)
 14. Chest X-rays dataset. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/raddar/chest-xrays-indiana-university> (дата обращения 26.03.2022)
 15. Chest X-Ray Images (Pneumonia). URL: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> (дата обращения 20.12.2021)
 16. NIH ChestX-ray14. URL: <https://nihcc.app.box.com/v/ChestXray-NIHCC> (дата обращения 20.12.2021)
 17. Order of the Department of Health of the Moscow city of December 25, 2017 № 918 "About the regulation of registration of data in the system "United radiological information service" in medical organizations of the state health system of the Moscow city" // consultant.ru [Electronic resource]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=MLAW&n=183590#zudlo7TsbVSwYBM12> (In Russian)
 18. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. 3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015. *Conf. Track Proc.* 2015: 1–14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>
 19. ROC-инструмент ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ // URL: <https://roc-analysis.mosmed.ai/> ROC analysis tool of Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow City Health Department // URL: <https://roc-analysis.mosmed.ai/>
 20. Chan H.P., Samala R.K., Hadjiiski L.M., Zhou C. Deep Learning in Medical Image Analysis. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2020; 1213: 3–21. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33128-3_1
 21. Litjens G., Kooi T., Bejnordi B.E. et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med. Image Anal.* 2017; 42: 60–88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
 22. Sahiner B., Pezeshk A., Hadjiiski L.M. et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy. *Med. Phys.* 2019; 46 (1): 1–36. <https://doi.org/10.1002/mp.13264>
 23. Mazurowski M.A., Buda M., Saha A., Bashir M.R. Deep learning in radiology: An overview of the concepts and a survey of the state of the art with focus on MRI. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2019; 49 (4) : 939–954. <https://doi.org/10.1002/jmri.26534>
 24. Rahaman M.M., Li C., Yao Y. et al. Identification of COVID-19 samples from chest X-Ray images using deep learning: A comparison of transfer learning approaches. *J. Xray Sci. Technol.* 2020; 28 (5): 821–839. <https://doi.org/10.3233%2FXST-200715>
 25. Arias-Garzón D., Alzate-Grisales J.A., Orozco-Arias S. et al. COVID-19 detection in X-ray images using convolutional

Для корреспонденции*: Семенов Серафим Сергеевич – 127051 Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1. НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы. Тел.: +7-903-065-50-25. E-mail: s.semenov@npcmr.ru

Борисов Александр Александрович – разработчик программного обеспечения ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова; младший научный сотрудник НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4036-5883>

Семенов Серафим Сергеевич – младший научный сотрудник сектора разработки систем внедрения медицинских интеллектуальных технологий НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2585-0864>

Арзамасов Кирилл Михайлович – канд. мед. наук, руководитель отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

Contact*: Serafim S. Semenov – 24-1, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation. Phone: +7-903-065-50-25. E-mail: s.semenov@npcmr.ru

Alexander A. Borisov – software developer of Pirogov Russian National Research Medical University; Junior Researcher of Medical Intelligent Technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4036-5883>

Serafim S. Semenov – Junior Researcher in the Sector of Development of Systems for the Introduction of Medical Intelligent Technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2585-0864>

Kirill M. Arzamasov – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>