

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

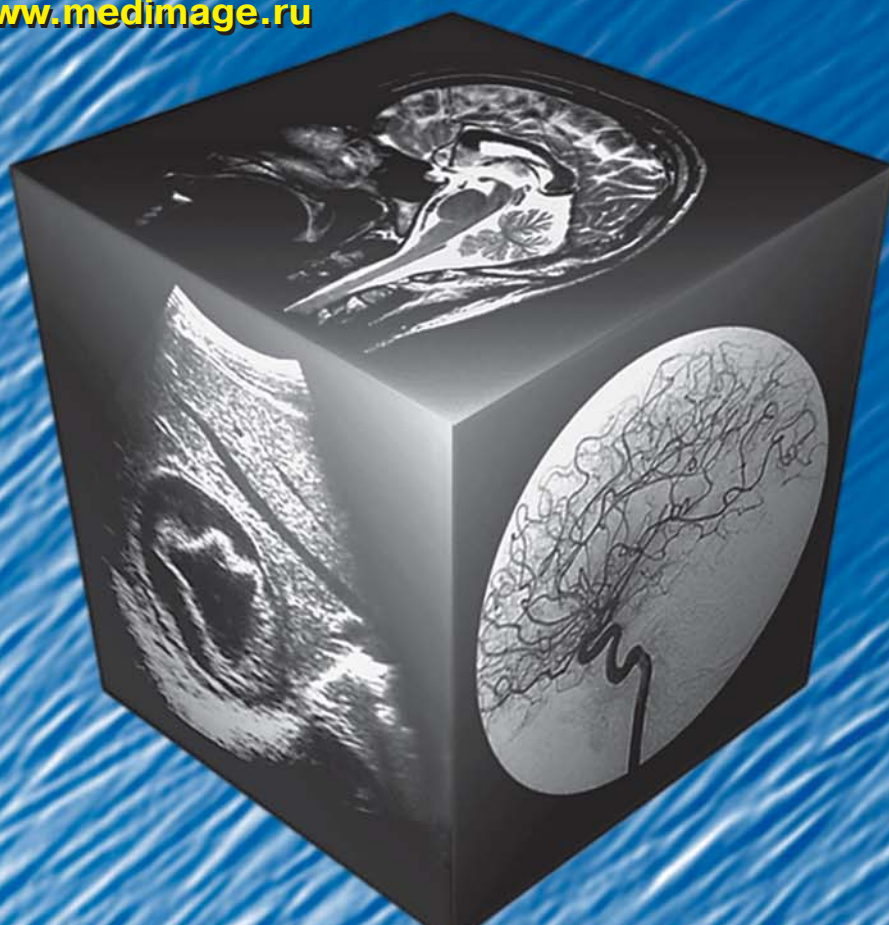
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 27 №2
Vol 27 N2

2023

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



- Количественная оценка магнитной восприимчивости (QSM) в подкорковых структурах головного мозга как маркер нейродегенерации
- МРТ в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и рака
- Перфузионная КТ в диагностике заболеваний почек
- ПЭТ-КТ в динамической посттерапевтической визуализации опухолей шейки и тела матки
- Искусственный интеллект для оценки минеральной плотности тел позвонков при КТ

ВИДАР

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

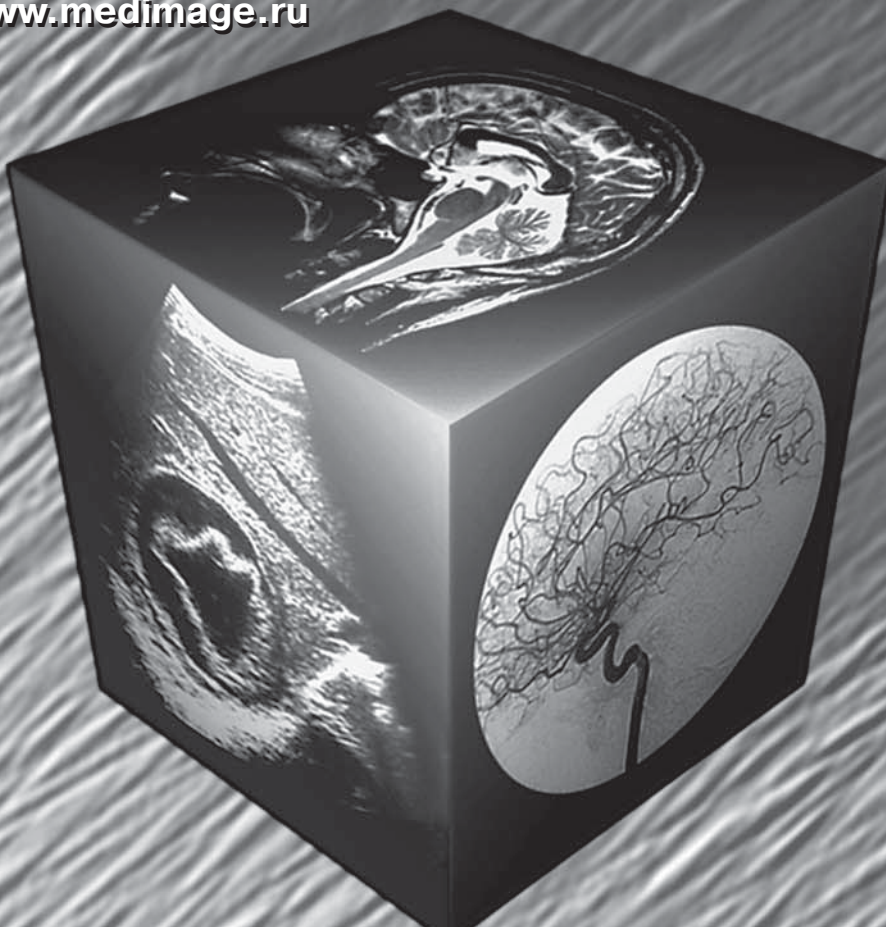
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 27 №2
Vol 27 N2

2023

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



- Количественная оценка магнитной восприимчивости (QSM) в подкорковых структурах головного мозга как маркер нейродегенерации
- МРТ в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и рака
- Перфузионная КТ в диагностике заболеваний почек
- ПЭТ-КТ в динамической посттерапевтической визуализации опухолей шейки и тела матки
- Искусственный интеллект для оценки минеральной плотности тел позвонков при КТ

ВИДАР

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditinskaya vizualizatsiya

2023 Том 27 №2

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

Ревивили 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 Ермек 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 55836811900

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 онкорadiологов. <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.Фуцжоу, 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.

Формат 60 × 90 1/8. Печ. л. 18. Тираж 1500 экз. Свободная цена.
Отпечатано в типографии Onebook.ru (ООО “СамПолиграфист”), www.onebook.ru
Подписано в печать 12.05.2023 г.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditinskaya vizualizatsiya

2023 V. 27 N2



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. Vladimirov (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. Gourtsoyannis – 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 Rienmüller – 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: 12.05.2023



Содержание

Голова

- 12** Количественная оценка магнитной восприимчивости (QSM) в подкорковых структурах головного мозга как маркер нейродегенерации при ремиттирующем и вторично-прогрессирующем рассеянном склерозе
Матросова М.С., Брюхов В.В., Попова Е.В., Бельская Г.Н., Кротенкова М.В.
- 23** Магнитно-резонансная томография в оценке цереброваскулярной реактивности
Никогосова А.К., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г.

Молочная железа

- 36** Возможности МРТ в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и рака
Серебрякова С.В., Шумакова Т.А., Юхно Е.А., Сафронова О.Б., Серебряков А.Л.

Грудная клетка

- 53** Внегонадная герминогенная опухоль средостения: оценка локального распространения путем прямого введения контрастного вещества в полость перикарда
Караханова А.Г., Багненко С.С., Левченко Е.В., Хандогин Н.В., Шевкунов Л.Н.
- 62** КТ-признак “матовое стекло” при гранулематозе с полиангиитом и внебольничной пневмонии
Сафонова Т.Д., Шейх Ж.В.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

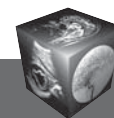
- 71** Возможности КТ-ангиографии нижней брыжеечной артерии при планировании резекций левой половины толстой кишки у пациентов с колоректальным раком
Араблинский А.В., Сеурко К.И., Пашковская А.А., Войновский А.Е., Степанченко А.П., Косенков А.Н.
- 85** Перфузионная компьютерная томография в диагностике заболеваний почек (обзор литературы)
Ломоносова Е.В., Гольбиц А.Б., Рубцова Н.А., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д.

Малый таз

- 99** Роль ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ в посттерапевтическом мониторинге у больных раком шейки и тела матки с подозрением на прогрессирование в ранее облученных зонах
Солодкий В.А., Нуднов Н.В., Крейнина Ю.М., Шевченко Л.Н., Каскулова М.Х., Титова В.А., Пронькина Е.В., Воробьева В.О.
- 110** Ультразвуковые признаки опухолей яичников по стандартизованному протоколу
Озерская И.А., Чекалова М.А., Иванов В.А., Казарян Г.Г.

Технологии лучевой диагностики

- 125** Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии
Артюкова З.Р., Кудрявцев Н.Д., Петрайкин А.В., Абуладзе Л.Р., Сморгкова А.К., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Беляев М.Г., Белая Ж.Е., Владимирский А.В., Васильев Ю.А.
- 138** Оценка перспектив использования технологий искусственного интеллекта для анализа КТ-изображений органов грудной клетки с целью выявления признаков злокачественных новообразований в легких
Пилус П.С., Дрокин И.С., Баженова Д.А., Маковская Л.А., Сеницын В.Е.
- 147** Высокотехнологичные лучевые методы в диагностике рака эндометрия – мультипараметрическая МРТ, ультразвуковая томография, 3D-ангиография, энергетическая доплерография
Нуднов Н.В., Ивашина С.В., Аксенова С.П.



Contents

Head

- 12 Quantitative susceptibility mapping (QSM) in deep gray matter as a neurodegeneration marker in relapsing-remitting and secondary-progressive multiple sclerosis**

Maria S. Matrosova, Vasiliy V. Bryukhov,
Ekaterina V. Popova, Galina N. Belskaya,
Marina V. Krotenkova

- 23 Magnetic resonance imaging for cerebrovascular reactivity assessment**

Anait K. Nikogosova, Svetlana E. Lelyuk,
Vladimir G. Lelyuk

Breast

- 36 Possibilities of MRI in the differential diagnosis of non-lactative mastitis and cancer**

Svetlana V. Serebryakova, Tatyana A. Shumakova,
Elena A. Yukhno, Olga B. Safronova, Artem L. Serebryakov

Thorax

- 53 Extragonadal germ cell tumor of the mediastinum: local spread estimated by direct injection of a contrast agent into the pericardial cavity**

Anna G. Karakhanova, Sergey S. Bagnenko,
Evgeni V. Levchenko, Nikolai V. Khandogin,
Lev N. Shevkunov

- 62 CT-sign "ground glass opacity" in granulomatosis with polyangiitis and community-acquired pneumonia**

Tatyana D. Safonova, Zhanna V. Sheikh

Abdomen and retroperitoneum

- 71 Possibilities of CT angiography of the inferior mesenteric artery in planning resections of the left half of the colon in patients with colorectal cancer**

Andrey V. Arablinskii, Kirill I. Seurko,
Anna A. Pashkovskaia, Aleksandr E. Voynovskiy,
Andrei P. Stepanchenko, Aleksandr N. Kosenkov

- 85 Application of perfusion computed tomography in renal diseases (review of literature)**

Elena V. Lomonosova, Aleksandra B. Golbits,
Natalia A. Rubtsova, Boris Ya. Alekseev,
Andrey D. Kaprin

Small pelvis

- 99 ¹⁸FDG PET-CT significance for post-treatment monitoring in cervical and uterine cancer patients with suspected recurrence in previously irradiated zones**

Vladimir A. Solodkiy, Nikolay V. Nudnov,
Yulia M. Kreynina, Lyudmila N. Shevchenko,
Madina Kh. Kaskulova, Vera A. Titova,
Elena V. Pronkina, Valentina O. Vorobjeva

- 110 Ultrasound signs of ovarian tumors according to a standardized protocol**

Irina A. Ozerskaya, Marina A. Chekalova,
Vladimir A. Ivanov, Gayane G. Kazaryan

Radiology technologies

- 125 Using an artificial intelligence algorithm to assess the bone mineral density of the vertebral bodies based on computed tomography data**

Zlata R. Artyukova, Nikita D. Kudryavtsev,
Alexey V. Petraikin, Liya R. Abuladze,
Anastasia K. Smorchkova, Ekaterina S. Akhmad,
Dmitry S. Semenov, Mikhail G. Belyaev,
Zhanna E. Belaya, Anton V. Vladzimirskyy,
Yuri A. Vasiliev

- 138 Evaluation of the prospects for using artificial intelligence technologies to analyze CT scans of the chest organs in order to identify signs of malignant neoplasms in the lungs**

Polina S. Pilius, Ivan S. Drokin, Daria A. Bazhenova,
Lyudmila A. Makovskaya, Valentin E. Sinitsyn

- 147 High-tech radiological methods in the diagnosis of endometrial cancer – multiparametric MRI, ultrasound tomography, 3D angiography, energy dopplerography**

Nikolai V. Nudnov, Svetlana V. Ivashina,
Svetlana P. Aksenova



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1256>

Количественная оценка магнитной восприимчивости (QSM) в подкорковых структурах головного мозга как маркер нейродегенерации при ремиттирующем и вторично-прогрессирующем рассеянном склерозе

© Матросова М.С.^{1*}, Брюхов В.В.¹, Попова Е.В.^{2,3},
Бельская Г.Н.¹, Кротенкова М.В.¹

¹ ФГБНУ “Научный центр неврологии”; 125367 Москва, Волоколамское шоссе, д. 80, стр. 1, Российская Федерация

² ФGAOY BO “Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

³ ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница № 24 ДЗ города Москвы” (ГБУЗ “ГКБ № 24 ДЗМ”); 127015 Москва, ул. Писцовая, д. 10, Российская Федерация

Цель исследования: изучение изменений в распределении железа в веществе головного мозга с помощью методики магнитно-резонансной томографии (МРТ) – количественного картирования восприимчивости (quantitative susceptibility mapping – QSM) – в сопоставлении с клиническими данными у пациентов с рассеянным склерозом (РС).

Материал и методы. В данное проспективное исследование вошло три группы пациентов: 47 пациентов с ремиттирующим РС (РРС), 20 – с вторично-прогрессирующим РС (ВПРС) и 39 здоровых добровольцев (группа контроля). Для всех пациентов были собраны анамнестические данные и проведена МРТ головного мозга, включающая последовательность мульти-эхо 3D T2* GRE, после чего были получены карты QSM и рассчитана относительная магнитная восприимчивость в области подкорковых структур.

Результаты. Были выявлены более высокие показатели магнитной восприимчивости в скорлупе у пациентов с ВПРС по сравнению с РРС, что может отражать избыточное накопление железа в данных структурах. При этом было выявлено понижение магнитной восприимчивости в подушке таламуса у пациентов с ВПРС, однако у части пациентов отмечалось ее резкое повышение при уменьшении объема подушки таламуса.

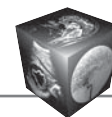
Заключение. Повышение магнитной восприимчивости на карте QSM в области подкорковых структур головного мозга, преимущественно в области скорлупы, отражающее накопление железа, а также ее снижение в области подушки таламуса, являются более характерными для пациентов с ВПРС, что может иметь прогностическую значимость в оценке прогрессирования заболевания.

Ключевые слова: рассеянный склероз, магнитно-резонансная томография, железо, количественное картирование восприимчивости, вторично-прогрессирующий рассеянный склероз

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Матросова М.С., Брюхов В.В., Попова Е.В., Бельская Г.Н., Кротенкова М.В. Количественная оценка магнитной восприимчивости (QSM) в подкорковых структурах головного мозга как маркер нейродегенерации при ремиттирующем и вторично-прогрессирующем рассеянном склерозе. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 12–22. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1256>

Поступила в редакцию: 10.09.2022. **Принята к печати:** 09.03.2023. **Опубликована online:** 15.05.2023.



Quantitative susceptibility mapping (QSM) in deep gray matter as a neurodegeneration marker in relapsing-remitting and secondary-progressive multiple sclerosis

© Maria S. Matrosova^{1*}, Vasiliy V. Bryukhov¹, Ekaterina V. Popova^{2, 3}, Galina N. Belskaya¹, Marina V. Krotenkova¹

¹ Research center of neurology; 80-1, Volokolamskoye shosse, Moscow 125367, Russian Federation

² Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; house 1, Ostriviyanova str., Moscow 117997, Russian Federation

³ City Clinical Hospital №24 of Moscow Healthcare Department; 10, Pistsovaya str., Moscow 127015, Russian Federation

Purpose. The aim of the study was to investigate changes in iron distribution in the brain of patients with multiple sclerosis (MS) using magnetic resonance imaging (MRI) technique – quantitative susceptibility mapping (QSM) – in comparison with clinical data.

Materials and methods. Three groups of patients were included in this prospective study: 47 patients with relapsing-remitting MS (RRMS), 20 patients with secondary progressive MS (SPMS) and 39 healthy controls. For all patients we collected clinical data, including history of present illness (H&P) and disability degree, and performed brain MRI followed by QSM maps obtaining and assessing relative magnetic susceptibility in subcortical structures.

Results. We found an increase in magnetic susceptibility in the heads of the caudate nuclei and in putamen in patients with SPMS as compared to RRMS. At the same time, a decrease in magnetic susceptibility in the thalamic pulvinar was detected in patients with MS in the long term, but a sharp hyperintensity in conjunction with decreasing volume was observed in some patients.

Conclusion. Increased magnetic susceptibility on the QSM in subcortical structures of the brain, reflecting iron content, is more typical for patients with SPMS, which may indicate the prognostic value of these changes.

Keywords: multiple sclerosis, magnetic resonance imaging, iron, quantitative susceptibility mapping, secondary progressive multiple sclerosis

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

For citation: Matrosova M.S., Bryukhov V.V., Popova E.V., Belskaya G.N., Krotenkova M.V. Quantitative susceptibility mapping (QSM) in deep gray matter as a neurodegeneration marker in relapsing-remitting and secondary-progressive multiple sclerosis. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 12–22. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1256>

Received: 10.09.2022.

Accepted for publication: 09.03.2023.

Published online: 15.05.2023.

Введение

Рассеянный склероз (РС) – распространенное воспалительно-дегенеративное демиелинизирующее заболевание центральной нервной системы (ЦНС), поражающее преимущественно людей трудоспособного возраста. В мире насчитывается более 2 млн человек, страдающих данной патологией, занимающей четвертое место по распространенности среди всех неврологических заболеваний в мире [1, 2]. Несмотря на это, точный патогенез заболевания до сих пор полностью не изучен, а существующее лечение направлено, в первую очередь, на иммунологический, воспалительно-опосредованный компонент заболевания [3–6]. В свою очередь, не менее важную роль в развитии заболевания играет нейродегенера-

тивный компонент, который особенно характерен для прогрессирующих форм РС, но начинается уже на ранних стадиях развития заболевания, постепенно нарастая во времени [7–9].

“Золотым стандартом” диагностики РС является магнитно-резонансная томография (МРТ), оценивающая диссеминацию очаговых изменений в пространстве и во времени [10, 11]. Однако прогрессирующие формы РС зачастую не сопровождаются появлением при МРТ-исследовании новых очагов в головном и спинном мозге, в то время как симптоматика пациента неуклонно нарастает [12]. При этом нет четких критериев перехода ремиттирующего РС (РРС) во вторично-прогрессирующий РС (ВПРС), а механизмы, по которым происходит прогрессирование заболевания, остаются



ся не изученными [13, 14]. Подтверждение прогрессирования устанавливается клинически исходя из стойкого нарастания неврологического дефицита или балла по расширенной шкале оценки инвалидности EDSS лишь спустя 6 мес от появления неврологических нарушений [15, 16].

Оценка наличия прогрессирования заболевания при МРТ также требует длительного динамического наблюдения. Так, на сегодняшний день известно, что нейродегенеративный процесс при РС сопровождается развитием атрофии вещества мозга (как корковой, так и глобальной), которую сложно измерить на ранних стадиях, поскольку в стандартных режимах МРТ она оценивается косвенно в виде расширения ликворосодержащих пространств, что невозможно увидеть при коротком динамическом наблюдении [17]. Морфометрическое МРТ-исследование также позволяет оценить атрофические изменения ретроспективно, но уже когда они произошли [18, 19].

В связи с вышеизложенным поиск возможных биомаркеров (в том числе нейровизуализационных), позволяющих выявить переход РРС в ВПРС и оценить нейродегенеративный компонент заболевания, может сыграть важную роль в своевременной диагностике прогрессирующих форм РС и, возможно, определить новую мишень для терапии заболевания [20]. Одним из таких предикторов потенциально может являться железо, поскольку нарушение его метаболизма и аккумуляция в определенных областях головного мозга сопровождается развитием многих нейродегенеративных заболеваний. При этом необходимо помнить, что этот процесс также, хотя и в меньшей степени, является характерным для процесса старения головного мозга [21–25]. Кроме того, установлено, что большое его количество содержится в клетках микроглии, которые участвуют в патогенезе РС, а также в олигодендроцитах, при разрушении которых также возможно его высвобождение [26–29]. Однако количественная оценка железа невозможна как с помощью стандартных последовательностей МРТ, так и с помощью T2* и изображений, взвешенных по магнитной восприимчивости (susceptibility weighted images – SWI). Для данной цели может использоваться современная МРТ-методика – количественное картирование восприимчивости (quantitative susceptibility mapping – QSM). QSM позволяет количественно оценивать магнитную восприимчивость химических соединений в организме человека, включая железо, кальций и продукты распада крови [30–32].

В мире в последние годы научный интерес к паттернам накопления железа при РС не стихает, исследования по данной теме активно ведутся

[33–35]. Таким образом, целью данной работы стало изучение накопления железа в веществе головного мозга у больных РС с помощью QSM, а также поиск взаимосвязей его содержания с клинической картиной и типом течения заболевания.

Материал и методы

Пациенты

Данное проспективное исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ “Научный центр неврологии”.

В исследование было включено 47 пациентов с РРС (из них 35 женщин) в возрасте от 18 до 57 лет (34 [27;41]), а также 20 пациентов с ВПРС (из них 15 женщин) в возрасте от 24 до 66 лет (49 [39;55]) из межклубных отделений РС города Москвы. Критериями исключения, помимо клаустрофобии и металлических имплантов в организме (в том числе кардиостимулятора), было наличие беременности, сопутствующей патологии головного мозга при МРТ и проведение пульс-терапии в течение месяца до момента исследования. Группу контроля составили 39 здоровых добровольцев (из них 27 женщин) в возрасте от 23 до 58 лет без структурной патологии головного мозга при МРТ, сопоставимых по полу и возрасту с пациентами группы РРС (33 [27;46]), не имеющих жалоб со стороны ЦНС.

Все пациенты были заранее осведомлены о предстоящем исследовании и подписали добровольное информированное согласие на его проведение.

Клиническая оценка

Для всех пациентов предварительно были собраны клиничко-анамнестические данные: возраст, продолжительность заболевания, симптоматика, с которой оно дебютировало, и возраст пациента в дебюте (см. таблицу). Кроме того, врачом-неврологом был определен балл по расширенной шкале оценки инвалидности (EDSS).

Протокол МРТ

Все изображения были получены на магнитно-резонансном томографе Siemens Magnetom Prisma с величиной магнитной индукции 3 Тл, оснащенном 64-канальной головной катушкой.

Протокол МРТ включал в себя импульсные последовательности T2 tse, 3D T2 FLAIR (с подавлением МР-сигнала от свободной жидкости), а также дополнительный режим мульти-эхо 3D T2* GRE (для получения карты QSM).

Стандартные T2-взвешенные изображения были получены с использованием следующих па-

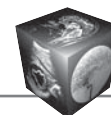


Таблица. Демографические и клинические характеристики пациентов всех групп и количественные значения магнитной восприимчивости в структурах головного мозга

Table. Demographic and clinical characteristics of patients in all groups and quantitative values of magnetic susceptibility in brain structures

		Группа / Group		
		PPC / RRMS (n = 47)	ВПСР / SPMS (n = 20)	контроль / control (n = 39)
Пол / Sex	Мужской / Male, %	12 (25,5%)	5 (25%)	12 (30,8%)
	Женский / Female, %	35 (74,5%)	15 (75%)	27 (69,2%)
Возраст, годы Age, years	Медиана [Q1; Q3] Median [Q1; Q3]	34,0 [27,0; 40,0]	48,5 [39,0; 57,0]*	30,5 [27,0; 45,5]
Стаж заболевания, годы Disease duration, years	Медиана [Q1; Q3] Median [Q1; Q3]	8,0 [5,0; 12,0]	15,0 [10,0; 20,0]*	–
Шкала EDSS, балл EDSS score	Медиана [Q1; Q3] Median [Q1; Q3]	1,5 [1,0; 2,0]	5,5 [4,5; 6,0]*	0,0 [0,0; 0,0]
Головки хвостатых ядер (ppb, mean) Hheads of caudate nuclei (ppb, mean)	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	66,0 $\pm$ 17,0	68,0 $\pm$ 30,0	59,0 $\pm$ 13,0
Скорлупа (ppb, mean)** Putamen (ppb, mean)**	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	43,8 $\pm$ 21,5	51,9 $\pm$ 30,8*	36,2 $\pm$ 15,2
Бледный шар (ppb, mean) Globus pallidus (ppb, mean)	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	145,8 $\pm$ 32,8	150,9 $\pm$ 73,3	136,0 $\pm$ 27,2
Таламус (ppb, mean) Pulvinar (ppb, mean)	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	35,0 $\pm$ 28,5	17,1 $\pm$ 31,0*	38,1 $\pm$ 24,2
Зубчатые ядра мозжечка (ppb, mean)** Dentate nuclei (ppb, mean)**	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	119,9 $\pm$ 39,2	120,3 $\pm$ 78,5	95,2 $\pm$ 40,2
Красные ядра (ppb, mean)** Red nuclei (ppb, mean)**	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	114,8 $\pm$ 39,5	121,1 $\pm$ 42,4	107,5 $\pm$ 31,3
ВНБВ1 (ppb, mean) NAWM1 (ppb, mean)	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	–20,6 $\pm$ 7,4	–22,2 $\pm$ 4,3	–20,3 $\pm$ 8,0
ВНБВ2 (ppb, mean) NAWM2 (ppb, mean)	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	–26,1 $\pm$ 8,6	–28,5 $\pm$ 7,0	–25,5 $\pm$ 8,3
Моторная кора (ppb, mean)** Motor cortex (ppb, mean)**	Среднее $\pm$ SD Mean $\pm$ SD	24,8 $\pm$ 12,5	29,1 $\pm$ 14,4	23,0 $\pm$ 12,9

Примечание. * p-value < 0,05. ** Значения с поправкой на возраст. ВНБВ1 – внешне неизмененное белое вещество лобных долей; ВНБВ2 – внешне неизмененное вещество теменных долей.

Note: * p-value < 0.05; ** Age-adjusted values; NAWM1 – normal-appearing white matter in frontal lobes; NAWM2 – normal-appearing white matter in parietal lobes.

раметров: TR/TE = 6000/99 мс, турбо фактор (TF) 17, ETL 13, толщина срезов 4 мм, угол наклона 150°, размер вокселя 0,3 $\times$ 0,3 $\times$ 4,0 мм, ширина полосы пропускания (bandwidth) 220 Гц/пиксель, время последовательности (TA) 1 мин 26 с.

Последовательность 3D T2 FLAIR была получена с использованием следующих параметров: TR/TE/TI = 7000/390/2200 мс, TF 278, толщина срезов 0,6 мм, размер вокселя 0,5 $\times$ 0,5 $\times$ 0,6 мм, bandwidth 751 Гц/пиксель, TA 7 мин 58 с.

Для получения исходных фазовых и магнитудных изображений с целью дальнейшего получения карт QSM была использована последовательность 3D T2* GRE с множественными эхосигналами (multi TE) и следующими параметрами: время первого эхосигнала TE 6,1 мс, интервал между TE 4,02 мс, количество эхосигналов 10, время TR 47 мс, толщина среза 1 мм без зазора между срезами, угол наклона 15°, размер вокселя 0,5 $\times$ 0,5 $\times$ 1 мм, TA 4 мин 38 с.

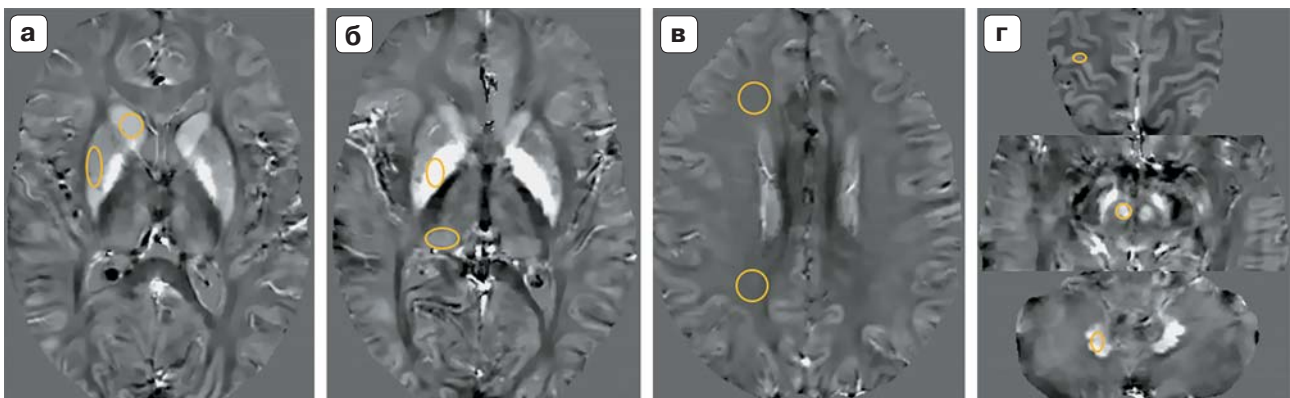


Рис. 1. Области интереса (ROI) на карте QSM, в которых измерялась магнитная восприимчивость (на каждом рисунке – сверху вниз соответственно). **а** – головка хвостатого ядра и скорлупа; **б** – бледный шар и подушка таламуса; **в** – внешне неизмененное белое вещество лобной и теменной долей; **г** – кора прецентральной извилины (моторная кора), красное ядро, зубчатое ядро мозжечка.

Fig. 1. Regions of interest (ROIs) on the QSM map in which magnetic susceptibility was measured (top to bottom). **a** – head of caudate nucleus and putamen; **b** – globus pallidus and thalamic pulvinar; **v** – normal-appearing white matter of frontal and parietal lobes; **g** – motor cortex, red nucleus, dentate nucleus.

Постобработка и анализ изображений

Для получения карт QSM была использована программа MEDI Toolbox, разработанная на базе языка программирования MatLab, со встроенным алгоритмом MEDI (Morphology Enabled Dipole Inversion) [36, 37].

С помощью ROI-анализа было проведено измерение магнитной восприимчивости (в ppb) на картах QSM следующей локализации: головки хвостатых ядер, скорлупа, бледный шар и подушка таламуса с двух сторон, красные ядра, зубчатые ядра, кора прецентральной извилины (моторная кора), а также внешне неизмененное белое вещество (ВНБВ) лобных (ВНБВ 1) и теменных (ВНБВ 2) долей (рис. 1). Таламус был исследован в области подушки, поскольку данная структура является наиболее визуально однородной его частью, что позволяет провести количественную оценку более достоверно.

Статистическая обработка

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 2.6.7 (разработчик – ООО “Статтех”), а также с помощью пакета программ SPSS 23.0 (разработчик – IBM).

Для описания количественных переменных использовали медиану и квартили, а также среднее и стандартное отклонение (при нормальном распределении). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро–Уилка (при числе исследуемых пациентов менее 50 человек) или критерия Колмогорова–Смирнова (при числе исследуемых пациентов более 50 человек).

Для описания категориальной переменной использовали частоту и долю (в процентах).

Поскольку объем выборки превышал 100 участников, сравнения групп по количественным переменным проводили параметрическим методом – с помощью дисперсионного анализа (ANOVA). При апостериорных (post hoc) попарных сравнениях групп для поправки на множественные сравнения использовали метод Бонферрони или Даннетта.

Для сравнения категориальных переменных использовали тест χ^2 Пирсона или точный критерий Фишера.

Во всех случаях использовали двусторонние варианты статистических критериев.

Направление и теснота корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивались с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при распределении показателей, отличном от нормального).

При сравнениях трех групп нулевую гипотезу отвергали при уровне значимости $p < 0,05$, при попарных сравнениях – при скорректированном уровне значимости $p_{adj} < 0,05$.

Результаты

Было выявлено, что магнитная восприимчивость в скорлупе, зубчатых ядрах мозжечка и красных ядрах, а также в моторной коре значимо коррелирует с возрастом: а именно, чем старше пациент, тем больше содержание железа в данных структурах. В связи с этим при сравнении показателей групп из-за различий в среднем возрасте пациентов был введен коэффициент нормализа-

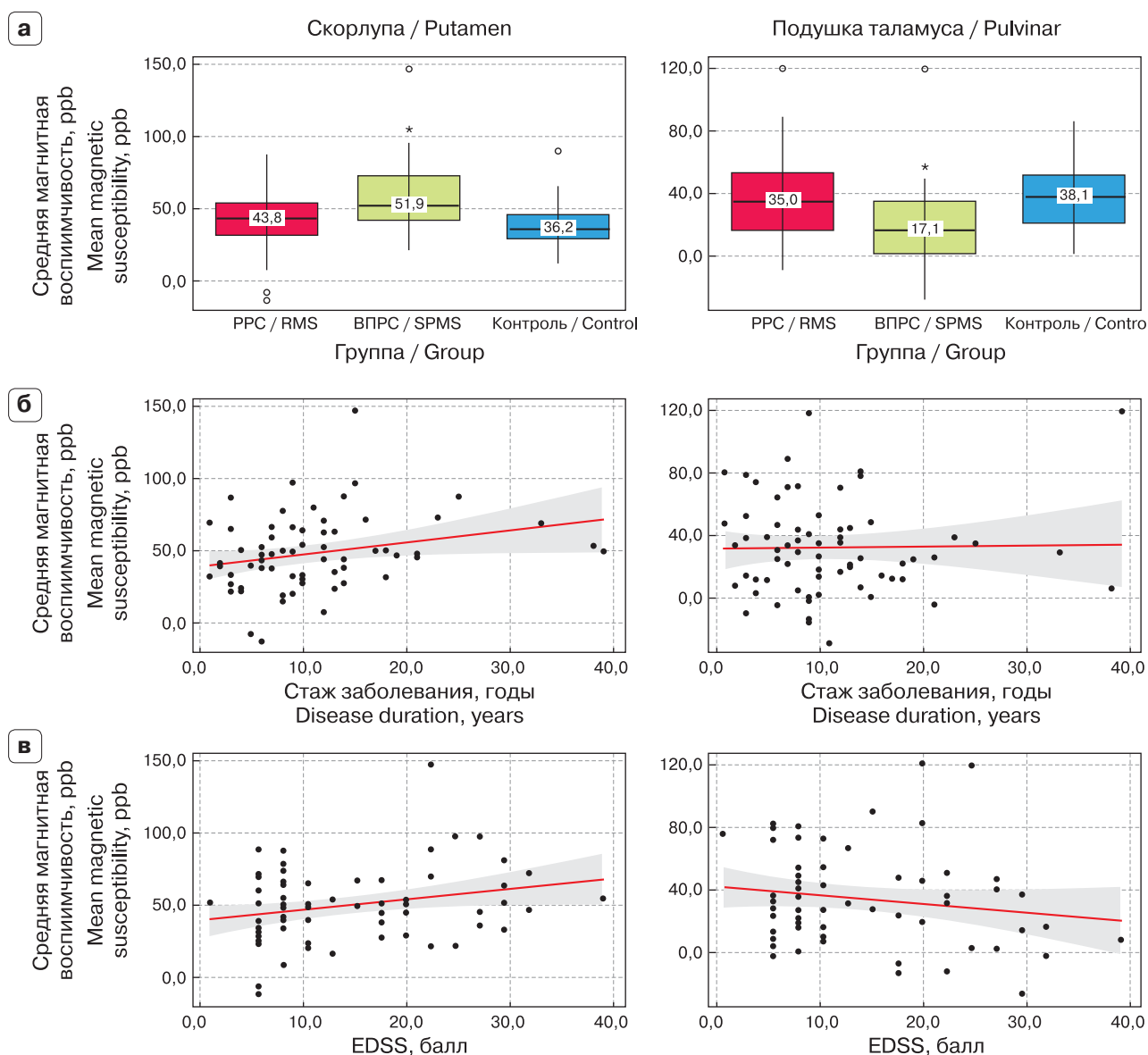
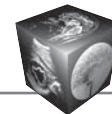


Рис. 2. Зависимость магнитной восприимчивости в скорлупе (левый ряд графиков) и в подушке таламуса (правый ряд графиков) от группы (а), длительности заболевания (б) и балла по шкале EDSS (в). Цветом обозначены группы: красный – PPC (а, левый столбец), зеленый – ВПРС (а, средний столбец), синий – группа контроля (а, правый столбец).

Fig. 2. Dependence of magnetic susceptibility in putamen (left plots) and in the thalamic pulvinar (right plots) on group (а), disease duration (б) and EDSS scale (в). Colors match groups: red – RRMS (а, left row), green – SPMS (а, middle row), blue – control (а, right row).

ции (см. таблицу, отмечено «**»). Несмотря на это, отмечалось статистически значимое ($p = 0,018$) повышение магнитной восприимчивости в области скорлупы и ее снижение в подушке таламуса у пациентов с ВПРС по сравнению с PPC и группой контроля в среднем на 20 единиц (рис. 2а). При этом не было выявлено корреляционной связи данных изменений с длительностью заболевания (рис. 2б). Кроме того, несмотря на имеющуюся

общую тенденцию, корреляция этих изменений с баллом по шкале оценки инвалидности EDSS оказалась статистически незначимой, $p = 0,09$ (рис. 2в).

Кроме того, у пациентов всех групп были выявлены различия в визуализации подушки таламуса на картах QSM, обусловленные ее магнитной восприимчивостью, которые условно были разделены на три паттерна (рис. 3): “нормальный” паттерн

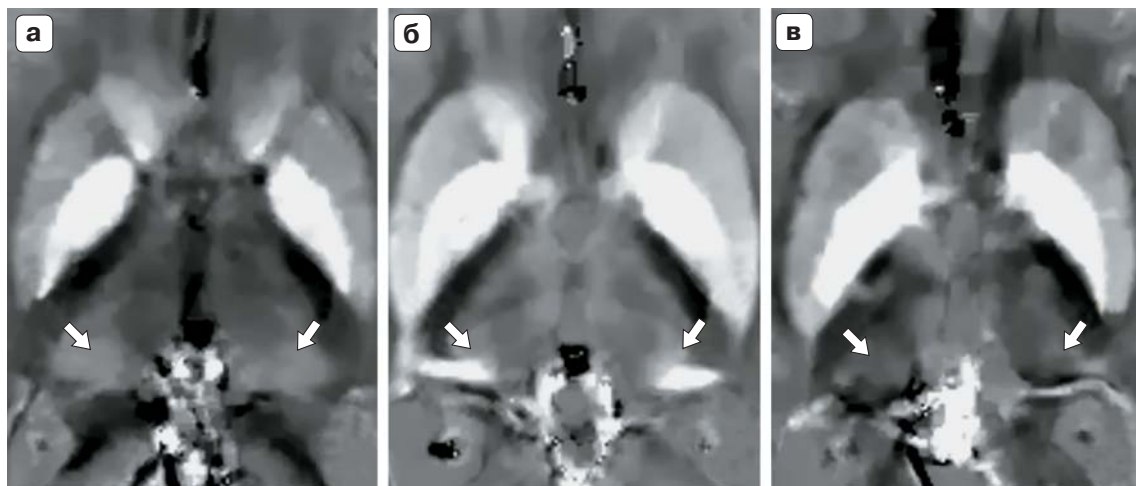


Рис. 3. Паттерны распределения магнитной восприимчивости в подушке таламуса (стрелки) на картах QSM у трех пациентов одного возраста. **а** – паттерн визуализации у здорового добровольца; **б** – резко повышенный МР-сигнал у пациента с РРС; **в** – изо-/гипоинтенсивный МР-сигнал у пациента с ВПРС.

Fig. 3. Magnetic susceptibility patterns in the pulvinar (arrows) on QSM maps in three patients of the same age. **a** – normal pattern in a healthy control; **б** – hyperintense signal in a patient with RMS; **в** – iso/hypointense signal in a patient with SPMS.

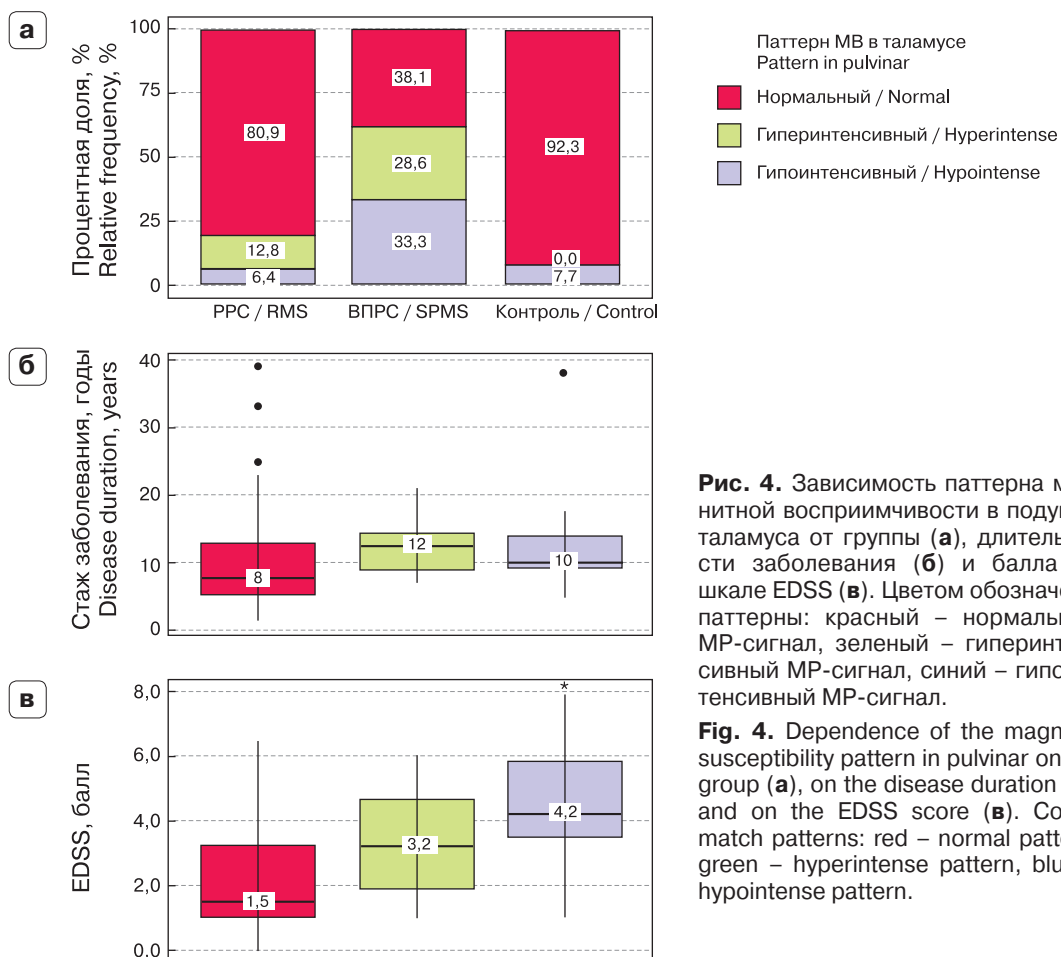
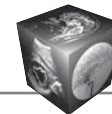


Рис. 4. Зависимость паттерна магнитной восприимчивости в подушке таламуса от группы (**а**), длительности заболевания (**б**) и балла по шкале EDSS (**в**). Цветом обозначены паттерны: красный – нормальный МР-сигнал, зеленый – гиперинтенсивный МР-сигнал, синий – гипоинтенсивный МР-сигнал.

Fig. 4. Dependence of the magnetic susceptibility pattern in pulvinar on the group (**a**), on the disease duration (**б**), and on the EDSS score (**в**). Colors match patterns: red – normal pattern, green – hyperintense pattern, blue – hypointense pattern.



(рис. 3а) в виде хорошо визуализируемой подушки таламуса, имеющей слабо гиперинтенсивный МР-сигнал на карте QSM относительно остальных отделов таламуса, “гиперинтенсивный” паттерн в виде резко гиперинтенсивного МР-сигнала в области подушки при видимом уменьшении ее объема (рис. 3б) и “гипоинтенсивный” паттерн, проявляющийся снижением магнитной восприимчивости в подушке таламуса и отсутствием ее явной визуализации (рис. 3в).

Нормальный паттерн отмечался в подавляющем большинстве случаев (>90%) у пациентов группы контроля, за исключением трех пациентов старшей возрастной категории (около 50 лет). В свою очередь в группе РРС нормальный паттерн был выявлен у 81% испытуемых, а в группе ВПРС – лишь у 38%. При этом у трети (33%) пациентов с ВПРС и всего у 6% пациентов с РРС определялся гипоинтенсивный паттерн, в то время как у других 13% пациентов с РРС и 29% – с ВПРС, напротив, в подушке таламуса был выявлен гиперинтенсивный МР-сигнал (рис. 4а).

Данные паттерны не зависели от длительности заболевания, но показали значимую корреляцию с баллом по шкале оценки инвалидности EDSS (рис. 4б, в).

Различия в магнитной восприимчивости в остальных подкорковых структурах, а также в ВНБВ полушарий головного мозга и моторной коре оказались статистически незначимыми (см. таблицу).

Обсуждение

Согласно данным литературы, таламус наряду с лентикулярными ядрами является одной из первых структур, которая подвергается атрофическим изменениям при РС [19, 38, 39]. Это согласуется с выявленными нами изменениями в области скорлупы и подушки таламуса. Некоторые авторы связывают атрофию таламуса с длительностью заболевания [40]. В то же время в другом исследовании было показано, что длительность заболевания не влияла на потерю объема вещества головного мозга, что согласуется с отсутствием корреляции этих параметров в нашей работе [7].

При этом отсутствие статистически значимых изменений в других областях не говорит об отсутствии вовлечения данных структур в патологический процесс. Изменения происходят, но, вероятно, несколько позже – необходима большая выборка пациентов, чтобы их оценить. В нашей же работе количество пациентов с ВПРС было в два раза меньше, чем в остальных группах, что могло отразиться на значимости результатов.

Учитывая выявленные различия между типами течения заболевания и слабую связь паттерна магнитной восприимчивости в таламусе со степенью инвалидизации (рис. 4в), можно предположить, по крайней мере, два механизма формирования выявленных изменений.

Можно предположить нелинейное изменение содержания железа в таламусе по мере прогрессирования заболевания. Вероятно, первоначально запустившийся дегенеративный процесс приводит к активации макрофагов и клеток микроглии, нагруженных железом и, как следствие, накоплению железа в данной области [41]. В свою очередь, само по себе свободное железо может участвовать в реакциях, ведущих к образованию токсичных свободных радикалов, что приводит к окислительному стрессу и повреждению митохондрий, лишь усугубляя общую картину [22]. В результате происходит атрофия данной области, а ионы железа постепенно удаляются из последней.

Другая, более вероятная гипотеза основана на результатах исследования, согласно которому повышение магнитной восприимчивости не обязательно является свидетельством притока железа в пораженную область мозга. Оно может быть объяснено и атрофическими изменениями, при которых уменьшение объема структуры мозга вследствие потери нейронов приводит к локальному повышению концентрации железа, которое ранее было равномерно распределено на большей по размеру площади [33]. В этом случае повышение магнитной восприимчивости, которое мы определяли в подушке таламуса у некоторых пациентов, может быть не причиной, а лишь следствием атрофического процесса, который происходит в настоящий момент, но еще не может быть достоверно выявлен с помощью существующих методов.

Заключение

Таким образом, с помощью количественного картирования восприимчивости были выявлены МРТ-паттерны в области подкорковых структур, которые были более характерны для вторично-прогрессирующего рассеянного склероза, нежели для ремиттирующего. Выявленные изменения могут указывать на потенциальную возможность оценки железа в данных структурах для определения вероятного прогрессирования заболевания. Безусловно, необходимо проведение дальнейших исследований на большей выборке пациентов, чтобы определить значимость полученных результатов, а упрощение процедуры постпроцессинга позволило бы внедрить методику QSM в стандартную клиническую практику.



Участие авторов

Матросова М.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Брюхов В.В. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Попова Е.В. – участие в научном дизайне.

Бельская Г.Н. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Кротенкова М.В. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Matrosova M.S. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Bryukhov V.V. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, participation in scientific design.

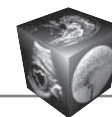
Popova E.V. – participation in scientific design.

Belskaya G.N. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Krotchenkova M.V. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Thompson A.J., Banwell B.L., Barkhof F. et al. Diagnosis of multiple sclerosis: 2017 revisions of the McDonald criteria. *Lancet Neurol.* 2018; 17 (2): 162–173. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(17\)30470-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(17)30470-2)
2. Walton C., King R., Rechtman L. et al. Rising prevalence of multiple sclerosis worldwide: Insights from the Atlas of MS, third edition. *Multiple Sclerosis J.* 2020; 26 (14): 1816–1821. <https://doi.org/10.1177/1352458520970841>
3. Ontaneda D., Thompson A.J., Fox R.J., Cohen J.A. Progressive multiple sclerosis: prospects for disease therapy, repair, and restoration of function. *Lancet (London, England).* 2017; 389 (10076): 1357–1366. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31320-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31320-4)
4. Zhang Y., Salter A., Jin S. et al. Disease-modifying therapy prescription patterns in people with multiple sclerosis by age. *Ther. Adv. Neurol. Disord.* 2021; 14: 17562864211006499. <https://doi.org/10.1177/17562864211006499>
5. Guan Y., Jakimovski D., Ramanathan M. et al. The role of Epstein-Barr virus in multiple sclerosis: from molecular pathophysiology to in vivo imaging. *Neural. Regen. Res.* 2019; 14(3): 373–386. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.245462>
6. Dendrou C.A., Fugger L., Friese M.A. Immunopathology of multiple sclerosis. *Nat. Rev. Immunol.* 2015; 15 (9): 545–558. <https://doi.org/10.1038/nri3871>
7. Uher T., Krasensky J., Malpas C. et al. Evolution of Brain Volume Loss Rates in Early Stages of Multiple Sclerosis. *Neurol. Neuroimmunol. Neuroinflamm.* 2021; 8 (3): e979. <https://doi.org/10.1212/NXI.0000000000000979>
8. Stankiewicz J.M., Weiner H.L. An argument for broad use of high efficacy treatments in early multiple sclerosis. *Neurol. Neuroimmunol. Neuroinflamm.* 2019; 7 (1): e636. <https://doi.org/10.1212/NXI.0000000000000636>
9. Giovannoni G., Butzkueven H., Dhib-Jalbut S. et al. Brain health: time matters in multiple sclerosis. *Mult. Scler. Relat. Disord.* 2016; Suppl 1: S5–S48. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2016.07.003>
10. Filippi M., Rocca M.A., Ciccarelli O. et al.; MAGNIMS Study Group. MRI criteria for the diagnosis of Multiple sclerosis: MAGNIMS consensus guidelines. *Lancet Neurol.* 2016; 15 (3): 292–303. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(15\)00393-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(15)00393-2)
11. Traboulsee A., Simon J.H., Stone L. et al. Revised Recommendations of the Consortium of MS Centers Task Force for a Standardized MRI Protocol and Clinical Guidelines for the Diagnosis and Follow-Up of Multiple Sclerosis. *Am. J. Neuroradiol.* 2016; 37 (3): 394–401. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4539>
12. Брюхов В.В., Куликова С.Н., Кротенкова М.В., Переседова А.В., Завалишин И.А. Современные методы визуализации в патогенезе рассеянного склероза. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2017; 7 (3): 47–54. <https://doi.org/10.17816/psaic226>
Bryukhov V.V., Kulikova S.N., Krotchenkova M.V., Peresedova A.V., Zavalishin I.A. State-of-the-art neuroimaging techniques in pathogenesis of multiple sclerosis. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2017; 7 (3): 47–54. <https://doi.org/10.17816/psaic226> (In Russian)
13. Mahad D.H., Trapp B.D., Lassmann H. Pathological mechanisms in progressive multiple sclerosis. *Lancet Neurol.* 2015; 14 (2): 183–193. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70256-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70256-X)
14. Frischer J.M., Bramow S., Dal-Bianco A. et al. The relation between inflammation and neurodegeneration in multiple sclerosis brains. *Brain.* 2009; 132 (5): 1175–1189. <https://doi.org/10.1093/brain/awp070>
15. Lublin F.D., Reingold S.C., Cohen J.A. et al. Defining the clinical course of multiple sclerosis: the 2013 revisions. *Neurology.* 2014; 83 (3): 278–286. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000560>
16. Хачанова Н.В., Бойко А.Н., Бахтиярова К.З., Власов Я.В., Евдошенко Е.П., Сиверцева С.А., Шмидт Т.Е., Шумилина М.В. Рекомендации экспертного совещания “Вторично-прогрессирующий рассеянный склероз: нерешенные вопросы и перспективы”. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2019; 11 (4): 172–175. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2019-4-172-175>
Khachanova N.V., Boyko A.N., Bakhtiyarova K.Z., Vlasov Y.V., Evdoshenko E.P., Sivertseva S.A., Schmidt T.E., Shumilina M.V. Recommendations from the Expert Meeting “Secondary progressive multiple sclerosis: unresolved issues and prospects”. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2019; 11 (4): 172–175. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2019-4-172-175> (In Russian)
17. Steenwijk M.D., Daams M., Pouwels P.J. et al. Unraveling the relationship between regional gray matter atrophy and pathology in connected white matter tracts in long-



- standing multiple sclerosis. *Hum. Brain Mapp.* 2015; 36 (5): 1796–1807. <https://doi.org/10.1002/hbm.22738>
18. Кротенкова И.А., Брюхов В.В., Переседова А.В., Кротенкова М.В. Атрофия центральной нервной системы при рассеянном склерозе: данные МРТ-морфометрии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. Спецвыпуски. 2014; 114 (10-2): 50–56. Krotenkova I.A., Briukhov V.V., Peresedova A.V., Krotenkova M.V. Atrophy of the central nervous system in multiple sclerosis: MRI-morphometry results. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2014; 114 (10-2): 50–56. (In Russian)
19. Кротенкова И.А., Брюхов В.В., Захарова М.Н., Морозова С.Н., Кротенкова М.В., Аскарова Л.Ш. Атрофия головного и спинного мозга у пациентов с ремиттирующим рассеянным склерозом: 3-летнее динамическое исследование. *Лучевая диагностика и терапия*. 2017; 1: 35–39. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2017-1-35-39> Krotenkova I.A., Bryukhov V.V., Zakharova M.N., Morozova S.N., Krotenkova M.V., Askarova L.Sh. Brain and spine atrophy in relapsing remitting multiple sclerosis: a 3-year follow-up study. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2017; (1): 35–39. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2017-1-35-39> (In Russian)
20. Cortese R., Collorone S., Ciccirelli O., Toosy A.T. Advances in brain imaging in multiple sclerosis. *Ther. Adv. Neurol. Disord.* 2019. <https://doi.org/10.1177/1756286419859722>
21. Belaidi A.A., Bush A.I. Iron neurochemistry in Alzheimer's disease and Parkinson's disease: targets for therapeutics. *J. Neurochem.* 2016; 139: 179–197. <https://doi.org/10.1111/jnc.13425>
22. Rouault T. Iron metabolism in the CNS: implications for neurodegenerative diseases. *Nat. Rev. Neurosci.* 2013; 14: 551–564. <https://doi.org/10.1038/nrn3453>
23. Ward R.J., Zucca F.A., Duyn J.H., Crichton R.R., Zecca L. The role of iron in brain ageing and neurodegenerative disorders. *Lancet Neurol.* 2014; 13 (10): 1045–1060. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70117-6](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70117-6)
24. Gaasch J.A., Lockman P.R., Geldenhuys W.J. et al. Brain Iron Toxicity: Differential Responses of Astrocytes, Neurons, and Endothelial Cells. *Neurochem Res.* 2007; 32: 1196–1208. <https://doi.org/10.1007/s11064-007-9290-4>
25. Li G., Wu R., Tong R. et al. Quantitative Measurement of Metal Accumulation in Brain of Patients With Wilson's Disease. *Mov Disord.* 2020; 35: 1787–1795. <https://doi.org/10.1002/mds.28141>
26. Bagnato F., Hametner S., Yao B. et al. Tracking iron in multiple sclerosis: a combined imaging and histopathological study at 7 Tesla. *Brain.* 2011; 134 (12): 3602–3615. <https://doi.org/10.1093/brain/awr278>
27. Gillen K.M., Mubarak M., Park C. et al. QSM is an imaging biomarker for chronic glial activation in multiple sclerosis lesions. *Ann. Clin. Transl. Neurol.* 2021; 8 (4): 877–886. <https://doi.org/10.1002/acn3.51338>
28. Zhang Y., Gauthier S.A., Gupta A. et al. Quantitative Susceptibility Mapping and R2* Measured Changes during White Matter Lesion Development in Multiple Sclerosis: Myelin Breakdown, Myelin Debris Degradation and Removal, and Iron Accumulation. *Am. J. Neuroradiol.* 2016; 37: 1629–1635. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4825>
29. Wisnieff C., Ramanan S., Olesik J. et al. Quantitative susceptibility mapping (QSM) of white matter multiple sclerosis lesions: Interpreting positive susceptibility and the presence of iron. *Magn Reson Med.* 2015; 74 (2): 564–570. <https://doi.org/10.1002/mrm.25420>
30. Wang Y., Spincemaille P., Liu Z. et al. Clinical quantitative susceptibility mapping (QSM): Biometal imaging and its emerging roles in patient care. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2017; 46 (4): 951–971. <https://doi.org/10.1002/jmri.25693>
31. Chen W., Zhu W., Kovanlikaya I. et al. Intracranial calcifications and hemorrhages: characterization with quantitative susceptibility mapping. *Radiology.* 2014; 270 (2): 496–505. <https://doi.org/10.1148/radiol.13122640>
32. Liu C., Wei H., Gong N.J. et al. Quantitative Susceptibility Mapping: Contrast Mechanisms and Clinical Applications. *Tomography.* 2015; 1 (1): 3–17. <https://doi.org/10.18383/j.tom.2015.00136>
33. Schweser F., Hagemeyer J., Dwyer M.G. et al. Decreasing brain iron in multiple sclerosis: The difference between concentration and content in iron MRI. *Hum. Brain Mapp.* 2021; 42 (5): 1463–1474. <https://doi.org/10.1002/hbm.25306>
34. Yu F.F., Chiang F.L., Stephens N. et al. Characterization of normal-appearing white matter in multiple sclerosis using quantitative susceptibility mapping in conjunction with diffusion tensor imaging. *Neuroradiology.* 2019; 61 (1): 71–79. <https://doi.org/10.1007/s00234-018-2137-7>
35. Kaunzner U.W., Kang Y., Zhang S. et al. Quantitative susceptibility mapping identifies inflammation in a subset of chronic multiple sclerosis lesions. *Brain.* 2019; 142 (1): 133–145. <https://doi.org/10.1093/brain/awy296>
36. Liu J., Liu T., de Rochefort L. et al. Morphology enabled dipole inversion for quantitative susceptibility mapping using structural consistency between the magnitude image and the susceptibility map. *Neuroimage.* 2012; 59 (3): 2560–2568. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.082>
37. Wang Y., Liu T. Quantitative susceptibility mapping (QSM): Decoding MRI data for a tissue magnetic biomarker. *Magn. Reson. Med.* 2015; 73 (1): 82–101. <https://doi.org/10.1002/mrm.25358>
38. Burgetova A., Dusek P., Vaneckova M. et al. Thalamic Iron Differentiates Primary-Progressive and Relapsing-Remitting Multiple Sclerosis. *Am. J. Neuroradiol.* 2017; 38 (6): 1079–1086. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5166>
39. Papathanasiou A., Messinis L., Zampakis P. et al. Thalamic atrophy predicts cognitive impairment in relapsing remitting multiple sclerosis. Effect on instrumental activities of daily living and employment status. *J. Neurol. Sci.* 2015; 358 (1–2): 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.09.001>
40. Прахова Л.Н., Богдан А.А., Ильвес А.Г., Магонов Е.П., Савинцева Ж.И., Трофимова Т.Н. Особенности развития нейродегенерации таламуса у больных рассеянным склерозом. *Лучевая диагностика и терапия*. 2015; (4): 35–41. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2015-4-35-41> Prakhova L.N., Bogdan A.A., Ilves A.G., Magonov E.P., Savintseva Zh.I., Trofimova T.N. Features of thalamic neurodegeneration in patients with multiple sclerosis. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2015; (4): 35–41. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2015-4-35-41> (In Russian)
41. Zivadinov R., Schweser F., Dwyer M.G., Pol S. Detection of Monocyte/Macrophage and Microglia Activation in the TMEV Model of Chronic Demyelination Using USPIO-Enhanced Ultrahigh-Field Imaging. *J. Neuroimaging.* 2020; 30 (6): 769–778. <https://doi.org/10.1111/jon.12768>



Для корреспонденции*: Матросова Мария Сергеевна – 125367 Москва, Волоколамское шоссе, д. 80. Тел.: +7-495-490-22-05. E-mail: kmari-s@yandex.ru

Матросова Мария Сергеевна – аспирант, врач-рентгенолог ФГБНУ “Научный центр неврологии”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4604-7288>

Брюхов Василий Валерьевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник, врач-рентгенолог ФГБНУ “Научный центр неврологии”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1645-6526>

Попова Екатерина Валериевна – доктор мед. наук, заведующая межотделением рассеянного склероза ГБУЗ “ГКБ 24 ДЗМ”; доцент кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики лечебного факультета ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2676-452X>

Бельская Галина Николаевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая многопрофильным клинико-диагностическим центром, ФГБНУ “Научный центр неврологии”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9831-8970>

Кротенкова Марина Викторовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник, руководитель отдела лучевой диагностики ФГБНУ “Научный центр неврологии”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3820-4554>

Contact*: Maria S. Matrosova – 80, Volokolamskoye shosse, Moscow 125367. Phone: +7-495-490-22-05. E-mail: kmari-s@yandex.ru

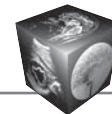
Maria S. Matrosova – graduate student, Radiologist, Research center of neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4604-7288>

Vasily V. Bryukhov – Cand. of Sci. (Med.), Senior Research Associate, Radiologist of Research center of neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1645-6526>

Ekaterina V. Popova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Multiple Sclerosis Center in Moscow City Clinical Hospital 24; Assistant Professor, Pirogov Russian National Research Medical University Department of Neurology, Neurosurgery and Medical Genetics, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2676-452X>

Galina N. Belskaya –Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Multidisciplinary Clinical and Diagnostic Center, Research center of neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9831-8970>

Marina V. Krotenkova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Department of Radiology, Main Researcher, Research center of neurology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3820-4554>



Голова | Head

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1127>

Магнитно-резонансная томография в оценке цереброваскулярной реактивности

© Никогосова А.К.^{1*}, Лелюк С.Э.², Лелюк В.Г.¹

¹ ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА России, Научно-исследовательский центр радиологии и клинической физиологии; 117513 Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

Цель исследования: анализ литературы, касающейся методики проведения МРТ-картирования цереброваскулярной реактивности.

Материал и методы. Проанализировано 75 публикаций (4 отечественные, 71 зарубежная), вышедших в свет в период с 1960 по 2021 г. Более половины работ было опубликовано в последнее десятилетие, 26 работ — в период с 2016 по 2021 г.

Результаты. В статье систематизированы способы оценки цереброваскулярной реактивности и подходы к оценке цереброваскулярной реактивности методом МРТ. Подробно изложена методика проведения бесконтрастного МРТ-картирования цереброваскулярной реактивности с гиперкапнической пробой; также рассмотрены альтернативные вазоактивные стимулы. Обсуждены вопросы, связанные с обработкой данных и оценкой результатов исследования.

Заключение. Нарушения цереброваскулярной реактивности играют важную роль в патогенезе сосудистых заболеваний головного мозга. На протяжении последних десятилетий для оценки цереброваскулярной реактивности широко использовались различные радионуклидные и ультразвуковые методы. В последние годы значительно возрос интерес исследователей к МРТ как методу картирования цереброваскулярной реактивности. Неинвазивность, безопасность, отсутствие лучевой нагрузки и хорошая переносимость являются безусловными преимуществами МРТ-картирования перед другими способами оценки цереброваскулярной реактивности. Однако разнообразие методологических подходов к МРТ-картированию цереброваскулярной реактивности обуславливает значительную вариабельность результатов исследования. Стандартизация процедуры должна являться первым шагом на пути внедрения МРТ-картирования цереброваскулярной реактивности в клиническую практику.

Ключевые слова: цереброваскулярная реактивность, цереброваскулярный резерв, МРТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Никогосова А.К., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Магнитно-резонансная томография в оценке цереброваскулярной реактивности. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 23–35.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1127>

Поступила в редакцию: 25.01.2022. **Принята к печати:** 03.02.2022. **Опубликована online:** 20.10.2022.

Magnetic resonance imaging for cerebrovascular reactivity assessment

© Anait K. Nikogosova^{1*}, Svetlana E. Lelyuk², Vladimir G. Lelyuk¹

¹ Federal center for brain and neurotechnologies of the Federal Medical and Biological Agency, Scientific and research center of radiology and clinical physiology; 1-10, Ostrivtyanova str., Moscow 117513, 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



Purpose. To analyze the publications related to the technique of MRI mapping of cerebrovascular reactivity.
Materials and methods. We have analyzed 75 publications (4 Russian, 71 foreign), published in the period from 1960 to 2021 years. More than half of these articles were published in the last ten years, with 26 studies – in the period from 2016 to 2021 years.
Results. The article systematizes methods for assessing cerebrovascular reactivity and approaches to assessing cerebrovascular reactivity by MRI. The technique of non-enhanced MRI mapping of cerebrovascular reactivity with a hypercapnic challenge is described in detail; alternative vasoactive stimuli are also considered. Issues related to data processing and evaluation of research results were discussed.
Conclusion. Impairment of cerebrovascular reactivity plays an important role in the pathogenesis of cerebrovascular diseases. Over the past decades, various radionuclide and ultrasound methods have been widely used to assess cerebrovascular reactivity. In recent years the interest of researchers in MRI as a method of mapping cerebrovascular reactivity has increased significantly. Noninvasiveness, safety, absence of radiation exposure, and good tolerability are the absolute advantages of MRI mapping over other methods of assessing cerebrovascular reactivity. However, the variety of methodological approaches to MRI mapping of cerebrovascular reactivity causes significant variability in the results of the study. Standardization of the procedure should be the first step toward the introduction of MRI mapping of cerebrovascular reactivity into clinical practice.

Keywords: cerebrovascular reactivity, cerebrovascular reserve, MRI

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

For citation: Nikogosova A.K., Lelyuk S.E., Lelyuk V.G. Magnetic resonance imaging for cerebrovascular reactivity assessment. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 23–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1127>

Received: 25.01.2022.

Accepted for publication: 03.02.2022.

Published online: 20.10.2022.

Введение

Нарушениям ауторегуляции мозгового кровотока отводится значительная роль в патогенезе цереброваскулярных заболеваний [1–3]. Накопление данных о тесной связи выраженности этих нарушений с рисками и исходами сосудистых заболеваний головного мозга обосновывает актуальность разработки объективных методов оценки состояния механизмов церебральной циркуляторной ауторегуляции [4–6]. Потенциальной областью практического применения таких методов является выбор тактики и контроль эффективности лечения означенной патологии [7].

Исторически для определения сохранности механизмов ауторегуляции церебрального кровотока использовались в основном позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), а также транскраниальная доплерография (ТКДГ) и транскраниальное дуплексное сканирование (ТКДС) [8]. Последние годы ознаменовались значительно возросшим интересом исследователей к использованию возможностей магнитно-резонансной томографии (МРТ) для анализа состояния компенсаторно-приспособительных реакций гемодинамического обеспечения головного мозга.

Понятие цереброваскулярной реактивности

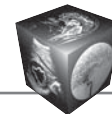
Ауторегуляция мозгового кровотока является важнейшим механизмом, обеспечивающим относительно постоянное объемной скорости мозгового кровотока при колебаниях перфузионного

давления. Показателем сохранности ауторегуляторных механизмов является цереброваскулярная реактивность (ЦВР), определяемая как способность сосудов головного мозга изменять свой диаметр в ответ на воздействие вазоактивного стимула. Развивающийся вазодилаторный или вазоконстрикторный ответ является результатом слаженной работы множества механизмов: миогенного, метаболического, эндотелиального, а также нейрогенного и гуморального [1, 9].

Являясь фундаментальным свойством сосудистой системы головного мозга, ЦВР может быть охарактеризована комплексно величиной ответа на раздражение, быстротой развития ответной реакции, а также скоростью возврата системы к исходному состоянию [10]. В то же время наиболее распространенным способом оценки ЦВР в клинической практике остается измерение силы или интенсивности реакции в ответ на раздражение [3, 8, 11, 12]. В связи с этим для обозначения выраженности реактивного изменения измеряемых посредством различных методов показателей применяется термин “индекс ЦВР” (иЦВР). При этом не столь важно, что именно оценивается – линейная скорость потока в просвете или показатели перфузии [8, 13].

Роль цереброваскулярной реактивности в патогенезе сосудистых заболеваний

В основе клинических проявлений цереброваскулярных заболеваний лежит недостаточное гемодинамическое обеспечение потребностей головного мозга, являющееся следствием огра-



нижения артериального притока, в частности, в результате стеноза или окклюзии церебральных артерий. Универсальным механизмом реализации такого ограничения является снижение уровня перфузионного давления. В 1987 г. W.J. Powers и соавт. предложили двухступенчатую модель, описывающую динамику гемодинамических нарушений при снижении перфузионного давления [14, 15]. Согласно этой модели, снижение перфузионного давления посредством активации ауторегуляторных механизмов приводит к расширению резистивного русла, по большей мере – артериол, что обуславливает падение сосудистого сопротивления, и, как следствие, увеличение объема мозгового кровотока (cerebral blood volume, CBV). Для этой стадии, называемой стадией ауторегуляторной вазодилатации, характерна относительная сохранность скорости церебрального кровотока (cerebral blood flow, CBF) и уровня экстракции кислорода. Дальнейшее снижение перфузионного давления приводит к истощению цереброваскулярного резерва и развитию второй стадии – ауторегуляторной недостаточности. Она характеризуется максимальной вазодилатацией, невозможностью дальнейшего увеличения CBV и снижением CBF. Кислородный обмен на этом этапе поддерживается на нормальном уровне за счет увеличения экстракции кислорода тканями. Продолжающееся падение перфузионного давления вызывает рост степени экстракции кислорода; в свою очередь истощение этого компенсаторного механизма приводит к невозможности поддержания достаточного для нормального функционирования мозга уровня мозгового кровотока и развитию церебральной ишемии [14].

В дальнейшем в ряде исследований были получены результаты, свидетельствующие о несовершенстве описанной модели [16–18]. Так, в одной из работ, выполненных с использованием “золотого стандарта” оценки перфузии – позитронно-эмиссионной томографии, было показано, что некоторое снижение CBF и увеличение уровня экстракции кислорода наблюдается еще до момента истощения цереброваскулярного резерва, а CBV при сохранности ауторегуляторных механизмов не претерпевает существенных изменений [18]. Подобные противоречия привели к появлению модифицированной модели гемодинамического ответа на снижение перфузионного давления, учитывающей новые данные [19].

Несмотря на неодинаковые результаты многочисленных исследований, выполненных с использованием различных методологических подходов, а также сложность их интерпретации, не подвергается сомнению важная роль ауторе-

гуляции сосудистого тонуса в процессе поддержания церебрального циркуляторного гомеостаза [9]. Степень сохранности компенсаторных механизмов при этом может использоваться с целью стратификации риска ишемических событий при цереброваскулярных заболеваниях, а также учитываться при выборе тактики лечебных мероприятий [20]. Среди способов объективного определения состояния механизмов ауторегуляции мозгового кровообращения одними из основных являются направленные на оценку ЦВР.

Методы оценки

цереброваскулярной реактивности

Как уже говорилось ранее, ЦВР – это способность церебральных сосудов изменять свой диаметр в ответ на вазоактивный стимул. Из этого следует, что прямая оценка иЦВР возможна лишь при непосредственном наблюдении за изменениями диаметров сосудов головного мозга, что возможно исключительно при инвазивных вмешательствах. В связи с этим все неинвазивные методы определения иЦВР являются косвенными. Наиболее простыми и доступными методами неинвазивной оценки иЦВР являются ТКДГ и ТКДС, позволяющие по изменениям линейных скоростей кровотока в проксимальных отрезках крупных церебральных артерий судить об изменениях диаметров артерий резистивного русла головного мозга [2].

Альтернативная возможность неинвазивной оценки иЦВР заключается в измерении регионарных значений CBF. Согласно закону Пуазейля, объемная скорость церебрального кровотока пропорциональна радиусу сосуда в четвертой степени. Таким образом, даже незначительные изменения просвета артерии приводят к измеримым колебаниям CBF [21]. В основе оценки иЦВР в этом случае лежит регистрация CBF до и после воздействия какого-либо вазоактивного стимула. В качестве такого стимула могут выступать фармакологические препараты (ингибиторы карбоангидразы, нитроглицерин), состояние гиперкапнии (в результате ингаляции углекислого газа или дыхания в закрытом контуре), а также физиологические пробы (гипервентиляция, задержка дыхания, фотостимуляция, когнитивные тесты) [22–24]. Расчет иЦВР осуществляется в соответствии со следующей формулой:

$$\text{иЦВР} = \frac{\text{CBF}_1 - \text{CBF}_0}{\text{CBF}_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где CBF_0 – это значение скорости мозгового кровотока до воздействия стимула, а CBF_1 – значение скорости мозгового кровотока после воздействия стимула.



Таким образом, для определения иЦВР, помимо ТКДГ и ТКДС, может применяться любой метод исследования церебральной перфузии. К таким методам относят ПЭТ с использованием меченого кислорода, ОФЭКТ, перфузионную КТ с йодсодержащим контрастным препаратом и МРТ (контрастную и бесконтрастную) [8]. В последние годы именно МРТ в качестве метода оценки ЦВР привлекала к себе внимание исследователей благодаря своим широким возможностям, относительной доступности, неинвазивности, точности, воспроизводимости и отсутствию лучевой нагрузки.

МРТ в оценке цереброваскулярной реактивности

Интерес исследователей к МРТ-картированию иЦВР обусловлен, прежде всего, возможностью оценки показателей церебральной перфузии без использования какого-либо контрастного препарата. Кроме того, отсутствие лучевой нагрузки при исследовании позволяет производить измерения многократно, что положительно сказывается на надежности получаемых данных.

При картировании иЦВР методом МРТ наиболее широко в качестве вазоактивного стимула используют ингаляцию нормоксической гиперкапнической газовой смеси (CO_2). Углекислый газ является вазодилататором: расслабление гладкомышечных клеток в стенках сосудов, с одной стороны, объясняется его непосредственным влиянием на гладкомышечные клетки; с другой стороны, опосредовано эффектами оксида азота, выделяющегося эндотелиальными клетками под воздействием CO_2 [25]. Зависимость CBF от парциального давления CO_2 ($p_a\text{CO}_2$) в артериальной крови носит сигмоидный характер, однако в том диапазоне значений $p_a\text{CO}_2$, в рамках которого производятся клинические измерения иЦВР, эту зависимость можно считать линейной [26].

Ингаляция гиперкапнической газовой смеси в качестве стимула в сочетании с бесконтрастной МРТ делает процедуру картирования иЦВР абсолютно неинвазивной.

Подходы к оценке цереброваскулярной реактивности методом МРТ

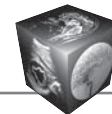
В зависимости от того, как именно в ходе МРТ-исследования производится оценка церебральной перфузии, можно выделить четыре различных подхода к МРТ-картированию иЦВР: при помощи BOLD (blood oxygen level-dependent) визуализации, при помощи перфузии методом меченых артериальных спинов (arterial spin labeling, ASL-перфузия), при помощи фазоконтрастной ангиографии и при помощи контрастной МРТ-перфузии.

BOLD-визуализация. BOLD-визуализация является наиболее широко используемой методикой оценки иЦВР во много благодаря возможности достичь высокого временного разрешения и приемлемого уровня сигнал/шум. По своей сути картирование иЦВР методом BOLD схоже с функциональной МРТ. Величина BOLD-сигнала зависит от концентрации в вокселе дезоксигемоглобина, обладающего парамагнитными свойствами: чем больше содержание дезоксигемоглобина, тем ниже регистрируемый сигнал и наоборот. В результате применения вазодилаторного стимула повышается скорость мозгового кровотока (cerebral blood flow, CBF). Повышение перфузии приводит к возрастанию концентрации оксигенированной крови в вокселе и снижению содержания дезоксигенированной крови и, следовательно, к повышению BOLD-сигнала.

Одним из основных ограничений BOLD-подхода является тот факт, что на величину BOLD-сигнала помимо CBF оказывают влияние и другие факторы, такие как содержание крови в вокселе (cerebral blood volume, CBV), концентрация гемоглобина в крови, концентрация растворенного в крови кислорода ($p_a\text{O}_2$) и уровень экстракции кислорода тканями. У здоровых индивидуумов при условии поддержания постоянной $p_a\text{O}_2$ зависимость величины BOLD-сигнала от CBF является линейной, однако при развитии компенсаторной гипервентиляции в ходе гиперкапнической пробы, а также у пациентов с цереброваскулярными заболеваниями эта зависимость может приобретать нелинейный характер, что значительно затрудняет интерпретацию полученных данных [27].

ASL-перфузия. В отличие от BOLD-визуализации, где оценка перфузионных характеристик является, по сути, косвенной, метод ASL-перфузии позволяет получить абсолютные значения CBF. Суть метода меченых артериальных спинов заключается в использовании радиочастотных импульсов и градиентных магнитных полей в качестве “виртуальных меток” на протонах воды в артериальной крови. Спустя небольшой промежуток времени, в течение которого меченые спины достигают интракраниальных артерий, производят сканирование, позволяющее оценить распределение меток в головном мозге. В результате дальнейшей постобработки изображений получают карты CBF [28].

Безусловным преимуществом этого подхода является возможность прямой оценки перфузионных характеристик. Однако ASL-перфузия уступает BOLD-визуализации в пространственном и временном разрешении и, что более важно, в соотношении сигнал/шум [29]. Еще одним огра-



нением ASL-перфузии является зависимость получаемых значений CBF от особенностей гемодинамики конкретного испытуемого. Снижение времени транзита артериальной крови, наблюдающееся, в частности, при стенооокклюзирующих поражениях магистральных артерий головы, может приводить к недооценке CBF и, следовательно, к недостоверным результатам картирования и ЦВР. Один из вариантов решения этой проблемы заключается в использовании сразу нескольких временных интервалов между мечением спинов и сканированием (postlabeling delay, PLD) [30]. Кроме того, ингаляция 5% углекислого газа, используемая в качестве вазоактивного стимула в исследованиях ЦВР, сама по себе может приводить к сокращению времени транзита артериальной крови на 5–13% [31, 32], что также оказывает влияние на точность оценки ЦВР.

Фазоконтрастная МР-ангиография. Оценка ЦВР при помощи методики фазоконтрастной МР-ангиографии (ФК МРА) наиболее приближена по своим принципам к ультразвуковой доплерографической методике определения и ЦВР. ФК МРА основана на явлении фазового сдвига, который испытывают спины, движущиеся в направлении градиентного магнитного поля. Поскольку величина фазового сдвига пропорциональна скорости движения спинов, ФК МРА позволяет получить абсолютные значения линейных скоростей кровотока в крупных артериях головного мозга [33]. В дальнейшем путем умножения линейной скорости на площадь поперечного сечения сосуда рассчитывают объемную скорость кровотока, изменения которой и используют для оценки ЦВР.

ФК МРА в качестве метода оценки церебральной перфузии имеет ряд преимуществ, в числе которых высокое соотношение сигнал/шум, точность расчета абсолютных значений скоростей и хорошая воспроизводимость результатов [34]. Показатели скорости кровотока, измеренные при помощи ФК МРА, значимо коррелируют с аналогичными показателями, получаемыми при ТКДГ; однако для ФК МРА характерен значительно более низкий разброс получаемых значений [35]. Тем не менее этот подход имеет ограниченное применение в исследованиях, посвященных ЦВР. Главным образом, это связано со сложностью оценки регионарной гемодинамики и, следовательно, регионарной ЦВР, поскольку при использовании ФК МРА измерение показателей объемного кровотока доступно только для крупных сосудов [29]. Возможность изучения регионарных перфузионных характеристик методом ФК МРА была показана лишь в экспериментальных исследованиях с применением сверхвысокопольных

магнитно-резонансных систем с индукцией магнитного поля 7 Тл [36].

Контрастная МРТ-перфузия. Динамика изменений магнитной восприимчивости, возникающих в результате болюсного введения гадолиний-содержащего контрастного вещества, может использоваться для определения показателей церебральной перфузии. Несмотря на то что контрастная МР-перфузия характеризуется относительно высоким пространственным разрешением и соотношением сигнал/шум, ее использование в качестве инструмента для оценки ЦВР ограничено необходимостью двукратного введения контрастного препарата и невозможностью проведения серии повторяющихся измерений [37]. Совершенствование методик бесконтрастной оценки перфузионных характеристик головного мозга привело к тому, что в настоящее время в исследованиях, посвященных ЦВР, контрастная МР-перфузия практически не используется.

Технические аспекты проведения бесконтрастного МРТ-картирования и ЦВР с ингаляцией гиперкапнической газовой смеси

МРТ-исследование для оценки ЦВР, как правило, состоит из нескольких циклов чередования нормо- и гиперкапнии, при этом используют различные виды дыхательных нагрузок. Изменение концентрации CO_2 во вдыхаемом воздухе происходит непосредственно в процессе сканирования, при этом изменения МРТ-характеристик регистрируются фактически в режиме реального времени. Подобный подход требует специальных МР-совместимых систем доставки углекислого газа, а также наличия капнографа для регистрации уровня CO_2 в выдыхаемом воздухе [29]. Уровень CO_2 в выдыхаемом воздухе в данном случае служит суррогатом парциального давления углекислого газа в альвеолярном воздухе, в свою очередь коррелирующего с гемодинамическим ответом головного мозга.

Системы доставки углекислого газа. Системы, используемые для проведения МРТ-картирования и ЦВР, должны отвечать ряду требований: 1) все их компоненты должны быть МР-совместимы; 2) дыхательная маска или мундштук должны помещаться в пространстве, ограниченном головной катушкой, и не вызывать дискомфорта; 3) процесс переключения между типами подаваемой газовой смеси в такой системе должен быть незаметен для исследуемого и не приводить к смещению его головы. Все системы доставки углекислого газа можно разделить на две группы: с фиксированной концентрацией CO_2 во вды-



хаемом воздухе и с фиксированной концентрацией CO_2 в выдыхаемом воздухе [29].

Системы первого типа обеспечивают поступление в фазу гиперкапнии газовой смеси с постоянным составом (как правило, 5% CO_2 , 21% O_2 , 74% N_2) [38–40]. Для этих целей может использоваться мешок Дугласа или баллон, заранее заполненный гиперкапнической газовой смесью. В период нормокапнии исследуемый может дышать как атмосферным воздухом, так и нормокапнической газовой смесью из баллона. Такие системы отличаются относительной доступностью, однако они не позволяют добиться одинакового уровня CO_2 в выдыхаемом воздухе у всех исследуемых, поскольку не учитывают различий в индивидуальных особенностях вентиляции и восприимчивости к данному виду стимуляции.

Системы второго типа позволяют поддерживать количество углекислого газа в выдыхаемом воздухе на заданном уровне по принципу отрицательной обратной связи [41]. Специальное программное обеспечение в соответствии с регистрируемой на выдохе концентрацией CO_2 регулирует подачу газов из баллонов во вдыхаемую газовую смесь таким образом, чтобы добиться определенного уровня углекислого газа в выдыхаемом воздухе. Этот подход требует наличия гораздо более дорогостоящего оборудования, тем не менее его безусловным преимуществом является возможность индивидуального подбора состава газовой смеси с целью достижения одинаковой силы вазоактивного стимула для всех испытуемых, то есть стандартизации теста.

Регистрация уровня углекислого газа в выдыхаемом воздухе. Важным элементом МРТ-картирования иЦВР является оценка силы прилагаемого вазоактивного стимула, другими словами, содержания углекислого газа в альвеолярном воздухе. Парциальное давление углекислого газа в конце выдоха (Et-CO_2) обычно на 2–5 мм рт.ст. ниже парциального давления углекислого газа ($p_a\text{CO}_2$) в альвеолярном воздухе за счет “мертвого пространства” легких [42], тем не менее эти два показателя жестко коррелируют, что позволяет использовать Et-CO_2 в качестве аналога альвеолярного $p_a\text{CO}_2$ [43].

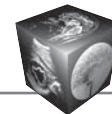
Для регистрации Et-CO_2 в выдыхаемом воздухе пробоотборную трубку капнографа устанавливают вблизи от дыхательной маски или мундштука. Несмотря на то что в процессе дальнейшей обработки данных используют кривую содержания CO_2 лишь в конце выдоха, для проведения МРТ-картирования иЦВР рекомендуется использовать капнографы, записывающие не только Et-CO_2 , но и динамику изменения парциального

давления углекислого газа во время всего дыхательного цикла – это позволяет избежать неточностей в работе прибора в момент перехода от нормокапнического состояния к гиперкапническому и наоборот [29].

Дыхательные парадигмы. Наиболее распространенной дыхательной парадигмой, в соответствии с которой происходит изменение уровня CO_2 во вдыхаемом воздухе, является блоковая. Длительность каждого блока при этом может составлять от 50 с до 2 мин 20 с [44, 45]. Существуют различные модификации блоковой парадигмы: с варьирующей концентрацией CO_2 в каждом гиперкапническом блоке [46] и с варьирующей длительностью блоков [47]. Преимуществом таких асимметричных парадигм является возможность отличить истинное снижение иЦВР от эффектов, связанных с увеличением “времени прибытия болюса” (например, при выраженном стеноокклюзирующем поражении брахиоцефальных артерий). Разновидностью блоковой парадигмы также является шаговая – в этом случае за одно исследование проводят лишь один цикл чередования нормо- и гиперкапнии, при этом длительность каждого блока составляет несколько минут. Такие парадигмы, как правило, применяют в исследованиях, использующих для оценки ЦВР ASL-перфузию или фазоконтрастную ангиографию [35, 48].

Системы с фиксированной концентрацией CO_2 в выдыхаемом воздухе дают возможность использовать, помимо блоковых парадигм, синусоидальные, при которых Et-CO_2 изменяется по синусоиде [49], а также линейные, характеризующиеся постепенным возрастанием Et-CO_2 до заданного уровня [50].

Переносимость и безопасность гиперкапнической пробы. Исследования, посвященные влиянию ингаляции гиперкапнической газовой смеси на организм человека, свидетельствуют о том, что это в целом безопасная и хорошо переносимая испытуемыми процедура. Лишь у небольшой части исследованных (11%) возникали преходящие симптомы в виде головокружения и одышки [51]. Степень вызываемого гиперкапнией дискомфорта коррелирует с концентрацией CO_2 во вдыхаемом воздухе и длительностью периода гиперкапнии. Оптимально использование газовой смеси с содержанием углекислого газа 5% (если речь идет о системе с фиксированной концентрацией CO_2 во вдыхаемом воздухе) или увеличение Et-CO_2 на 10 мм рт.ст. относительно базового (если речь идет о системе с фиксированной концентрацией CO_2 в выдыхаемом воздухе). Отмечено, что вдыхание гиперкапнической газовой смеси в течение 1 мин не вызывает значимого



дискомфорта у испытуемых, поэтому применение нескольких коротких гиперкапнических блоков более комфортно для пациента, чем использование одного, но длительного [29]. Тем не менее в целях безопасности пациенты, страдающие выраженной дыхательной недостаточностью, не должны подвергаться гиперкапнической пробе [52].

Обработка данных. Особенность МРТ-картирования иЦВР в гиперкапнической пробе заключается в том, что для расчета иЦВР сдвиг измеряемого МРТ-показателя относят к сдвигу концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе [52]:

$$\text{иЦВР} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \cdot \frac{1}{C_1 - C_2} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где M_1 – МРТ-параметр в состоянии гиперкапнии; M_0 – МРТ-параметр в состоянии нормокапнии; C_1 – Et-CO₂ в состоянии гиперкапнии; C_0 – Et-CO₂ в состоянии нормокапнии.

При этом в зависимости от используемой методики оценки ЦВР в качестве МРТ-параметра может выступать величина BOLD-сигнала, значение CBF или объемной скорости кровотока. Такой подход позволяет стандартизировать изменения измеряемых показателей и соотнести их с силой прикладываемого вазоактивного стимула. Определяемый таким образом иЦВР измеряется в процентах на мм рт.ст.

Описанный способ расчета иЦВР применим только в случаях, когда речь идет о наборе дискретных данных, то есть если измерения проводились в отдельные моменты времени. Расчет иЦВР по данным непрерывной регистрации уровня Et-CO₂ и изменений МРТ-показателя требует более сложных аналитических подходов, включающих использование общей регрессионной модели, частотного и кросс-корреляционного анализа [29]. Один из таких подходов описан в работе P. Liu и соавт. [44] и в упрощенном виде выглядит следующим образом.

На первом этапе проводят анализ так называемого времени прибытия болюса (ВПБ). Для этого в каждом вокселе определяют временной сдвиг между кривыми Et-CO₂ и МРТ-сигнала таким образом, чтобы обеспечить максимальный коэффициент кросс-корреляции. Этот этап необходим в связи с тем, что головной мозг даже у здоровых обследуемых обладает неоднородностью в отношении времени артериального транзита и скорости развития вазодилаторной реакции, а следовательно, и времени задержки между стимулом и ответом [53]. У больных со стеноокклюзирующими поражениями брахиоцефальных артерий эта неоднородность выражена в гораздо большей степени, что может приводить к недооценке иЦВР

в областях с увеличенным временем транзита артериальной крови. Определяемый временной сдвиг между стимулом и ответом может использоваться для построения карт ВПБ. ВПБ-карты обладают самостоятельной диагностической ценностью и являются в некотором смысле аналогом карт времени достижения пика (time to peak, ТТР), получаемых в ходе контрастных перфузионных исследований [44].

Второй этап заключается в построении уравнения линейной регрессии для каждого вокселя с учетом определенного ранее ВПБ, где в качестве регрессора выступает Et-CO₂, а в качестве зависимой переменной – величина МРТ-сигнала. Определив коэффициенты регрессии, рассчитывается иЦВР.

Альтернативные варианты вазоактивных стимулов, используемые в МРТ-картировании иЦВР. Ингаляция гиперкапнической газовой смеси в настоящий момент является наиболее предпочтительным видом вазоактивного раздражителя, что в первую очередь объясняется возможностью стандартизации силы стимула при использовании систем с фиксированной концентрацией CO₂ в выдыхаемом воздухе, а также с безопасностью и хорошей переносимостью процедуры. Тем не менее необходимость наличия специального оборудования для доставки углекислого газа ограничивает использование этого подхода в клинической практике. В связи с этим предпринимаются попытки МРТ-картирования иЦВР без использования ингаляции гиперкапнической газовой смеси [54].

Задержка дыхания. Испытуемому предлагается задержать дыхание на 15–30 с, что вызывает повышение концентрации CO₂ в крови, достаточное для возникновения вазодилатирующего эффекта. После этого следует период нормального дыхания, в течение которого Et-CO₂ возвращается к исходным значениям. За одно исследование проводят несколько подобных циклов. Особенность использования такой дыхательной пробы в качестве стимула заключается в невозможности измерения Et-CO₂ в период задержки дыхания, поэтому непрерывную кривую Et-CO₂ получают после применения специальных алгоритмов моделирования [29]. Задержка дыхания является значительно более простой альтернативой ингаляции гиперкапнической газовой смеси, однако она требует кооперации с пациентом, проведения предварительных “тренировочных” сессий, а также отсутствия выраженной дыхательной недостаточности [55]. К недостаткам такого подхода в сравнении с традиционным ингаляционным также относят более низкую воспроизводимость и



большую вероятность возникновения двигательных артефактов. Кроме того, если оцениваемым МРТ-показателем является BOLD-сигнал, то активация зон головного мозга, ответственных за выполнение дыхательной пробы, может являться источником систематической ошибки. Что касается возможного влияния возникающей в результате дыхательной пробы гипоксии на величину BOLD-сигнала, в некоторых исследованиях было показано, что эффекты, оказываемые гипоксией, минимальны и не приводят к значительному искажению результатов [56, 57].

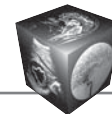
Возвратное дыхание. Повторное вдыхание выдыхаемого воздуха ведет к постепенному увеличению концентрации CO_2 в артериальной крови и развитию вазодилатирующего эффекта. Реализация этого подхода требует наличия лишь простого замкнутого контура с резервуаром для выдыхаемого воздуха. Тем не менее существует ряд особенностей, которые ограничивают применение возвратного дыхания в качестве стимула в исследованиях, посвященных ЦВР. К таким особенностям относят, в частности, невозможность прогнозирования или контроля скорости возрастания $p_a\text{CO}_2$ ввиду значимых различий в характере вентилиции среди испытуемых. Более того, несмотря на существующее представление о том, что возвратное дыхание приводит к быстрому выходу $p_a\text{CO}_2$ на плато, в действительности плато недостижимо, пока исследуемый дышит и выделяет CO_2 . Стабилизация парциального давления CO_2 в выдыхаемом воздухе возможна только в случае неполного возвратного дыхания (например, при наличии отверстий в резервуаре). При этом выход кривой Et- CO_2 на плато требует немало времени и на практике достигается редко, а равновесные значения Et- CO_2 предсказать невозможно [23]. Помимо всего прочего возвратное дыхание ведет к снижению фракции кислорода во вдыхаемом воздухе. Это может оказывать влияние на результаты картирования иЦВР в силу наличия независимых эффектов гипоксии на оцениваемые параметры, прежде всего, на BOLD-сигнал. Тем не менее в настоящее время предпринимаются успешные попытки использования модифицированных систем для возвратного дыхания, позволяющих поддерживать состояние изооксии, для оценки ЦВР [26].

Гипервентиляция. В отличие от обсужденных раннее вазоактивных стимулов, гипервентиляция приводит к развитию гипероксии и, соответственно, вазоконстрикции. Достигается гипервентиляция посредством нескольких глубоких вдохов. Гипервентиляция может использоваться как самостоятельный стимул [56] или в сочетании с вазодилататорным с целью расширения оценивае-

мого диапазона иЦВР [58]. Одним из возможных ограничений этого подхода является тот факт, что в ходе гипервентиляционной пробы значения Et- CO_2 могут снизиться до уровня, где характер связи между перфузионными характеристиками и Et- CO_2 теряет свою линейность. Помимо этого, закономерно возникающее состояние гипероксии может исказить результаты оценки ЦВР в силу, как уже говорилось, независимого влияния кислорода на оцениваемые МРТ-параметры. Как и в случае с задержкой дыхания, значительно возрастают риски проявления двигательных артефактов, а также – если речь идет о BOLD-визуализации – артефактов, которые связаны с активацией церебральных структур, ответственных за выполнение задания [29]. В связи с рисками возникновения побочных реакций выполнение гипервентиляционной пробы не рекомендуется исследуемым, страдающим эписиндромом, а также лицам с аневризмами сосудов головного мозга [52].

Естественный дыхательный цикл. Высокая чувствительность BOLD-сигнала даже к небольшим колебаниям парциального давления CO_2 позволяет проводить картирование иЦВР в ходе нормального дыхательного цикла. Было показано, что спонтанные флуктуации BOLD-сигнала в диапазоне 0,02–0,04 Гц при проведении функциональной МРТ покоя в наибольшей степени отражают естественные колебания $p_a\text{CO}_2$ в артериальной крови [59]. Карты иЦВР, рассчитанные подобным образом, демонстрируют высокую пространственную корреляцию с результатами МРТ-картирования иЦВР, проведенного с ингаляцией гиперкапнической газовой смеси. Несмотря на немногочисленность работ, посвященных этой методике, и необходимость дальнейших исследований ее возможностей и ограничений, МРТ-картирование иЦВР в естественном дыхательном цикле представляется перспективным способом оценки ЦВР, поскольку не требует наличия специализированного оборудования, кооперации с пациентом, и может быть реализован даже у больных, находящихся в тяжелом состоянии [60].

Ацетазоламид. В некоторых работах в качестве вазодилататорного стимула используют ацетазоламид [61–63]. Являясь ингибитором карбоангидразы, ацетазоламид вызывает развитие метаболического ацидоза и, как следствие, расслабление гладкомышечных клеток церебральных сосудов. Исследование проводят до и спустя 10 мин после внутривенного введения препарата. Несмотря на высокий профиль безопасности, ацетазоламид в дозах, используемых для картирования ЦВР, может вызывать плохо контролируемые побочные эффекты. Кроме того, индивидуальные особен-



ности метаболизма ацетазоламида затрудняют возможность достижения стандартизированной величины стимула для всех испытуемых [23].

Интерпретация результатов картирования цереброваскулярной реактивности и их клиническая значимость

На картах иЦВР каждому пикселю соответствует значение иЦВР, измеренное в процентах изменения МРТ-параметра на мм рт.ст. Это значение может быть положительным (нормальным), близким к нулю (сниженным) или отрицательным (парадоксальным), в соответствии с чем каждому пикселю присваивается определенный цвет из цветовой шкалы, как правило, сине-красной.

В условиях нормального функционирования механизмов ауторегуляции мозгового кровотока воздействие вазодилататорного стимула вызывает прирост измеряемого показателя перфузии, что выражается положительными значениями иЦВР. Истощение ауторегуляторных механизмов, связанное с хроническими гемодинамическими нарушениями, характеризуется максимально возможным расширением сосудистого русла. Воздействие вазодилататорного стимула в таком случае не вызывает существенных изменений показателей перфузии, что проявляется сниженными, близкими к нулю, значениями иЦВР [7]. Парадоксальному паттерну соответствует снижение показателей церебральной перфузии в ответ на вазодилататорный стимул, обусловленное синдромом обкрадывания. Суть синдрома обкрадывания заключается в перераспределении кровотока в пользу областей с меньшим сосудистым сопротивлением: от сосудов, утративших способность дополнительно расширяться, к сосудам, сохранившим эту способность [64]. Сниженные значения иЦВР указывают на выраженные нарушения церебральной гемодинамики, в то время как отрицательные значения иЦВР – на критические [7].

По данным ряда исследований, изменения иЦВР, регистрируемые при помощи ТКДС, ОФЭКТ и ПЭТ [65], являются независимым предиктором ишемических событий у пациентов со стенозирующими поражениями брахиоцефальных артерий. Аналогичные результаты были получены при оценке ЦВР методом МРТ-картирования с гиперкапнической пробой [66, 67]. Помимо стратификации рисков, иЦВР может использоваться в качестве критерия отбора пациентов на проведение хирургической реваскуляризации. В проведенных проспективных исследованиях, посвященных этому вопросу, в качестве метода оценки

ЦВР выступала ОФЭКТ [20]. В то же время D.M. Mandell и соавт. на небольшой выборке показали потенциальную значимость данных МРТ-картирования ЦВР для отбора пациентов на хирургическую реваскуляризацию [68]. Аналогичные выводы были сделаны и в других работах, посвященных изучению особенностей гемодинамики при стенозирующих поражениях церебральных артерий методом МРТ-картирования ЦВР [69, 70]. Относительная доступность, неинвазивность и отсутствие лучевой нагрузки являются безусловными преимуществами МРТ перед ОФЭКТ.

О. Sobczyk и соавт. проводили МРТ-картирование ЦВР при различных степенях стенозирующего поражения сонных артерий. Они обнаружили, что степень стеноза не позволяет предсказать отклонения иЦВР. Авторы предполагают, что измеренные значения иЦВР отражают степень развития коллатерального кровотока, в то время как последняя является одним из факторов, влияющих на успех реваскуляризирующего вмешательства [71]. Схожие наблюдения содержатся и в работах J.A. Fisher и соавт. [12].

Однако прежде чем будет определено место МРТ-картирования в клинической практике, необходимы дальнейшие исследования с целью подтверждения возможности и целесообразности использования этого метода для определения тактики ведения пациентов, страдающих стенозирующими поражениями брахиоцефальных артерий.

Воспроизводимость результатов МРТ-картирования иЦВР

Одной из основных проблем МРТ-картирования иЦВР в настоящий момент является отсутствие стандартизированной методологии проведения исследования. Разнообразие доступных для измерения МРТ-параметров, используемых вазоактивных стимулов и вариантов постпроцессинга данных является причиной значительной вариабельности результатов МРТ-картирования иЦВР как среди здоровых добровольцев, так и в группе пациентов, страдающих цереброваскулярными заболеваниями. С этим связана невозможность сопоставления значений иЦВР, полученных в различных исследованиях, что, в свою очередь, ограничивает возможности для систематического обзора возможностей МРТ-картирования иЦВР [72, 73].

В то же время было показано, что при условии использования одинаковых стимулов и параметров сканирования результаты МРТ-картирования



ЦВР, полученные на разных аппаратах, могут быть сопоставимы [74]. В связи с этим перспективным направлением дальнейшей работы представляется разработка единой методики проведения МРТ-картирования иЦВР, а также атласа референсных значений иЦВР. В дальнейшем эти референсные значения могут использоваться для расчета Z-статистики, что позволит сравнивать между собой количественно данные, полученные в различных учреждениях и у различных субъектов [75].

Заключение

МРТ-картирование иЦВР представляет собой новую перспективную методику оценки состояния механизмов ауторегуляции мозгового кровообращения. Процедура МРТ-картирования иЦВР неинвазивна, безопасна, в целом хорошо переносится и не связана с воздействием ионизирующего излучения, что выгодно отличает ее от таких традиционных способов оценки ЦВР, как ОФЭКТ и ПЭТ. Однако разнообразие методологических подходов к МРТ-картированию иЦВР обуславливает значительную вариабельность получаемых значений иЦВР. Дальнейшее изучение возможностей и ограничений различных методик МРТ в оценке ЦВР позволит разработать оптимальный унифицированный протокол исследования. Стандартизация процедуры должна являться первым шагом на пути внедрения МРТ-картирования иЦВР в клиническую практику.

Участие авторов

Никогосова А.К. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста.

Лелюк С.Э. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Лелюк В.Г. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

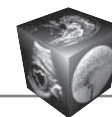
Nikogosova A.K. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, writing text.

Lelyuk S.E. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Lelyuk V.G. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

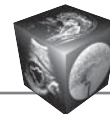
1. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Церебральное кровообращение и артериальное давление. М.: Реальное время, 2004. 304 с.
Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Cerebral circulation and blood pressure. Moscow: Real time, 2004. 304 p. (In Russian)
2. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Реальное время, 2007. 416 с.
Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Ultrasound angiology. 3rd ed. Moscow: Real Time, 2007. 416 p. (In Russian)
3. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Цереброваскулярный резерв при атеросклеротическом поражении брахиоцефальных артерий. Этюды современной ультразвуковой диагностики. Киев: Укрмед, 2001. 180 с.
Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Cerebrovascular reserve in atherosclerotic diseases of the brachiocephalic arteries. Etudes of modern ultrasound diagnostics. Kiev: Ukrmed, 2001. 180 p. (In Russian)
4. Silvestrini M., Vernieri F., Pasqualetti P. et al. Impaired cerebral vasoreactivity and risk of stroke in patients with asymptomatic carotid artery stenosis. *JAMA*. 2000; 283 (16): 2122–2127.
<https://doi.org/10.1001/jama.283.16.2122>
5. Ogasawara K., Ogawa A., Yoshimoto T. Cerebrovascular reactivity to acetazolamide and outcome in patients with symptomatic internal carotid or middle cerebral artery occlusion: a xenon-133 single-photon emission computed tomography study. *Stroke*. 2002; 33 (7): 1857–1862.
<https://doi.org/10.1161/01.str.0000019511.81583.a8>
6. Yonas H., Smith H.A., Durham S.R. et al. Increased stroke risk predicted by compromised cerebral blood flow reactivity. *J. Neurosurg.* 1993; 79 (4): 483–489.
<https://doi.org/10.3171/jns.1993.79.4.0483>
7. Abdulrauf S.I. Cerebral Revascularization: Techniques in Extracranial-to-Intracranial Bypass Surgery. Elsevier Health Sciences, 2010. 1194 p.
8. Vagal A.S., Leach J.L., Fernandez-Ulloa M., Zuccarello M. The Acetazolamide Challenge: Techniques and Applications in the Evaluation of Chronic Cerebral Ischemia. *Am. J. Neuroradiol.* 2009; 30 (5): 876–884.
<https://doi.org/10.3174/ajnr.A1538>
9. Paulson O.B., Strandgaard S., Edvinsson L. Cerebral autoregulation. *Cerebrovasc. Brain Metab. Rev.* 1990; 2 (2): 161–192.
10. Рипп Т.М., Мордовин В.Ф., Рипп Е.Г., Реброва Н.В., Семке Г.В., Пекарский С.Е., Фальковская А.Ю., Ситкова Е.С., Личикаки В.А., Зюбанова И.В. Комплексная оценка параметров цереброваскулярной реактивности. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2016; 31 (1): 12–17.
<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2016-31-1-12-17>
Ripp T.M., Mordovin V.F., Ripp E.G., Rebrova N.V., Semke G.V., Pekarsky S.E., Falkovskaya A.Yu., Sitkova E.S., Lichikaki V.A., Zyubanova I.V. Comprehensive evaluation of cerebral vascular reserve parameters. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine* 2016; 31 (1): 12–17. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2016-31-1-12-17> (In Russian)
11. McDonnell M.N., Berry N.M., Cutting M.A. et al. Transcranial Doppler ultrasound to assess cerebrovascular reactivity: reliability, reproducibility and effect of posture. *Peer J*. 2013; 1: e65. <https://doi.org/10.7717/peerj.65>



12. Fisher J.A., Mikulis D.J. Cerebrovascular Reactivity: Purpose, Optimizing Methods, and Limitations to Interpretation – A Personal 20-Year Odyssey of (Re) searching. *Frontiers Physiol.* 2021; 12: 629651. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.629651>
13. Burley C.V., Francis S.T., Thomas K.N. et al. Contrasting Measures of Cerebrovascular Reactivity Between MRI and Doppler: A Cross-Sectional Study of Younger and Older Healthy Individuals. *Frontiers Physiol.* 2021; 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.656746>
14. Powers W.J., Press G.A., Grubb R.L. et al. The effect of hemodynamically significant carotid artery disease on the hemodynamic status of the cerebral circulation. *Ann. Intern. Med.* 1987; 106 (1): 27–34. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-106-1-27>
15. Powers W.J. Cerebral hemodynamics in ischemic cerebrovascular disease. *Ann. Neurol.* 1991; 29(3): 231–240. <https://doi.org/10.1002/ana.410290302>
16. Dirnagl U., Pulsinelli W. Autoregulation of cerebral blood flow in experimental focal brain ischemia. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 1990; 10 (3): 327–336. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1990.61>
17. Zaharchuk G., Mandeville J.B., Bogdanov A.A. et al. Cerebrovascular dynamics of autoregulation and hypoperfusion. An MRI study of CBF and changes in total and microvascular cerebral blood volume during hemorrhagic hypotension. *Stroke.* 1999; 30 (10): 2197–2204. <https://doi.org/10.1161/01.str.30.10.2197>
18. Schumann P., Touzani O., Young A.R. et al. Evaluation of the ratio of cerebral blood flow to cerebral blood volume as an index of local cerebral perfusion pressure. *Brain: J. Neurol.* 1998; 121 (7): 1369–1379. <https://doi.org/10.1093/brain/121.7.1369>
19. Derdeyn C.P., Videen T.O., Yundt K.D. et al. Variability of cerebral blood volume and oxygen extraction: stages of cerebral haemodynamic impairment revisited. *Brain.* 2002; 125 (3): 595–607. <https://doi.org/10.1093/brain/awf047>
20. Kataoka H., Miyamoto S., Ogasawara K. et al. Results of Prospective Cohort Study on Symptomatic Cerebrovascular Occlusive Disease Showing Mild Hemodynamic Compromise [Japanese Extracranial-Intracranial Bypass Trial (JET)-2 Study]. *Neurol. Med.-Chir.* 2015; 55 (6): 460–468. <https://doi.org/10.2176/nmc.oa.2014-0424>
21. Buxton R.B. Introduction to Functional Magnetic Resonance Imaging. 2nd ed. Cambridge university press, 2009. 470 p.
22. Asghar M.S., Hansen A.E., Pedersen S. et al. Pharmacological modulation of the BOLD response: a study of acetazolamide and glyceryl trinitrate in humans. *J. Mag. Res. Imaging.* 2011; 34 (4): 921–927. <https://doi.org/10.1002/jmri.22659>
23. Fierstra J., Sobczyk O., Battisti-Charbonney A. et al. Measuring cerebrovascular reactivity: what stimulus to use? *J. Physiol.* 2013; 591 (23): 5809–5821. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.259150>
24. Thie A., Carvajal-Lizano M., Schlichting U. et al. Multimodal tests of cerebrovascular reactivity in migraine: a transcranial Doppler study. *J. Neurol.* 1992; 239 (6): 338–342. <https://doi.org/10.1007/bf00867591>
25. Yoon S., Zuccarello M., Rapoport R.M. pCO₂ and pH regulation of cerebral blood flow. *Front. Physiol.* 2012; 3: 365. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00365>
26. Battisti-Charbonney A., Fisher J., Duffin J. The cerebrovascular response to carbon dioxide in humans. *J. Physiol.* 2011; 589 (12): 3039–3048. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.206052>
27. Mandell D., Han J.S., Poulblanc J. et al. Mapping Cerebrovascular Reactivity Using Blood Oxygen Level-Dependent MRI in Patients With Arterial Steno-occlusive Disease Comparison With Arterial Spin Labeling MRI. *Stroke; J. Cerebral. Cir.* 2008; 39: 2021–2028. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.107.506709>
28. Ferré J.C., Bannier E., Raoult H. et al. Arterial spin labeling (ASL) perfusion: Techniques and clinical use. *Diagn. and Intervent. Imaging.* 2013; 94 (12): 1211–1223. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2013.06.010>
29. Liu P., De Vis J.B., Lu H. Cerebrovascular reactivity (CVR) MRI with CO₂ challenge: A technical review. *NeuroImage.* 2019; 187: 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.047>
30. Choi H.J., Sohn C.H., You S.H. et al. Can Arterial Spin-Labeling with Multiple Postlabeling Delays Predict Cerebrovascular Reserve? *Am. J. Neuroradiol.* 2018; 39 (1): 84–90. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5439>
31. Su P., Mao D., Liu P. et al. Multiparametric estimation of brain hemodynamics with MR fingerprinting ASL. *Mag. Reson. Med.* 2017; 78 (5): 1812–1823. <https://doi.org/10.1002/mrm.26587>
32. Donahue M.J., Faraco C.C., Strother M.K. et al. Bolus arrival time and cerebral blood flow responses to hypercarbia. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2014; 34 (7): 1243–1252. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2014.81>
33. Ferreira H., Ramalho J. Basic Principles of Phase Contrast Magnetic Resonance Angiography (PC MRA) and MRV. In: Vascular Imaging of the Central Nervous System: Physical Principles, Clinical Applications, and Emerging Techniques, 1st ed. Somerset, USA: John Wiley & Sons, 2013: 137–144. <https://doi.org/10.1002/9781118434550.ch8>
34. Taneja K., Liu P., Xu C. et al. Quantitative Cerebrovascular Reactivity in Normal Aging: Comparison Between Phase-Contrast and Arterial Spin Labeling MRI. *Front. Neurol.* 2020; 11: 758. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00758>
35. Leung J., Behpour A., Sokol N. et al. Assessment of intracranial blood flow velocities using a computer controlled vasoactive stimulus: a comparison between phase contrast magnetic resonance angiography and transcranial Doppler ultrasonography. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2013; 38 (3): 733–738. <https://doi.org/10.1002/jmri.23911>
36. Geurts L.J., Bhogal A.A., Siero J.C.W. et al. Vascular reactivity in small cerebral perforating arteries with 7T phase contrast MRI – A proof of concept study. *Neuroimage.* 2018; 172: 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.055>
37. Nighoghossian N., Berthezene Y., Meyer R. et al. Assessment of cerebrovascular reactivity by dynamic susceptibility contrast-enhanced MR imaging. *J. Neurol. Sci.* 1997; 149 (2): 171–176. [https://doi.org/10.1016/S0022-510X\(97\)05393-8](https://doi.org/10.1016/S0022-510X(97)05393-8)
38. Lu H., Liu P., Yezhuvath U. et al. MRI Mapping of Cerebrovascular Reactivity via Gas Inhalation Challenges. *J. Vis. Exp.* 2014; 94: 52306. <https://doi.org/10.3791/52306>
39. Lajoie I., Tancredi F.B., Hoge R.D. Regional Reproducibility of BOLD Calibration Parameter M, OEF and Resting-State CMRO₂ Measurements with QUO2



- MRI. *PLoS One*. 2016; 11 (9): e0163071. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163071>
40. Hare H.V., Germuska M., Kelly M.E., Bulte D.P. Comparison of CO₂ in Air Versus Carbogen for the Measurement of Cerebrovascular Reactivity with Magnetic Resonance Imaging. *J. Cerebral. Blood Flow Metab.* 2013; 33 (11): 1799–1805. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.131>
41. Wise R.G., Pattinson K.T., Bulte D.P. et al. Dynamic Forcing of End-Tidal Carbon Dioxide and Oxygen Applied to Functional Magnetic Resonance Imaging: *J. Cerebral. Blood Flow Metab.* 2007; 27 (8): 1521–1532. <https://doi.org/10.1038/sj.jcbfm.9600465>
42. Nunn J.F., Hill D.W. Respiratory dead space and arterial to end-tidal CO₂ tension difference in anesthetized man. *J. App. Physiol.* 1960; 15 (3): 383–389.
43. McSwain S.D., Hamel D.S., Smith P.B. et al. End-tidal and arterial carbon dioxide measurements correlate across all levels of physiologic dead space. *Respir. Care.* 2010; 55 (3): 288–293
44. Liu P., Welch B.G., Li Y. et al. Multiparametric imaging of brain hemodynamics and function using gas-inhalation MRI. *NeuroImage.* 2017; 146: 715–723. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.09.063>
45. Tancredi F.B., Lajoie I., Hoge R.D. A simple breathing circuit allowing precise control of inspiratory gases for experimental respiratory manipulations. *BMC Res. Notes.* 2014; 7 (1): 235. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-235>
46. Driver I., Blockley N., Fisher J. et al. The change in cerebrovascular reactivity between 3 T and 7 T measured using graded hypercapnia. *NeuroImage.* 2010; 51 (1): 274–279. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.113>
47. Poubanc J., Crawley A.P., Sobczyk O. et al. Measuring Cerebrovascular Reactivity: The Dynamic Response to a Step Hypercapnic Stimulus: *J. Cerebral Blood Flow Metab.* 2015; 35 (11): 1746–1756. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2015.114>
48. Leoni R.F., Oliveira I.A.F., Pontes-Neto O.M. et al. Cerebral blood flow and vasoreactivity in aging: an arterial spin labeling study. *Brazilian J. Med. Biol. Res.* 2017; 50 (4). <https://doi.org/10.1590/1414-431x20175670>
49. Blockley N.P., Harkin J.W., Bulte D.P. Rapid cerebrovascular reactivity mapping: Enabling vascular reactivity information to be routinely acquired. *NeuroImage.* 2017; 159: 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.07.048>
50. Fisher J.A., Sobczyk O., Crawley A. et al. Assessing cerebrovascular reactivity by the pattern of response to progressive hypercapnia. *Human Brain Mapping.* 2017; 38 (7): 3415–3427. <https://doi.org/10.1002/hbm.23598>
51. Spano V.R., Mandell D.M., Poubanc J. et al. CO₂ Blood Oxygen Level–dependent MR Mapping of Cerebrovascular Reserve in a Clinical Population: Safety, Tolerability, and Technical Feasibility. *Radiology.* 2013; 266 (2): 592–598. <https://doi.org/10.1148/radiol.12112795>
52. Moreton F.C., Dani K.A., Goutcher C. et al. Respiratory challenge MRI: Practical aspects. *NeuroImage: Clin.* 2016; 11: 667–677. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.05.003>
53. Thomas B.P., Liu P., Park D.C. et al. Cerebrovascular Reactivity in the Brain White Matter: Magnitude, Temporal Characteristics, and Age Effects: *J. Cerebral. Blood Flow Metab.* 2013. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.194>
54. Pinto J., Bright M.G., Bulte D.P., Figueiredo P. Cerebrovascular Reactivity Mapping Without Gas Challenges: A Methodological Guide. *Front. Physiol.* 2020; 11: 608475. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.608475>
55. Pillai J.J., Mikulis D.J. Cerebrovascular Reactivity Mapping: An Evolving Standard for Clinical Functional Imaging. *Am. J. Neuroradiol.* 2015; 36 (1): 7–13. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3941>
56. Bright M.G., Murphy K. Reliable quantification of BOLD fMRI cerebrovascular reactivity despite poor breath-hold performance. *NeuroImage.* 2013; 83: 559–568. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.07.007>
57. Tancredi F.B., Hoge R.D. Comparison of cerebral vascular reactivity measures obtained using breath-holding and CO₂ inhalation. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2013; 33 (7): 1066–1074. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.48>
58. Halani S., Kwinta J.B., Golestani A.M. et al. Comparing cerebrovascular reactivity measured using BOLD and cerebral blood flow MRI: The effect of basal vascular tension on vasodilatory and vasoconstrictive reactivity. *NeuroImage.* 2015; 110: 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.01.050>
59. Liu P., Li Y., Pinho M. et al. Cerebrovascular reactivity mapping without gas challenges. *NeuroImage.* 2017; 146: 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.11.054>
60. Taneja K., Lu H., Welch B.G. et al. Evaluation of cerebrovascular reserve in patients with cerebrovascular diseases using resting-state MRI: A feasibility study. *Magn. Reson. Imaging.* 2019; 59: 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2019.03.003>
61. Kim H.J., Kim T.W., Ryu S.Y. et al. Acetazolamide-challenged perfusion magnetic resonance imaging for assessment of cerebrovascular reserve capacity in patients with symptomatic middle cerebral artery stenosis: comparison with technetium-99m-hexamethylpropyleneamine oxime single-photon emission computed tomography. *Clin. Imaging.* 2011; 35 (6): 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2011.03.001>
62. Grandin C.B., Bol A., Smith A.M. et al. Absolute CBF and CBV measurements by MRI bolus tracking before and after acetazolamide challenge: repeatability and comparison with PET in humans. *NeuroImage.* 2005; 26 (2): 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.028>
63. Ma J., Mehrkens J.H., Holtmannspoeetter M. et al. Perfusion MRI before and after acetazolamide administration for assessment of cerebrovascular reserve capacity in patients with symptomatic internal carotid artery (ICA) occlusion: comparison with ^{99m}Tc-ECD SPECT. *Neuroradiology.* 2007; 49 (4): 317–326. <https://doi.org/10.1007/s00234-006-0193-x>
64. Fisher J.A., Venkatraghavan L., Mikulis D.J. Magnetic Resonance Imaging–Based Cerebrovascular Reactivity and Hemodynamic Reserve. *Stroke.* 2018; 49 (8): 2011–2018. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.021012>
65. Gupta A., Chazen J.L., Hartman M. et al. Cerebrovascular Reserve and Stroke Risk in Patients with Carotid Stenosis or Occlusion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Stroke; J. Cerebral. Circ.* 2012; 43 (11): 2884–2891. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.112.663716>
66. Goode S.D., Altaf N., Munshi S. et al. Impaired Cerebrovascular Reactivity Predicts Recurrent Symptoms in Patients with Carotid Artery Occlusion: A Hypercapnia BOLD fMRI Study. *Am. J. Neuroradiol.* 2016; 37 (5): 904–909. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4739>



67. Papassin J., Heck O., Condamine E. et al. Impaired cerebrovascular reactivity is associated with recurrent stroke in patients with severe intracranial arterial stenosis: A C02 BOLD fMRI study. *J. Neuroradiol.* 2021; 48 (5): 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.neurad.2020.04.005>
68. Mandell D.M., Han J.S., Poublanc J. et al. Quantitative Measurement of Cerebrovascular Reactivity by Blood Oxygen Level-Dependent MR Imaging in Patients with Intracranial Stenosis: Preoperative Cerebrovascular Reactivity Predicts the Effect of Extracranial-Intracranial Bypass Surgery. *Am. J. Neuroradiol.* 2011; 32 (4): 721–727. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2365>
69. Sebök M., van Niftrik C.H.B., Winkhofer S. et al. Mapping Cerebrovascular Reactivity Impairment in Patients With Symptomatic Unilateral Carotid Artery Disease. *J. Am. Heart Assoc.: Cardiovasc. Cerebrovasc. Dis.* 2021; 10 (12): e020792. <https://doi.org/10.1161/JAHA.121.020792>
70. Kaczmarz S., Göttler J., Petr J. et al. Hemodynamic impairments within individual watershed areas in asymptomatic carotid artery stenosis by multimodal MRI. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2021; 41 (2): 380–396. <https://doi.org/10.1177/0271678X20912364>
71. Sobczyk O., Sam K., Mandell D.M. et al. Cerebrovascular Reactivity Assays Collateral Function in Carotid Stenosis. *Front. Physiol.* 2020; 11: 1031. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01031>
72. Smeeing D.P.J., Hendrikse J., Petersen E.T. et al. Arterial Spin Labeling and Blood Oxygen Level-Dependent MRI Cerebrovascular Reactivity in Cerebrovascular Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cerebrovasc. Dis.* 2016; 42 (3–4): 288–307. <https://doi.org/10.1159/000446081>
73. Sleight E., Stringer M.S., Marshall I. et al. Cerebrovascular Reactivity Measurement Using Magnetic Resonance Imaging: A Systematic Review. *Front. Physiol.* 2021; 12: 643468. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.643468>
74. Sobczyk O., Sayin E.S., Sam K. et al. The Reproducibility of Cerebrovascular Reactivity Across MRI Scanners. *Front. Physiol.* 2021; 12: 668662. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.668662>
75. Sobczyk O., Battisti-Charbonney A., Poublanc J. et al. Assessing cerebrovascular reactivity abnormality by comparison to a reference atlas. *J. Cerebral. Blood Flow Metab.* 2015; 35 (2): 213–220. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2014.184>

Для корреспонденции*: Никогосова Анаит Карэновна – 117342 Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 10. Тел.: +7-926-538-16-80. E-mail: gazanchyan.anait@gmail.com

Никогосова Анаит Карэновна – научный сотрудник, врач-рентгенолог ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Научно-исследовательский центр радиологии и клинической физиологии, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4517-1351>

Лелюк Светлана Эдуардовна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8428-8037>

Лелюк Владимир Геннадьевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель НИЦ радиологии и клинической физиологии ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>

Contact*: Anait K. Nikogosova – 1-10, Ostrivytanova str., Moscow 117513, Russian Federation. Phone: +7-926-538-16-80. E-mail: gazanchyan.anait@gmail.com

Anait K. Nikogosova – researcher, radiologist of Federal State Budgetary Institution “Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies” of the Federal Medical Biological Agency (FCBRN FMBA), Scientific and research center of radiology and clinical physiology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4517-1351>

Svetlana E. Lelyuk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8428-8037>

Vladimir G. Lelyuk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Scientific and research center of radiology and clinical physiology, Federal center for brain and neurotechnologies of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1191>

Возможности МРТ в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и рака

© Серебрякова С.В.^{1, 2*}, Шумакова Т.А.^{2, 5}, Юхно Е.А.³,
Сафронова О.Б.^{4, 6}, Серебряков А.Л.³

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

³ ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044 Санкт-Петербург, улица Академика Лебедева, 6, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; 191015 Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, Российская Федерация

⁵ ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе»; 192242 Санкт-Петербург, Будапештская ул., д.3, лит. А, Российская Федерация

⁶ СПб ГБУЗ Санкт-Петербургский городской клинический онкологический диспансер; 197022 Санкт-Петербург, 2-я Березовая аллея, 3/5, Российская Федерация

Нелактационный мастит – это воспалительный процесс в ткани молочных желез (МЖ), который не связан с лактацией. Выявление злокачественного процесса на фоне воспаления нередко вызывает большие сложности, потому что имеет схожие клинические проявления. Врачебная тактика зависит от полученных при помощи лучевых методов диагностики признаков того или иного процесса: есть или нет узловое образование или инфильтрат, кистозные полости, дилатация протоков, как изменены подмышечные лимфатические узлы. Диагностические ошибки при воспалительных заболеваниях МЖ достаточно распространены, по данным литературы, ошибки в интерпретации клинических, маммографических, ультразвуковых признаков рака на фоне воспаления составляют до 53,1% случаев. Воспаление, так же как и рак, в подавляющем большинстве случаев сопровождается визуально определяемым усилением кровотока, обусловленного пролиферацией и неоангиогенезом.

Магнитно-резонансная томография с динамическим контрастным усилением (МРТ с ДКУ) обладает высокой чувствительностью в выявлении участков с повышенной васкуляризацией, позволяет с высокой долей вероятности оценить их характер на фоне любых вариантов изменения структуры ткани МЖ, в том числе отека и воспалительной инфильтрации. МР-признаки, позволяющие провести дифференциальную диагностику, – это сочетание патологического накопления и лимфаденопатии, что кодируются по системе RADS как категория 4, только при отсутствии накопления контрастного вещества можно предположить воспалительный характер изменений. По данным литературы, МРТ с ДКУ является высокочувствительным методом диагностики в выявлении рака на фоне воспалительных изменений. Проведен анализ результатов 85 МР-исследований с клиническими проявлениями нелактационного мастита.

Цель исследования: оценить возможности магнитно-резонансной маммографии в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и рака молочной железы.

Ключевые слова: мастит, диагностика, магнитно-резонансная томография, рак

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

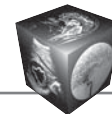
Информированное согласие. Пациентки подписали информированное согласие на публикацию своих данных.

Для цитирования: Серебрякова С.В., Шумакова Т.А., Юхно Е.А., Сафронова О.Б., Серебряков А.Л. Возможности МРТ в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и рака. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 36–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1191>

Поступила в редакцию: 22.04.2022.

Принята к печати: 12.09.2022.

Опубликована online: 28.12.2022.



Possibilities of MRI in the differential diagnosis of non-lactative mastitis and cancer

© Svetlana V. Serebryakova^{1, 2*}, Tatyana A. Shumakova^{2, 5}, Elena A. Yuhno³, Olga B. Safronova^{4, 6}, Artem L. Serebryakov³

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 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

³ S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia; 6, Academician Lebedev str., St. Petersburg 194044, Russian Federation

⁴ I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University; 41, Kirochnaya str., St. Petersburg 191015, Russian Federation

⁵ I.I. Dzhanelidze Saint-Petersburg Scientific-Research Institute of Emergency Medicine; 3-A, Budapeshtskaya str., St. Petersburg 192242, Russian Federation

⁶ St. Petersburg City Clinical Oncology Center; 3/5, 2nd Berezovaya alley, St. Petersburg 197022, Russian Federation

Non-lactational mastitis is an inflammatory process in the breast tissue that is not associated with lactation. The detection of a malignant transformation during inflammation process is often difficult, because it has similar clinical manifestations. Medical approach depends on the characteristics of the processes which are received from the data obtained from radiation diagnostic methods: whether or not there is a nodular formation or infiltrate, cystic cavities, dilatation of the ducts, how the axillary lymph nodes are changed. Diagnostic errors in inflammatory breast diseases are quite common; according to the literature, errors in the interpretation of clinical, mammographic, and ultrasound signs of cancer during inflammation account for up to 53.1% of cases. Inflammation, as well as cancer, in majority of cases is accompanied by a visually detectable increase in blood flow due to proliferation and neoangiogenesis. Magnetic resonance imaging with dynamic contrast enhancement (MRI) is highly sensitive in detecting areas with increased vascularization and makes it possible to assess their nature with a high degree of probability during any changes in the structure of the breast tissue, including edema and inflammatory infiltration.

MR signs that allow to make differential diagnosis are a combination of pathological accumulation and lymphadenopathy, which are coded by the BIRADS system as category 4 and only the absence of contrast agent accumulation may suggest an inflammatory nature of the changes. According to the literature, MRI-DCE is a highly sensitive diagnostic method of identifying cancer during inflammation processes. The results of 85 MR studies with clinical manifestations of non-lactational mastitis were analyzed.

The purpose of study: is to evaluate the possibilities of magnetic resonance mammography in making a differential diagnosis of non-lactational mastitis and breast cancer.

Keywords: mastitis, diagnostics, magnetic resonance imaging, cancer

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

Informed consent. The patient signed informed consent to participate in the study.

For citation: Serebryakova S.V., Shumakova T.A. Yuhno E.A., Safronova O.B., Serebryakov A.L. Possibilities of MRI in the differential diagnosis of non-lactative mastitis and cancer. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 36–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1191>

Received: 22.04.2022.

Accepted for publication: 12.09.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

Нелактионный мастит – это воспалительные изменения в ткани молочной железы (МЖ), не связанные с процессом лактации [1, 2]. Причина воспаления – инфекционный возбудитель, чаще условно патогенный, проявляющийся на фоне ослабления иммунной системы (например, на фоне сахарного диабета, при переохлаждении или после перенесенных заболеваний). Фоном могут

являться хроническое воспаление протоков, дисгормональные изменения или травма [3–5]. В редких случаях клинические проявления воспаления в ткани МЖ могут быть следствием редких форм специфического поражения, например туберкулеза, саркоидоза, гранулематоза Вегенера, или неинфекционным процессом, таким как идиопатический гранулематозный (лобулярный) мастит [6, 7].



Клинически диагноз мастита, казалось бы, не представляет затруднений. Признаки воспаления включают отек, боль, покраснение, повышение температуры, как местной, так и общей с проявлениями интоксикации. Могут появляться выделения из соска: серозные, гнойные или кровянистые, изменения кожи, регионарная лимфаденопатия [8]. По характеру воспаления хирурги подразделяют мастит на серозный, инфильтративный, гнойный (абсцедирующий, инфильтративно-абсцедирующий, флегмонозный, гнойно-некротический) и гангренозный [1, 8, 9]. Для заболевания характерно стремительное течение, которое может привести к образованию не только абсцесса, флегмоны или некроза в МЖ, но и развитию сепсиса [1, 5–7, 10].

Необходимо отметить, что относительно редкие диффузные варианты рака молочной железы (РМЖ), такие как отечно-инфильтративный, рожистоподобный, маститоподобный, панцирный, могут иметь схожую клиническую картину и проявляться в первую очередь признаками воспаления [2, 6, 11]. И при диффузно-инфильтративной, и при вторично-отечно-инфильтративной формах РМЖ отек и инфильтрация ткани железы и кожи обусловлены блоком отводящей лимфосистемы за счет поражения регионарных лимфатических коллекторов [1, 4, 11]. И поэтому двойную значимость проблема воспалительных заболеваний МЖ приобретает на онкологической плоскости, так как нелактационный мастит и РМЖ могут быть весьма похожи между собой [1, 2, 12, 13]. Врачебная тактика зависит от выявляемых с помощью лучевых методов диагностики признаков того или иного процесса: есть или нет узловое образование, кистозные полости или дилатация протоков, как изменены подмышечные лимфатические узлы. Воспаление, так же как и рак, в подавляющем большинстве случаев сопровождается визуально определяемым усилением кровотока, обусловленного пролиферацией и неоангиогенезом [3, 14, 15]. По данным литературы, ошибки в интерпретации клинических, маммографических, ультразвуковых признаков рака на фоне воспаления составляют до 53,1% случаев [6]. Магнитно-резонансная томография с динамическим контрастным усилением (МРТ с ДКУ) обладает высокой чувствительностью в выявлении участков с повышенной васкуляризацией, которые проявляются гетерогенным или кольцевидным узловым накоплением контрастного парамагнитного вещества, или различными вариантами зон контрастирования [3, 14, 16, 17]. Это позволяет предположить, что метод будет достаточно эффективен в диагностике.

Цель исследования

Оценить возможности магнитно-резонансной маммографии в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и РМЖ.

Материал и методы

Проведен ретроспективный анализ данных клиничко-лучевого обследования 2350 женщин, обратившихся на прием в городской клинический онкодиспансер Санкт-Петербурга с признаками воспаления МЖ с 2012 по 2021 г. Все пациентки в зависимости от возраста и клинической ситуации были обследованы с помощью УЗИ и/или рентгеновской маммографии, 157 женщинам была выполнена магнитно-резонансная маммография (МРМ). Для проведения анализа из общего числа обследованных были исключены пациентки, у которых в анамнезе были оперативные вмешательства (как по поводу доброкачественных, так и злокачественных новообразований), лучевая терапия, лактация более 3 лет назад. Таким образом для углубленного анализа были отобраны результаты МРТ 85 женщин, которым была выполнена прицельная биопсии (2/3) или контроль МРТ после лечения (1/3). МРТ проводили с использованием стандартных импульсных последовательностей и ДКУ. Все данные МРТ с ДКУ анализировали по шкале Фишера [3] с расчетом количества баллов и оценкой категории BI-RADS [14, 16]. Также отдельно анализировали изменение регионарных подмышечных лимфатических узлов с учетом классификации Node-RADS (количество, размеры, структура, форма) [9, 16]. Выявляемые при МРТ в МЖ контрастируемые структуры подразделяли на очаги, образования и зоны контрастирования [16]. Увеличенные и/или измененные по структуре лимфатические узлы оценивались визуально, без анализа накопления контрастного вещества (КВ). По результатам МРТ сформированы 3 группы: 1-я – без патологического накопления парамагнитного КВ в ткани желез; 2-я – с наличием узловых или кистозных образований и/или инфильтратов; в 3-ю группу были отнесены наблюдения с наличием различных зон контрастирования.

Средний возраст пациенток составил $51 \pm 11,6$ года.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием стандартных процедур и методов анализа.

Результаты

У всех 85 женщин по данным клиничко-лучевого обследования определялись признаки воспаления МЖ: диффузный отек и гиперемия – у 57 (67,1%), локальный отек – у 24 (28,2%), различные выделе-

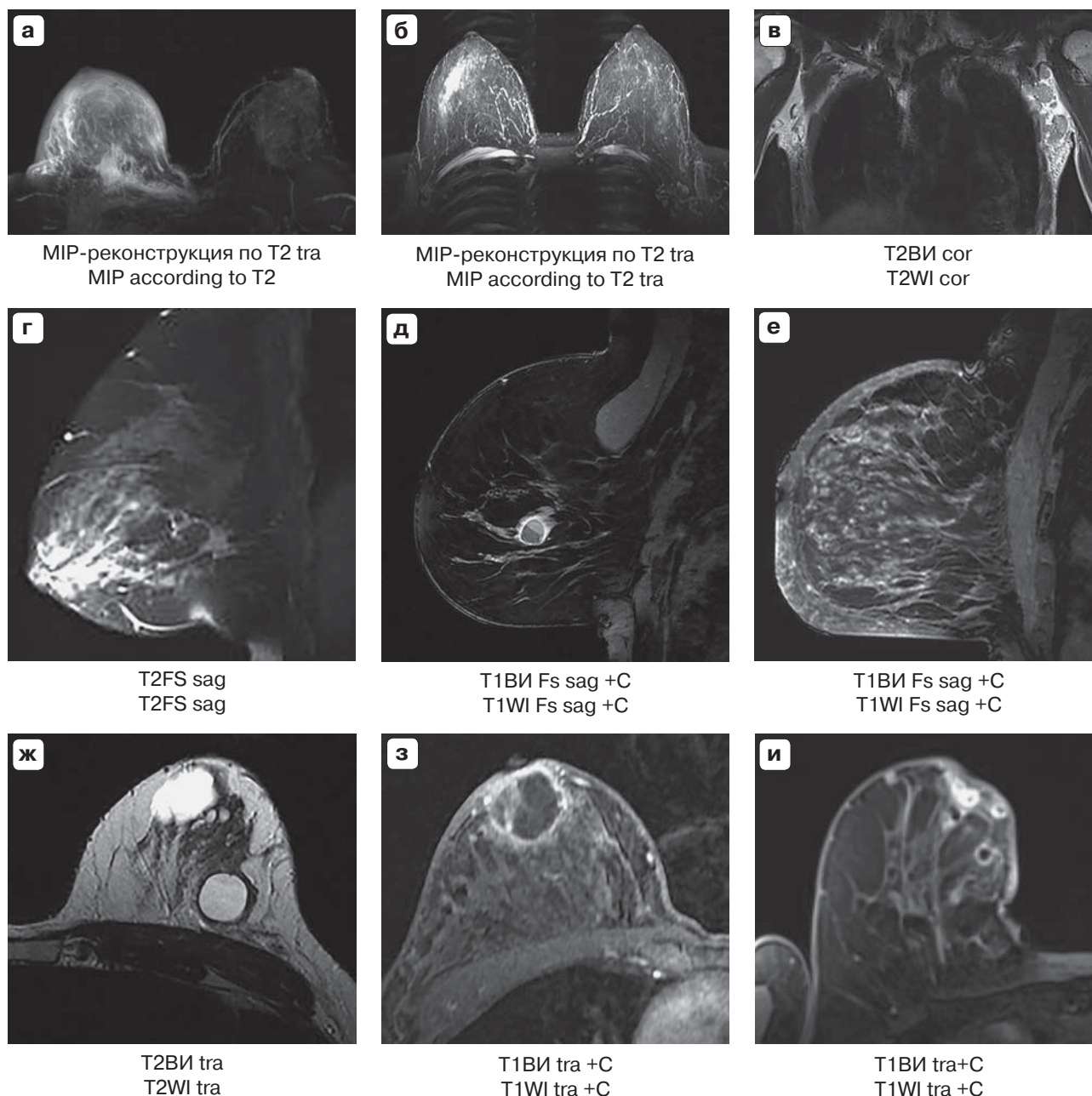
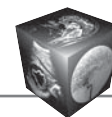


Рис. 1. МРТ. Изменения, выявляемые в ткани молочных желез при воспалительных изменениях.

а – диффузный отек; **б** – локальный отек; **в** – лимфаденопатия подмышечных лимфатических узлов; **г** – дилатация протоков; **д** – сложная белковая киста с наличием уровня седиментации содержимого; **е** – диффузный отек и утолщение кожи, без дилатации протоков; **ж** – киста с жидкостным содержимым и утолщенной капсулой; **з** – абсцесс; **и** – олеогранулемы; +C – постконтрастные изображения.

Fig. 1. MRI. Changes detected in the breast tissues during inflammatory changes.

а – diffuse edema; **б** – local edema; **в** – lymphadenopathy of axillary lymph nodes; **г** – dilatation of the ducts; **д** – complex, proteinaceous cyst with sedimentation; **е** – diffuse edema and thickening of the skin, without dilatation of the ducts; **ж** – cyst with liquid contents and a thickened capsule; **з** – abscess; **и** – oleogranulomas. +C – post-contrast images.

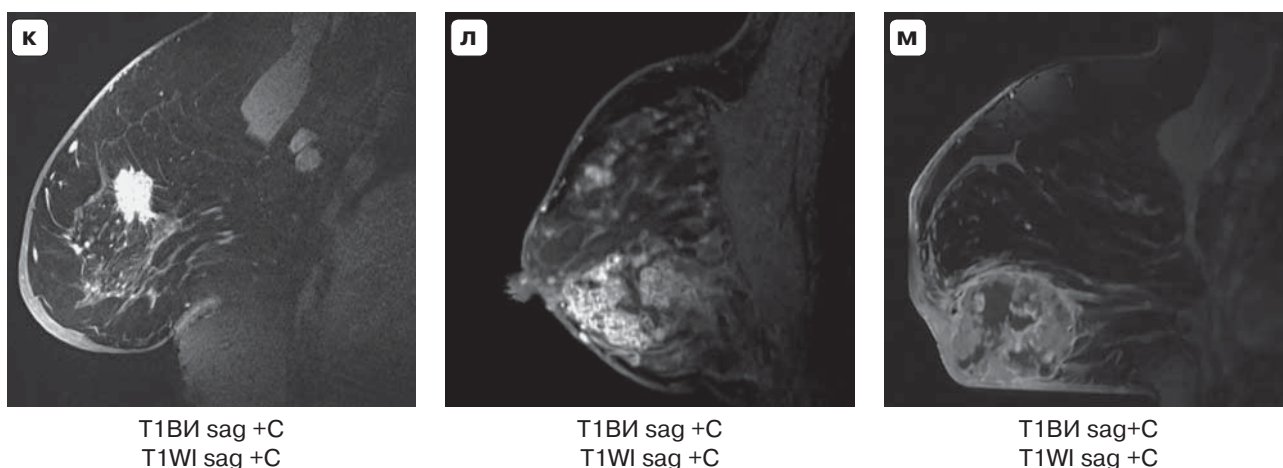


Рис. 1 (окончание). МРТ. Изменения, выявляемые в ткани молочных желез при воспалительных изменениях.

к – узловое образование (Ca); **л** – сегментарная зона контрастирования; **м** – некроз в опухолевом узле. +C – пост-контрастные изображения.

Fig. 1 (end). MRI. Changes detected in the breast tissues during inflammatory changes.

к – nodular formation (Ca); **л** – segmental contrast zone; **м** – necrosis in the tumor node. +C – post-contrast images.

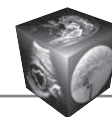
ния из сосков – у 33 (38,8%). У 5 (5,9%) женщин были зафиксированы свищи с гнойным отделяемым. Практически у всех пациенток отмечалась неоднородная структура желез: в 54,1% были выявлены разнокалиберные протоковые кисты от единичных до множественных, в 18,8% имелись кисты с белковым содержимым, а также белковое содержимое в протоках (22,4%) и/или их дилатация (50,6%). У большинства пациенток были увеличены в той или иной степени регионарные лимфатические узлы и почти у половины обследуемых лимфатические узлы были с нарушением внутренней архитектоники. Основные МР-симптомы, выявляемые у женщин с клиническими признаками мастита, представлены на рис. 1.

По результатам МРТ с ДКУ все пациентки были разделены на 3 группы: в 1-ю группу вошло 29 женщин, у которых не было выявлено участков патологического накопления КВ в ткани желез. Ко 2-й группе были отнесены 25 наблюдений с узловыми или кистозными образованиями/инфильтратами. Зоны контрастирования были выявлены в 31 наблюдении (3-я группа). Клинические проявления воспаления распределялись примерно одинаково во всех группах, распределение различных вариантов изменений структуры МЖ по данным МРТ представлено в табл. 1.

Основными МР-проявлениями воспалительных изменений МЖ являлись отек стромы, дилатация протоков, а также лимфаденопатия. Все эти признаки с одинаковой частотой встречались и при злокачественном процессе (ЗНО), и при нелактационном мастите и поэтому не позволяли провести дифференциальную диагностику между ними.

У пациенток 1-й группы при МРТ, кроме общих проявлений воспаления, которые хорошо визуализировались на нативных изображениях, при ДКУ васкуляризированных образований солидной или кистозной структуры не отмечалось, так же как и зон контрастирования. В 59% случаев было выявлено расширение протоковой системы и из них у трети с белковым содержимым в протоках, чаще всего субареоллярно. Все эти изменения по категории BI-RADS классифицированы как 3. У всех пациенток 1-й группы выявляли увеличение лимфатических узлов, из них с нарушенной архитектурой в 38% наблюдениях, что по категории Node-RADS соответствовало категории 4. Трепанобиопсия измененных лимфатических узлов позволила у 3 (10,3%) пациенток этой группы верифицировать метастатический процесс и установить диагноз: оккультный рак. Остальные пациентки получали противовоспалительную терапию с положительным или частично-положительным эффектом, который проявлялся в первую очередь уменьшением размеров лимфатических узлов и степени отека как стромы, так и кожи желез. Пример локального отека ткани железы и единичного увеличенного подмышечного лимфатического узла с неравномерно утолщенным кортикальным слоем при нелактационном мастите представлен на рис. 2.

У обследуемых женщин 2-й группы были выявлены солидные (28%) или кистозные (72%) образования в ткани желез. Сольные образования накапливали КВ неравномерно в трети наблюдениях и также были гетерогенными при нативном обследовании по T2. При оценке критериев накопления по шкале Фишера имели от 4 до 7 баллов,

**Таблица 1.** Выявляемые МР-признаки в различных группах**Table 1.** Detectable MR signs in various groups

МР-признаки MR signs	1-я группа Group 1 29 (100%)	2-я группа Group 2 25 (100%)	3-я группа Group 3 31 (100%)	Итого Total 85 (100%)
Отек / Edema	29 (100%)	23 (92%)	29 (94%)	81 (95,3%)
локальный / local	5 (17%)	6 (24%)	13 (42%)	24 (28,2%)
диффузный / diffuse	24 (83%)	17 (68%)	16 (52%)	57 (67,1%)
Расширение протоков (более 3–4 мм) Expansion of the ducts (more than 3–4 mm)	17 (59%)	11 (44%)	15 (48%)	43 (50,6%)
жидкостное содержимое / liquid content	11 (38%)	6 (24%)	7 (23%)	24 (28,2%)
белковое содержимое / protein content	6 (21%)	5 (20%)	8 (26%)	19 (22,4%)
Узловое солидное образование/инфильтрат Nodular solid mass / infiltrate	Нет	7 (28%)	нет	7 (8,2%)
Кистозное образование Cystic formation:	Нет	20 (80%)	22 (71%)	42 (49,4%)
жидкостное / liquid		11 (44%)	15 (48%)	26 (30,6%)
белковое / protein		9 (36%)	7 (23%)	16 (18,8%)
Зоны контрастирования Contrast zones	Нет	Нет	31 (100%)	31 (36,5%)
Итого категория BI-RADS Results category BI-RADS	3	3–5	4	3–5
Лимфатические узлы неизмененные Lymph nodes are not changed	0	10 (40%)	17 (55%)	27 (31,8%)
Лимфатические узлы увеличенные, из них: Enlarged lymph nodes, which are:	29 (100%)	15 (60%)	14 (45%)	58 (68,2%)
единичные / single	6 (21%)	5 (20%)	7 (23%)	18 (21,2%)
немногочисленные (до 5) / few (up to 5)	7 (24%)	7 (28%)	6 (19%)	20 (23,5%)
множественные / multiple	16 (55%)	3 (12%)	1 (3%)	20 (23,5%)
Нарушение структуры лимфатических узлов Damage of the structure of the lymph nodes	11 (38%)	23 (92%)	8 (25,8%)	42 (49,4%)
Категория Node-RADS Category Node-RADS	3–4	4–5	2–3	2–5

что в 87% соответствовало категории 4–5 по BI-RADS. При морфологическом исследовании в 57% случаев верифицирован рак, в 43% – воспалительный инфильтрат. Значимых различий в оценке морфологических и динамических критериев, степени накопления КВ между ЗНО и воспалительным инфильтратом нами выявлено не было. Только при формировании абсцесса структура воспалительных инфильтратов становилась более гетерогенной с появлением жидкостных включений. У 2/3 женщин 2-й группы на фоне отека выявлялись различные кисты – от единичных до множественных, от мелких 3–5–7 мм до более крупных, достигающих иногда нескольких сантиметров. Кистозные включения имели самое разнообразное внутреннее содержимое – от однородного жидкостного до смешанного или белкового с наличием седиментации и без нее. Кистозные инфильтраты, формирующиеся абсцессы были от-

граничены неравномерно-утолщенной капсулой, которая накапливала КВ. В 3 (17%) наблюдениях гистологически был верифицирован рак в кисте, и в одном наблюдении кистозный компонент сопровождал распад, некроз опухоли, в остальных случаях формирующиеся абсцессы с гнойным или серозно-гнойным содержимым были дренированы. У 60% пациенток 2-й группы выявлялось увеличение подмышечных лимфатических узлов, из них у 92% с нарушенной архитектоникой, которые были отнесены к 4 или 5 категории по Node-RADS. Пример воспалительной вторично-отечной формы рака МЖ представлен на рис. 3.

Одним из важных моментов в дифференциальной диагностике оказалась оценка сосудистой сети, которая определялась вокруг узловых и кистозных образований. При ДКУ у пациенток 2-й группы на постконтрастных изображениях ЗНО накапливали КВ с ранним усилением и наличием

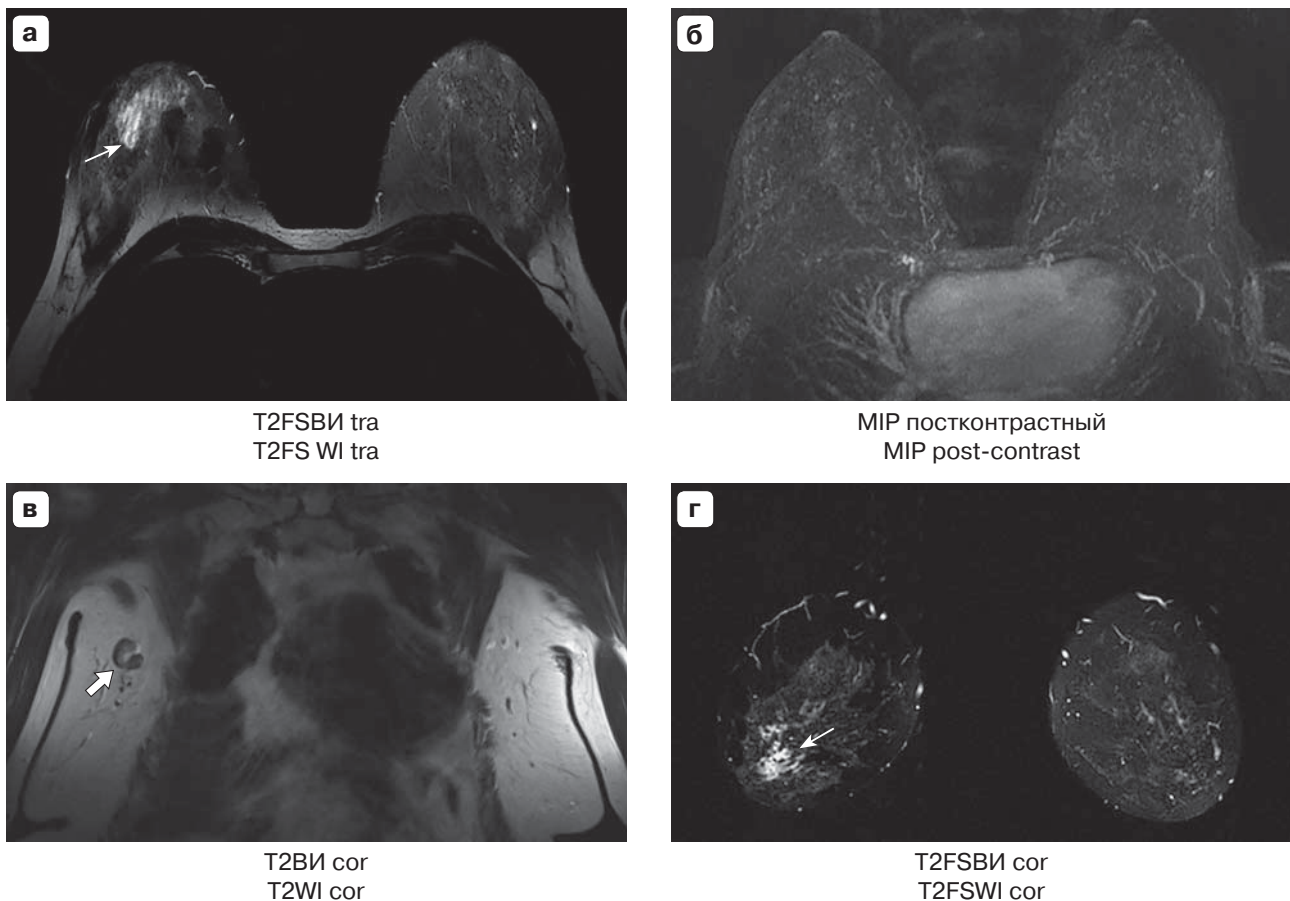


Рис.2. МРТ. Пациентка К., 35 лет. Локальный отек правой молочной железы (стрелка – а, г), при МРТ с ДКУ признаков патологического накопления нет (б). Категория BI-RADS 2. Единичный увеличенный подмышечный лимфатический узел с неравномерно утолщенным кортикальным слоем с деформацией формы (в) – Node-RADS 3 (толстая стрелка).

Fig. 2. MRI, patient K., 35 years old. Local edema in the right breast (arrow – а, г), MRI-DCE shows no signs of pathological accumulation of CA (б). Category BI-RADS 2. A single enlarged axillary lymph node with an unevenly thickened cortical layer and of a deformed shape (в) – Node-RADS 3 (thick arrow).

асимметрии сосудистой сети и питающего опухоль сосуда, что не отмечалось или было умеренно выражено вокруг воспалительных инфильтратов. При построении кривых интенсивность сигнала–время солидные образования характеризовались преимущественно III типом накопления, реже II (28%). В каждом третьем случае мы отмечали гетерогенный характер стромы МЖ как при нативном исследовании, так и после контрастирования. Нелактационный мастит в первую очередь характеризовался наличием множественных разнокалиберных кист, формирующихся от микро- до макроабсцессов. Появление кистозных включений в инфильтратах в 88% свидетельствовало в пользу воспаления. Пример множественных формирующихся абсцессов вокруг воспалительного инфильтрата стромы при нелактационном мастите представлен на рис. 4.

В 3-ю группу были отнесены все наблюдения с клиническими признаками воспаления и проявляющимися на МР-томограммах различными вариантами зон контрастирования – диффузными – 6 (19,4%), регионарными – 4 (12,9%), протоковыми – 3 (9,7%), сегментарными – 7 (22,6%), но чаще выявлялись смешанные очагово-протоковые (у 11, 35,5%). Все зоны накопления характеризовались преимущественно изоинтенсивным МР-сигналом на нативных изображениях, сопровождалась в половине наблюдений дилатацией протоков и у более четверти из них в протоках отмечали белковое (гнойное) содержимое, имеющее повышенный сигнал на T1ВИ, более отчетливо проявляющееся при использовании жироподавления. Все зоны контрастирования всегда относятся по BI-RADS к категории 4 и после прицельной биопсии у 27 (87,1%) был выявлен внутрипрото-

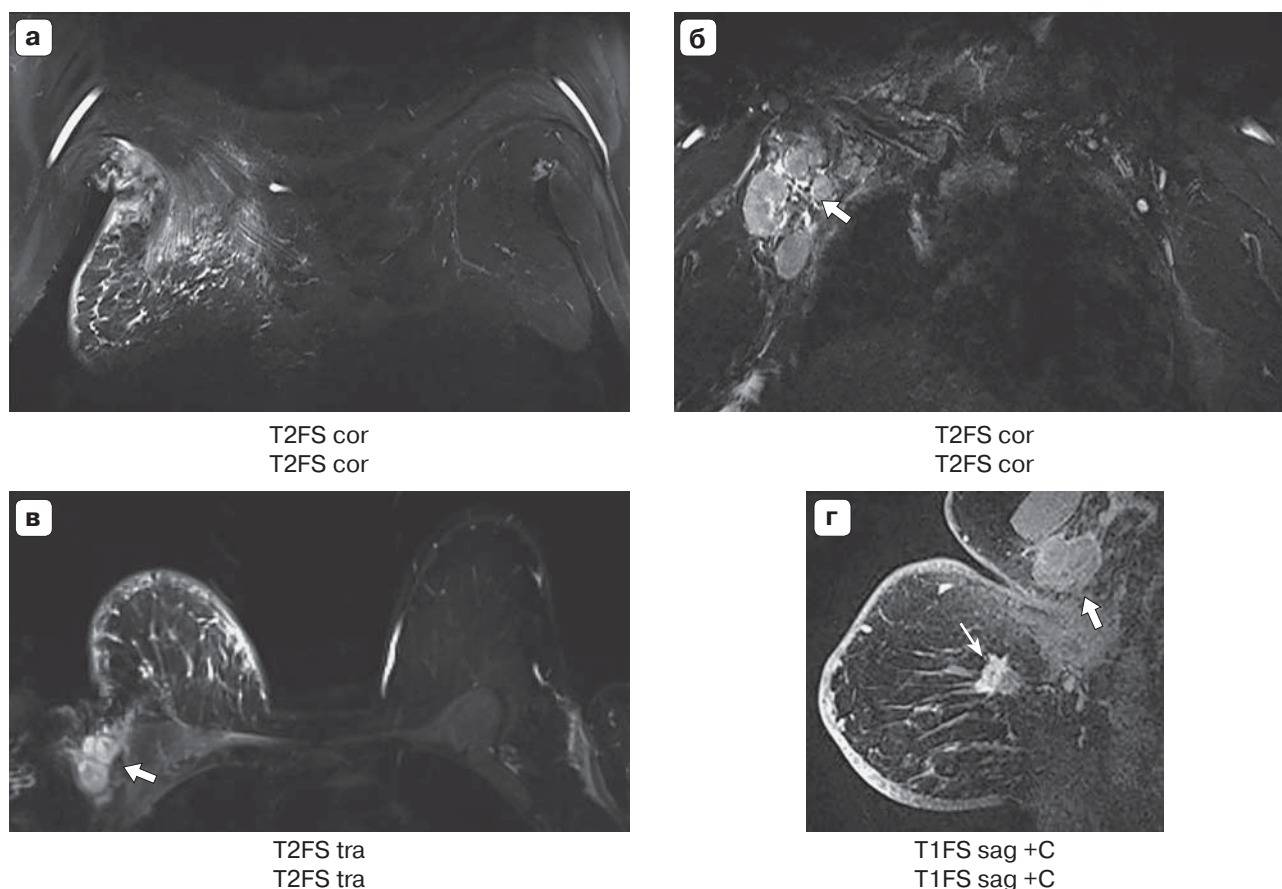
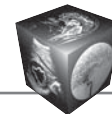


Рис. 3. МРТ. Пациентка З., 65 лет. Вторичный отечно-инфильтративный рак, диффузный отек правой молочной железы, солидно-кистозный, частично васкуляризируемый узел с лучистыми контурами (стрелка), неоднородной структуры – инфильтративный неспецифический рак NST, люминальный тип B – BI-RADS 5; конгломерат лимфатических узлов в правой подмышечной области (толстые стрелки), Node-RADS 5.

Fig. 3. MRI. Patient Z., 65 years old. Secondary edematous infiltrative cancer, diffuse edema of the right breast, solid cystic partially vascularized node with radiant contours (arrow), heterogeneous structure – infiltrative nonspecific NST cancer, luminous type B – BI-RADS 5; conglomerate of lymph nodes in the right axillary area (thick arrows), Node-RADS 5.

ковый рак *in situ*, у 5 из них DCIS сочетался с морфологическими проявлениями воспаления, у 3 отмечено еще и наличие гнойного содержимого в протоках. У 4 (12,9%) женщин атипичных клеток при морфологическом исследовании обнаружено не было, только признаки фиброза и хронического воспаления, а в 1 наблюдении при морфологическом исследовании был поставлен диагноз: гранулематозный мастит.

Выполнена прицельная биопсия выявленных узловых образований или зон контрастирования 57 (67,1%) пациенткам, а также измененных лимфатических узлов и/или дренирование кистозных полостей (абсцессов), 49 (59,8%) пациенткам при отказе от биопсии или без признаков атипии по данным морфологического исследования была назначена консервативная, противовоспалительная

терапия, после окончания которой проведено контрольное МР-исследование через 1–3–6–12 мес. Полный регресс воспалительных изменений выявлен у 34 (40%) женщин, отсутствие или незначительная положительная динамика – у 30 (32,3%), частичный регресс – у 17 (20%) женщин. Преимущественно сохранялись такие клинические проявления, как выделения из соска, иногда менялось качество содержимого от гнойного к серозному и количество отделяемого, отек становился более локальным как в строме, так и кожи, а лимфатические узлы оставались увеличенными, но частично восстанавливалась их внутренняя структура с дифференцировкой на корковое и мозговое вещество.

Частичный регресс воспалительных изменений представлен на рис. 5 и практический полный регресс на рис. 6 и 7.

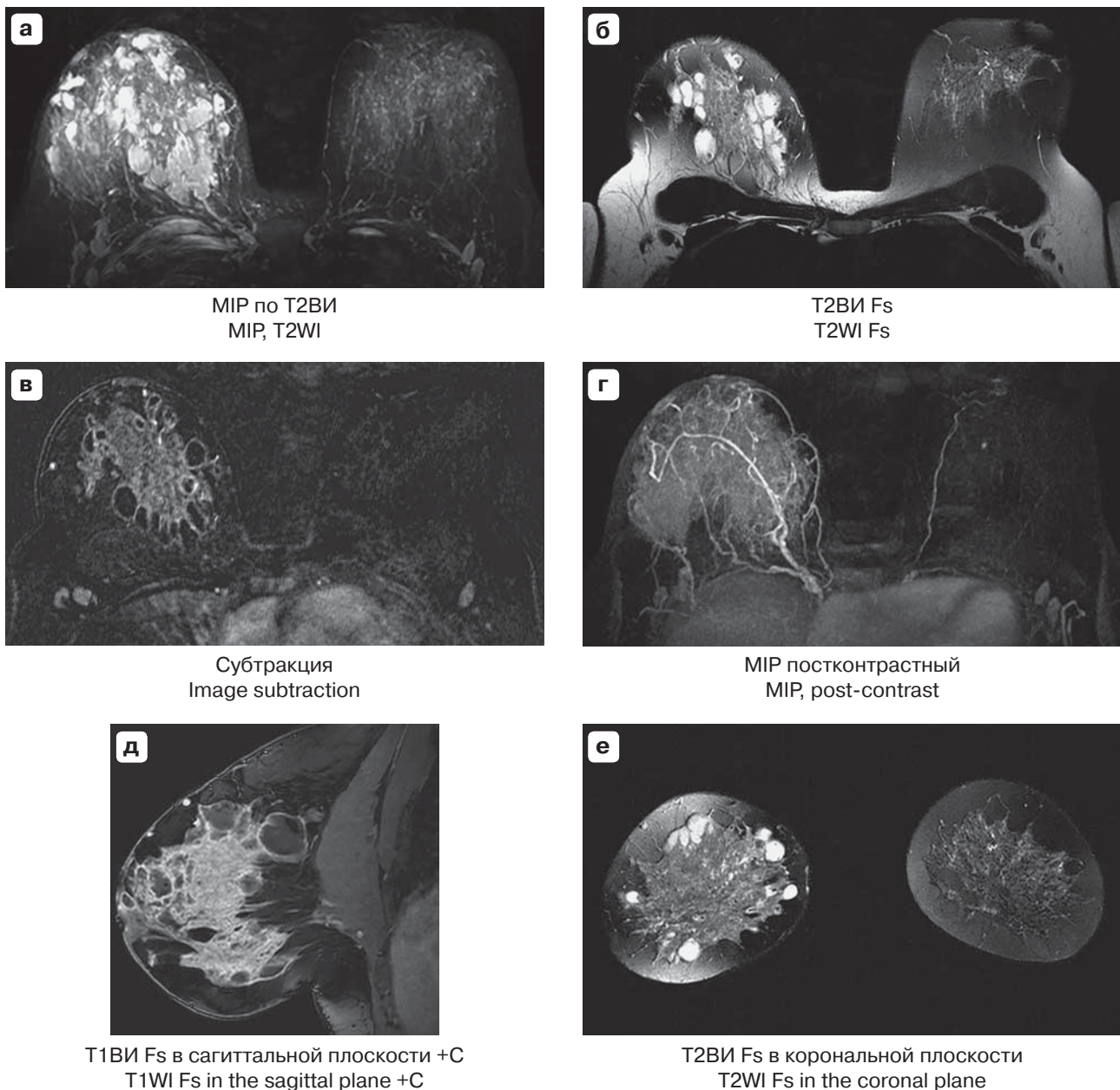
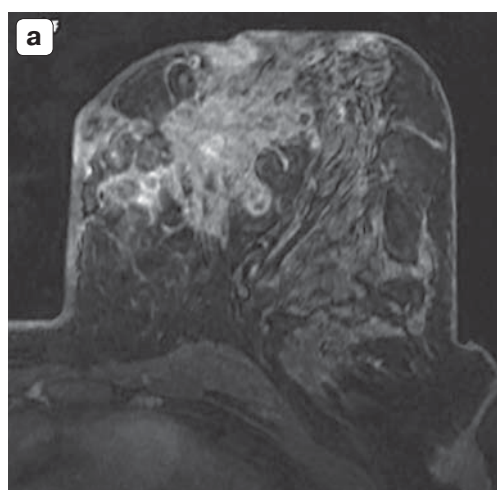
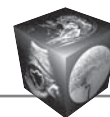
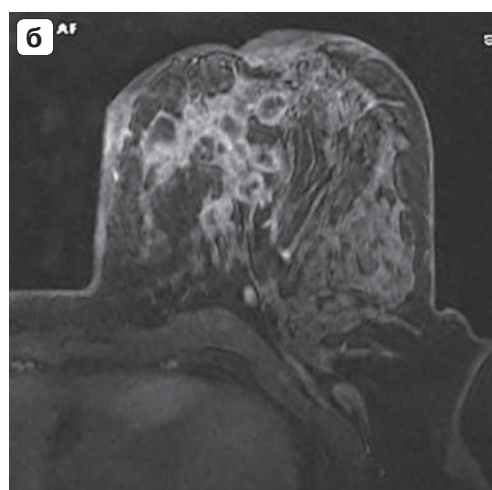


Рис. 4. МРТ. Пациентка 30 лет. Нелактационный мастит (формирующиеся абсцессы) в правой молочной железе. На магнитно-резонансных томограммах молочные железы в аксиальной на T2ВИ (а), T2ВИ Fs (б), субтракция (в), MIP (г), постконтрастной в T1ВИ Fs в сагиттальной плоскости (д) и фронтальной на T2ВИ Fs (е). Имеется диффузный отек ткани правой молочной железы с наличием множественных кистозных участков, располагающихся преимущественно по периферии воспаленной стромы. Кистозные участки имеют неправильно вытянутую форму, стенки их неравномерно утолщены, определяется выраженное накопление КВ железистой тканью и кольцевидное по капсуле кистозных участков. При построении MIP-реконструкций определяется усиление сосудистой сети правой молочной железы. BI-RADS 4, лимфатические узлы обычных размеров, но единичные с нарушением внутренней дифференцировки на корковый и мозговой слои, Node-RADS 3.

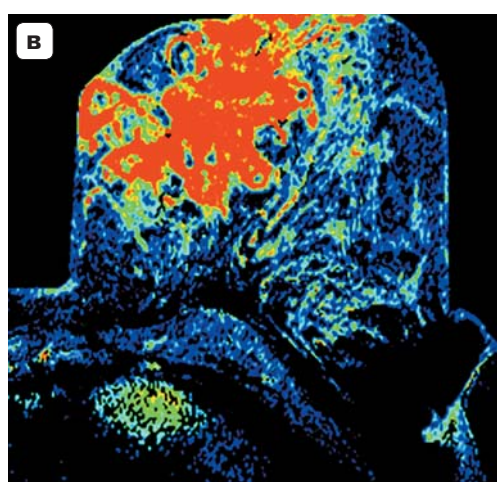
Fig. 4. MRI. Woman, 30 years old. Non-lactational mastitis (forming abscesses) in the right breast. These are what breasts look like according to magnetic resonance imaging in the axial on T2WI (a), T2WI Fs (b), subtraction (v), MIP (r), postcontrast in T1WI Fs in the sagittal plane (d), and frontal on T2WI Fs (e). There is a diffuse edema of the right breast tissue with the presence of multiple cystic areas located mainly along the periphery of the inflamed stroma. Cystic areas have abnormally long shapes, their walls are unevenly thickened, there is a significant accumulation of contrast by the breast tissue and an annular one along the capsule of cystic areas. During the formation of MIP reconstructions, strengthening of the vascular network of the right breast is determined. BI-RADS 4, Node-RADS 3.



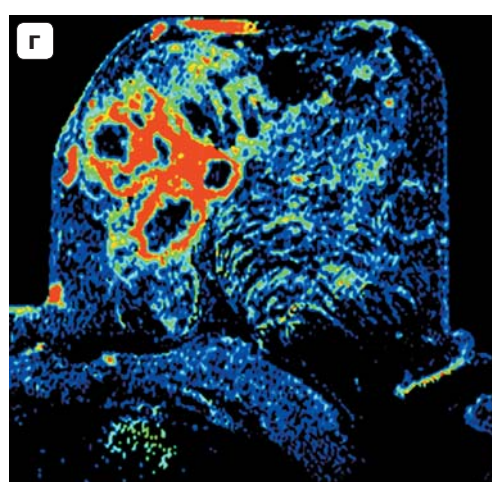
T1FS tra +C
T1FS tra +C



T1FS tra +C
T1FS tra +C



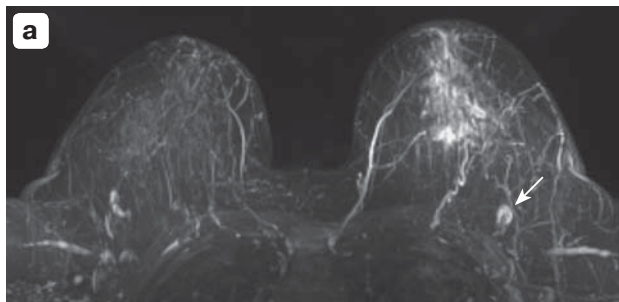
PEI
PEI



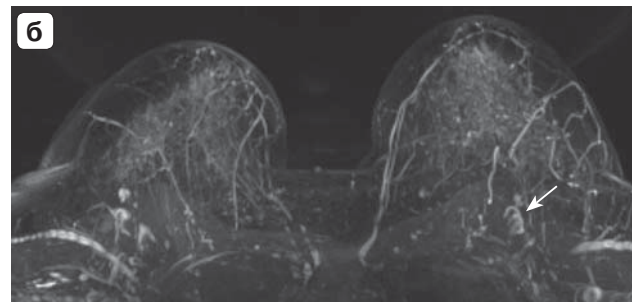
PEI
PEI

Рис. 5. МР-картина воспалительного инфильтрата в левой молочной железе в виде диффузной зоны контрастирования с мелкокистозными участками, формирующиеся абсцессы (**а, в** до лечения). Лимфаденопатия слева. BI-RADS 5, Node-RADS 4. Контроль МРТ в динамике через 3 мес – уменьшения зоны контрастирования и формирование кистозных полостей; **б, г** – после лечения. BI-RADS 4, Node-RADS 4. PEI – перфузионная карта.

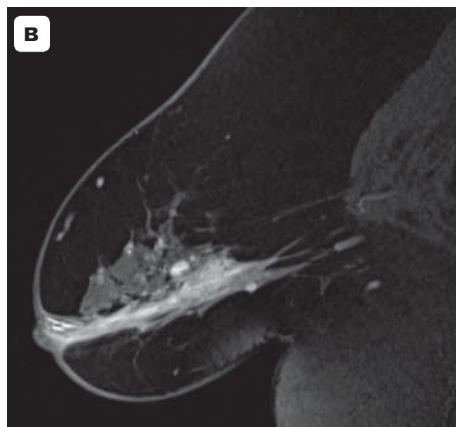
Fig. 5. MR-image of the inflammatory infiltrate in the left breast in the form of a diffuse contrast zone with small cystic areas, forming abscesses. (**a, b** before treatment). Lymphadenopathy on the left. BI-RADS 5, Node-RADS 4. MRI control in 3 months dynamics – reduction of the contrast zone and the formation of cystic cavities. **б, г** – after treatment. BI-RADS 4, Node-RADS 4.



МІР по Т2ВИ. До лечения
MIP, T2WI Fs Before treatment



МІР по Т2ВИ. После лечения
MIP T2WI Fs After treatment



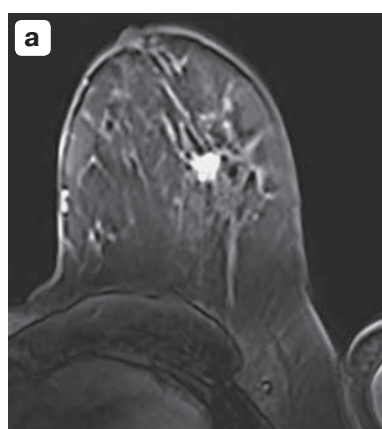
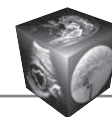
Т1FS sag +С. До лечения
T1FSWI sag +C. Before treatment



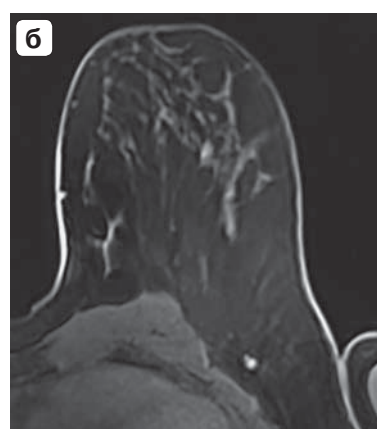
Т1FS sag +С. После лечения
T1FSWI sag +C. After treatment

Рис. 6. МРТ. Пациентка С., 60 лет. Локальный мастит левой молочной железы, втяжение соска, белковое содержание в протоках и белковые кисты в период менопаузы, первичное обследование – отек вдоль протоков на границе квадрантов, протоковая зона контрастирования, гиперплазия подмышечного лимфатического узла слева (**а, в**). МР-контроль после противовоспалительного лечения, регресс отека и отсутствие зоны контрастирования в ткани железы (**б, г**), лимфатический узел сохраняется без существенной динамики (стрелка).

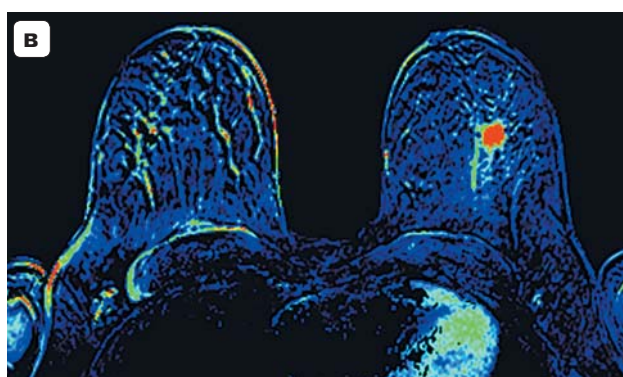
Fig. 6. MRI. Patient S. 60 years old. Local mastitis of the left gland, nipple retraction, protein contents in the ducts and protein cysts during menopause, primary examination of edema along the ducts at the border of the quadrants, ductal contrast zone, hyperplasia of the axillary lymph node on the left (**a, v**). MR control after anti-inflammatory treatment, regression of edema and the absence of a contrast zone in the gland tissue (**б, г**), the lymph node is preserved (arrow).



T1FS tra +C
T1FS tra +C



T1FS trs +C
T1FS trs +C



PEI, до лечения
PEI, Before treatment



PEI, после лечения
PEI, After treatment

Рис. 7. МРТ. Пациентка А., 44 года. Воспалительный инфильтрат (а, в), умеренное увеличение лимфатических узлов без изменения их структуры. BI-RADS 4, Node-RADS 2.

Отказ от биопсии, противовоспалительное лечение (антибиотикотерапия). МР-контроль через 4 мес – б, г. Регресс воспалительного инфильтрата, нет признаков отека кожи, стромы, значительное уменьшение размеров фокуса воспаления и степени его накопления КВ. BI-RADS 2, Node-RADS 2.

Fig. 7. Patient A., 44 years old. MRI. Inflammatory infiltrate (а, в), moderate enlargement of lymph nodes with no changes in their structure. BI-RADS 4, Node-RADS 2.

Refusal of biopsy, anti-inflammatory treatment (antibiotic therapy). MR control after 4 months – б, г. Regression of the inflammatory infiltrate, no signs of skin edema and stroma, significant reduction in the focus of inflammation and in the degree of its accumulation of contrast. BI-RADS 2, Node-RADS 2.



Обсуждение

Клиническая картина мастита достаточно вариabельна, иногда бывает стерта, особенно при самолечении. Данные лучевых методов необходимы для постановки диагноза и исключения рака на фоне воспаления [2, 4, 6, 7]. При использовании рентгеновской маммографии (РМГ) выявляемость узловых образований на фоне отека затруднена, наличие микрокальцинатов крайне подозрительный признак злокачественности [6, 11]. Выявленные при МРТ зоны повышенной васкуляризации в 31% случаев совпадали с наличием при РМГ скопления микрокальцинатов, в 10% случаев соответствовали участкам локальной асимметрии, в 15% – участкам нарушения архитектоники. Специфичность ультразвукового метода (УЗИ) при использовании цветового (ЦДК) и энергетического доплеровского картирования кровотока значительно увеличивается, так как позволяет выявлять интенсивный локальный кровоток, что обычно рассматривается как маркер его злокачественности [5, 9]. Одним из значимых недостатков УЗИ является низкая разрешающая способность на фоне жировой инволюции, а также при наличии отека и при большом объеме желез. В связи с необходимостью поиска более эффективных методов диагностики при подозрении на рак при отечно-инфильтративных изменениях ткани желез логичным стало обращение многих исследователей к такому методу лучевой диагностики, как МРМ [3, 14, 15]. МРТ с ДКУ позволяет значительно более достоверно оценить протяженность и характер поражения протокового русла по сравнению с РМГ, а также при выполнении контрастной маммографии, точнее определить характер и локализацию изменений по сравнению с УЗИ [2, 4, 6, 12]. Данные, полученные при МРТ с ДКУ, в большей степени коррелировали с данными УЗИ с соноэластографией и ЦДК, а еще больше, если проводилась спектральная двухэнергетическая контрастная маммография [6, 9].

Отсутствие накопления КВ при МРТ в ткани желез позволило исключить рак у 30,6% женщин. Наличие кистозных и гетерогенных кистозно-белковых включений, как изолированных, так и вокруг-внутри образований и зон контрастирования в 16% оказалось проявлением мастита. Дифференциально-диагностических критериев между узловой формой рака и воспалительным инфильтратом нами выявлено не было, так же как и при анализе различных зон контрастирования, которые в четверти наблюдений сочетались и при морфологическом исследовании на фоне воспаления выявлялись атипичные клетки.

По данным нашего исследования характерные МР-признаки рака были выявлены на фоне воспаления в 57% в виде солидных образований; наличие же зон контрастирования в 87,1% соответствовало внутритротоковым проявлениям DCIS. Косвенными признаками, подозрительными на РМЖ, в половине наблюдений было усиление сосудистой сети, но большинство динамических признаков, особенно в оценке зон контрастирования, таких как степень васкуляризации, характер накопления, тип графической зависимости, форма, распространенность, имели сходный с доброкачественными воспалительными изменениями характер. Доброкачественные пролиферативные изменения характеризовались диффузным накоплением КВ (83,1%), и выявление на этом фоне зон воспалительных изменений МЖ, чаще у женщин репродуктивного возраста, осложняло дифференциальную диагностику и давало ложноположительные и ложноотрицательные результаты до 9–11%. Нами проверена статистическая гипотеза распределения по типам кривых у пациенток 2-й и 3-й групп с использованием критерия χ^2 . Имеющийся широкий разброс значений чаще характерен для изменений воспалительной природы, которые в зависимости от стадии процесса обладали различной картиной накопления: от умеренного до резко выраженного, как быстрого, так и отсроченного. При этом достоверно значимых отличий ни по одному из параметров выявить не удалось, что и вызвало затруднения в постановке диагноза. Для выявления дополнительных дифференциально-диагностических критериев МРТ с ДКУ необходимо отмечать белковое содержание в протоках, их дилатацию, что чаще сопровождало воспаление, а ЗНО – усиления сосудистой сети вокруг патологических участков, потому что только эти признаки имели высокий статистический показатель ($\chi^2 = 128,4$; $df = 2$; $p < 0,0001$), различие с неизменной тканью высокодостоверно ($\chi^2 = 136,0$; $df = 2$; $p < 0,0001$). При диффузном отеке и при наличии лимфаденопатии значимых различий не выявлено ($p > 0,05$). При построении МР-реконструкций мы провели сравнительную оценку сосудистой сети вокруг выявленных участков патологии МЖ. Признаки изменения сосудистой сети МЖ статистически достоверно выше ($p < 0,001$) при раке, чем при мастите (71% против 45%). Таким образом, сопоставление клинко-инструментальных и МР-данных диффузных фиброзно-пролиферативных изменений, нелактационном мастите и при воспалительных формах рака представлены в табл. 2.

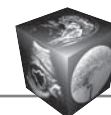


Таблица 2. Клинические проявления и МР-симптомы воспаления при диффузных фиброзно-кистозных пролиферативных изменениях, нелактационном мастите и воспалительных формах рака

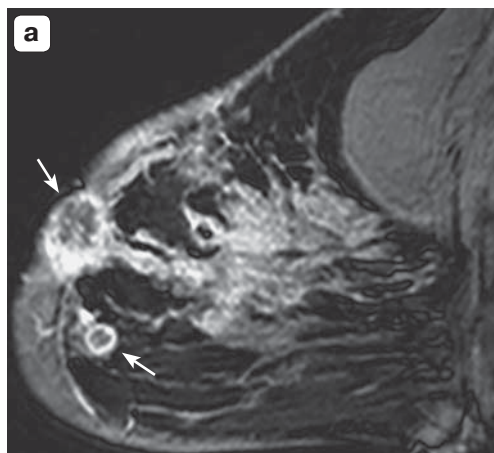
Table 2. Clinical manifestations and MR-symptoms of inflammation in diffuse fibrocystic proliferative changes, non-lactational mastitis and inflammatory forms of cancer)

Клинические проявления и МР-симптомы Symptoms	Фиброаденоматоз Fibroadenomatosis	Мастит Mastitis	Рак Cancer
Боль Pain	Усиливается в предменструальном периоде у 85–90% Increase during the premenstrual period in 85–90%	Не связана с циклом Not associated with menstrual cycle	Не связана с циклом Not associated with menstrual cycle
Покраснение локальное Local redness	Нет No	Да Yes	Да Yes
Отек Edema	Умеренный Reasonable	Выраженный Significant	От умеренного до выраженного From reasonable to significant
Выделения из соска Наличие кист Discharge from nipples Cysts	Серозные, молозиво + Serous, colostrum +	Гнойные + Purulent +	Кровянистые +/- Bloody +/-
Содержимое в протоках Fillings in ducts	Жидкостное, редко белковое Liquids, rarely protein	Жидкостное и белковое (гнойное) Liquids, rarely protein (pus)	Жидкостное и белковое Liquids, rarely protein
Накопление контрастного вещества Contrast accumulation	Умеренное Reasonable	Диффузное, локальное, выраженное Diffuse, local, significant	Локальное, диффузное, выраженное Local, diffuse, significant
Признаки вымывания при ДКУ Washout signs	Нет No	Да Yes	Да Yes
Усиление сосудистой сети и ее асимметрия Strengthening of the vascular network and its asymmetry	Нет No	Да Yes	Да Yes

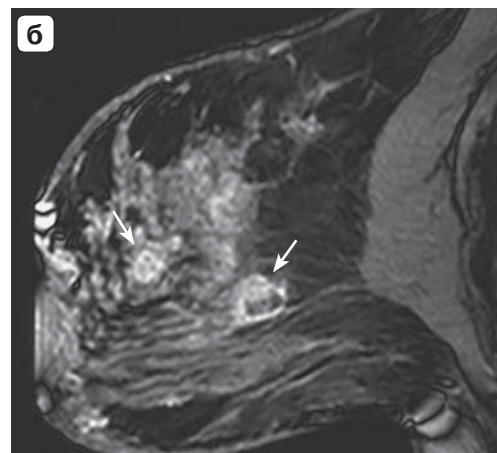
Основываясь на результатах собственных исследований и анализе литературных данных [1, 5, 8, 13, 10], можно сказать о наиболее вероятных лучевых признаках воспаления: это отек ткани железы, содержимое в протоках жидкостное и белковое с дилатацией и/или без расширения протоковой системы, наличие инфильтрата/инфильтратов и/или кистозных полостей за счет формирования абсцессов, увеличение регионарных (подмышечных) лимфатических узлов, но осо-

бые сложности вызывает выявление рака на фоне хронических воспалительных процессов, которые его маскируют (рис. 8).

Важное значение для дифференциальной диагностики имеет клинический ответ на противовоспалительную терапию, если признаки воспаления не регрессируют [6–8], то проведение МРТ с ДКУ становится необходимым для навигации биопсии и планирования дальнейшего лечения и оперативных вмешательств.



T1FS sag, +C
T1FS sag, post-contrast



T1FS sag +C
T1FS sag post-contrast

Рис. 8. МРТ. Пациентка 48 лет. Хронический неспецифический мастит левой молочной железы, множественные кистозные полости в премаммарной клетчатке и в ткани железы по типу формирующихся абсцессов (стрелки), накапливающие КВ кольцевидно, вдоль капсул, значительно утолщена кожа за счет отека и инфильтрации, BI-RADS 4.

Fig. 8. MRI. Woman, 48 years old. Chronic nonspecific mastitis of the left breast, multiple cystic cavities in the premammary tissue and in the breast tissue in the form of forming abscesses (arrows), accumulating contrast annularly, along the capsules; the skin is significantly thickened due to edema and infiltration, BI-RADS 4.

Заключение

У пациенток с отеком и признаками воспаления МЖ предпочтительным методом первичного обследования является УЗИ [1, 16]. Неоценимое преимущество УЗИ проявляется в возможности определения состояния аксиллярных, над- и подключичных лимфатических узлов, а также выполнение биопсии под ультразвуковой навигацией [4, 13]. Отсутствие необходимости подвергать пациентов воздействию ионизирующего облучения выгодно отличает МРТ от РМГ, а также возможность выявления изменений на фоне любого типа строения МЖ и объективность – от УЗИ [3, 14, 15, 17]. МРТ обладает высокой разрешающей способностью, полипроекционностью, высокой контрастностью мягких тканей, особенно жидкостно-содержащих, т.е. практически лишена недостатков РМГ на фоне отека и УЗИ [2, 3, 14, 16]. Иными словами, МРТ с ДКУ из дополнительного метода в маммологии становится одним из основных, как более информативное. В настоящее время МРТ во всем мире все шире используется при проведении исследований МЖ у женщин, хотя, наверное, самые большие сложности, гипо- и/или гипердиагностика возникают именно при анализе воспалительных инфильтратов, которые ошибочно, особенно при стертой клинической картине на фоне неполноценного лечения, трактуются неверно. Также большие сложности составлял и анализ различных вариантов зон контрастирования [5, 6, 10, 16].

В то же время следует отметить, что МРМ относится к методу, который находится на стадии развития и совершенствования [3, 6, 14, 17]. Клиницисты нуждаются в стандартизации как применяемых терминов, так и параметров, используемых при проведении МРМ с ДКУ. Можно ожидать, что проводимые многочисленные исследования в диагностике МЖ приведут к более частому клиническому применению этого метода, который в будущем может стать неотъемлемой частью диагностических и скрининговых мероприятий при наличии воспалительных изменений МЖ, в дифференциальной диагностике нелактационного мастита и рака.

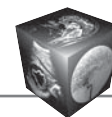
Безусловно, финальным этапом диагностического алгоритма для выбора оптимальной лечебной стратегии является биопсия с последующим проведением гистологического и иммуногистохимического исследования. МРТ позволяет выявить субстрат, уточнить местоположение патологических изменений в ткани желез, помогает определиться с навигацией для прицельной биопсии.

Участие авторов

Серебрякова С.В. – разработка дизайна исследования, редактирование текста, анализ полученных данных.

Шумакова Т.А. – консультативная помощь, анализ полученных данных.

Южно Е.А. – консультативная помощь, анализ полученных данных.



Сафронова О.Б. – написание текста статьи, анализ полученных данных.

Серебряков А.Л. – написание текста статьи, перевод текста, обзор публикаций по теме статьи.

Authors' participation

Serebryakova S.V. – design of the study, editing, analysis of the obtained data.

Shumakova T.A. – advisory assistance, analysis of the obtained data.

Yuhno E.A. – advisory assistance, analysis of the obtained data.

Safronova O.B. – writing text, analysis of the obtained data.

Serebryakov A.L. – writing text, text translation, review of publications.

Список литературы

1. Гостищев В.К. Клиническая оперативная гнойная хирургия: Руководство для врачей. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 448 с.
2. Giess C.S., Golshan M., Flaherty K., Birdwell R.L. Clinical experience with aspiration of breast abscesses based on size and etiology at an academic medical center. *J. Clin. Ultrasound*. 2014; 42 (9): 513–521. <https://doi.org/10.1002/jcu.2219>
3. 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.
4. Cha E., Smith R.L., Kristensen A.R. et al. The value of pathogen information in treating clinical mastitis. *J. Dairy. Res*. 2016; 83 (4): 456–446. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000625>
5. Tan H., Li R., Peng W. et al. Radiological and clinical features of adult non-puerperal mastitis. *Br. J. Radiol*. 2013; 86 (1024): 20120657. <https://doi.org/10.1259/bjr.20120657>
6. Черная А.В., Рева А.В., Ульянова Р.Х., Шевкунов Л.Н., Криворотко П.В., Тятков С.А., Гарибян С.А., Данилов В.В., Петрова А.С., Жильцова Е.К., Крживицкий П.И., Смирнова В.О., Зайцев А.Н. Сложности дифференциальной диагностики идиопатического гранулематозного мастита методами визуализации с контрастированием. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2020; 3 (3): 83–92. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2020-3-3-83-92>
7. Tahmasebi S., Karami M.Y., Maalagh M. Granulomatous Mastitis: Time to Introduce New Weapons. *Wld J. Surg*. 2016; 40 (11): 2827–2828. <https://doi.org/10.1007/s00268-016-3438-9>
8. Jahanfar S., Teng C.L. Antibiotics for mastitis in breastfeeding women. *San Paulo Med. J*. 2016; 134 (3): 273. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005458.pub3>
9. Баженова Д.А., Мершина Е.А., Пучкова О.С., Сенников И.С., Филатова Д.А. Современный взгляд на принципы диагностики рака молочной железы по данным контрастной маммографии (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (1): 40–47. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1090>
10. Cardoso F., Kyriakides S., Ohno S. Early Breast Cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann. Oncol*. 2019; 30 (8): 1194–1220.
11. Портной С.М. Основные риски развития рака молочной железы и предложения по его профилактике. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2018; 14 (3): 25–39.
12. Zhang X.-H., Xiao C. Diagnostic Value of Nineteen Different Imaging Methods for Patients with Breast Cancer: a Network Meta-Analysis. *Cell. Physiol. Biochem*. 2018; 46 (5): 2041–2055. <https://doi.org/10.1159/000489443>
13. Taffurelli M., Pellegrini A., Santini D. et al. Recurrent periductal mastitis: Surgical treatment. *Surgery*. 2016; 160 (6): 1689–1692. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2016.06.048>
14. Fischer U., Kopka L., Grabbe E. Breast carcinoma: effect of preoperative contrast-enhanced MR imaging on the therapeutic approach. *Radiology*. 1999; 213 (3): 881–888. <https://doi.org/10.1148/radiology.213.3.r99dc01881>
15. Kaiser W.A., Zeitler E. MR imaging of the breast: fast imaging sequences with and without Gd-DTPA-preliminary observations. *Radiology*. 1989; 170 (3, Pt 1): 681–686. <https://doi.org/10.1148/radiology.170.3.2916021>
16. 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.
17. D'Alfonso T.M., Ginter P.S., Shin S.J. A Review of Inflammatory Processes of the Breast with a Focus on Diagnosis in Core Biopsy Samples. *J. Pathol. Transl. Med*. 2015; 49 (4): 279–287. <https://doi.org/10.4132/jptm.2015.06.11>

References

1. Gostischev V.K. Clinical operative purulent surgery: A guide for doctors. M.: GEOTAR-Media, 2016. 448 p. (In Russian)
2. Giess C.S., Golshan M., Flaherty K., Birdwell R.L. Clinical experience with aspiration of breast abscesses based on size and etiology at an academic medical center. *J. Clin. Ultrasound*. 2014; 42 (9): 513–521. <https://doi.org/10.1002/jcu.2219>
3. Serebryakova S.V., Trufanov G.E., Fokin V.A., Yuhno E.A. Magnetic resonance imaging with contrast enhancement in the differential diagnosis of nodular formations. *Visualization in Medicine*. 2016; 1: 10–21. (In Russian)
4. Cha E., Smith R.L., Kristensen A.R. et al. The value of pathogen information in treating clinical mastitis. *J. Dairy. Res*. 2016; 83 (4): 456–446. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000625>
5. Tan H., Li R., Peng W. et al. Radiological and clinical features of adult non-puerperal mastitis. *Br. J. Radiol*. 2013; 86 (1024): 20120657. <https://doi.org/10.1259/bjr.20120657>
6. Chernaya A.V., Reva A.V., Ulianova R.K., Shevkunov L.N., Krivorotko P.V., Tyatkov S.A., Gharibyan S.A., Danilov V.V., Petrova A.S., Zhiltsova E.K., Krzhivitskii P.I., Smirnova V.O., Zaitsev A.N. Difficulties of Differential Diagnostics of Idiopathic Granulomatous Mastitis with Contrast Enhanced Visualization Methods. *Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2020; 3 (3): 83. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2020-3-3-83-92> (In Russian)
7. Tahmasebi S., Karami M.Y., Maalagh M. Granulomatous Mastitis: Time to Introduce New Weapons. *Wld J. Surg*. 2016; 40 (11): 2827–2828. <https://doi.org/10.1007/s00268-016-3438-9>



8. Jahanfar S., Teng C.L. Antibiotics for mastitis in breastfeeding women. *San Paulo Med. J.* 2016; 134 (3): 273. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005458.pub3>
9. Bazhenova D.A., Merzhina E.A., Puchkova O.S., Sennikov I.S., Filatova D.A. Modern view on the principles of breast cancer diagnosis according to contrast mammography (literature review). *Medical Visualization.* 2022; 26 (1): 40–47. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1090> (In Russian)
10. Cardoso F., Kyriakides S., Ohno S. Early Breast Cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann. Oncol.* 2019; 30 (8): 1194–1220.
11. Portnoy S.M. The main risks of breast cancer and suggestions for its prevention. *Tumors of the female reproductive system.* 2018; 14 (3): 25–39. (In Russian)
12. Zhang X.-H., Xiao C. Diagnostic Value of Nineteen Different Imaging Methods for Patients with Breast Cancer: a Network Meta-Analysis. *Cell. Physiol. Biochem.* 2018; 46 (5): 2041–2055. <https://doi.org/10.1159/000489443>
13. Taffurelli M., Pellegrini A., Santini D. et al. Recurrent periductal mastitis: Surgical treatment. *Surgery.* 2016; 160 (6): 1689–1692. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2016.06.048>
14. Fischer U., Kopka L., Grabbe E. Breast carcinoma: effect of preoperative contrast-enhanced MR imaging on the therapeutic approach. *Radiology.* 1999; 213 (3): 881–888. <https://doi.org/10.1148/radiology.213.3.r99dc01881>
15. Kaiser W.A., Zeidler E. MR imaging of the breast: fast imaging sequences with and without Gd-DTPA-preliminary observations. *Radiology.* 1989; 170 (3, Pt 1): 681–686. <https://doi.org/10.1148/radiology.170.3.2916021>
16. Shumakova T.A., Solntseva I.A., Safronova O.B., Savello V.E., Serebryakova S.V. Application of the international classification of BI-RADS in mammological practice. SPb., ELBI-SPb., 2018. 208 p. (In Russian)
17. D'Alfonso T.M., Ginter P.S., Shin S.J. A Review of Inflammatory Processes of the Breast with a Focus on Diagnosis in Core Biopsy Samples. *J. Pathol. Transl. Med.* 2015; 49 (4): 279–287. <https://doi.org/10.4132/jptm.2015.06.11>

Для корреспонденции*: Серебрякова Светлана Владимировна – e-mail: medicine@arccrm.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. Никитова” МЧС России; доцент кафедры рентгенодиагностики ФПО ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-9142-4957>. E-mail: medicine@arccrm.spb.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 “Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-8708-7249>. E-mail: tshumakova@rambler.ru

Южно Елена Антоновна – канд. мед. наук, заведующая кабинетом МРТ, врач-рентгенолог кафедры рентгенодиагностики и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики клиники рентгенодиагностики и ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-2386-711X>. E-mail: L55@yandex.ru

Сафронова Ольга Борисовна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова” Минздрава России; заведующая отделением лучевой диагностики №1 Санкт-Петербургского городского клинического онкологического диспансера, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-6038-3515>. E-mail: oldspbgkod@yandex.ru

Серебряков Артем Леонидович – врач-рентгенолог кафедры рентгенодиагностики и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики клиники рентгенодиагностики и ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-7478-5582>. E-mail: artserebr@mail.ru

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

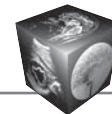
Svetlana V. Serebryakova – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Therapy and Integrative Medicine of the Institute of Continuing Professional Education “Extreme Medicine”; Head of the MRI office of Clinic № 1, Federal State Budgetary Institute “The Nikiforov Russian Center of Emergency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

Elena A. Yukhno – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist, Chief of Department of Diagnostic Radiology of Clinic of Roentgenradiology and Ultrasound Diagnostics, S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-2386-711X>. E-mail: L55@yandex.ru

Olga B. Safronova – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of Department of Radiology and Radiation Northwestern, I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University; Head of radiology department №1, St. Petersburg City Clinical Oncology Center, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-6038-3515>. E-mail: oldspbgkod@yandex.ru

Artem L. Serebryakov – Radiologist, Chief of Department of Diagnostic Radiology of Clinic of Roentgenradiology and Ultrasound Diagnostics, S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-7478-5582>. E-mail: artserebr@mail.ru



Грудная клетка | Thorax

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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1184>

Внегонадная герминогенная опухоль средостения: оценка локального распространения путем прямого введения контрастного вещества в полость перикарда

© Караханова А.Г.^{1*}, Багненко С.С.^{1,2}, Левченко Е.В.^{1,3}, Хандогин Н.В.¹, Шевкунов Л.Н.⁴¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»; 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация³ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; 191015 Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, Российская Федерация⁴ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова»; 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация**Цель исследования:** изучить возможности компьютерно-томографической перикардографии для оценки инвазии опухоли средостения в миокард.**Материал и методы.** Сравнивались традиционная компьютерная томография с внутривенным контрастированием и прямое контрастирование полости перикарда (компьютерно-томографическая перикардография) у 19-летнего больного с герминогенной опухолью средостения.**Результаты.** Благодаря введению контрастного препарата под мануальным давлением в полость перикарда стало возможным исключить инвазию опухоли в миокард на уровне предсердий. Это дало возможность на дооперационном этапе оценить техническую возможность удаления опухоли.**Заключение.** Внегонадные герминогенные опухоли средостения зачастую имеют бессимптомное течение, что приводит к выявлению опухолей уже крупных размеров, с признаками распространения на соседние органы и структуры. Традиционная компьютерная томография с внутривенным контрастированием не всегда позволяет исключить инвазию миокарда, перикарда и крупных сосудов. В статье представлено клиническое наблюдение выполнения прямого контрастирования полости перикарда (компьютерно-томографическая перикардография) у 19-летнего больного герминогенной опухолью средостения, что позволило исключить инвазию миокарда и в последующем успешно прооперировать пациента.**Ключевые слова:** внегонадная герминогенная опухоль, КТ, перикардография, образование средостения, перикард**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.****Для цитирования:** Караханова А.Г., Багненко С.С., Левченко Е.В., Хандогин Н.В., Шевкунов Л.Н. Внегонадная герминогенная опухоль средостения: оценка локального распространения путем прямого введения контрастного вещества в полость перикарда. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 53–61. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1184>

Поступила в редакцию: 17.04.2022.

Принята к печати: 09.07.2022.

Опубликована online: 28.12.2022.

Extragonadal germ cell tumor of the mediastinum: local spread estimated by direct injection of a contrast agent into the pericardial cavity

© Anna G. Karakhanova^{1*}, Sergey S. Bagненко^{1,2}, Evgeni V. Levchenko^{1,3}, Nikolai V. Khandogin¹, Lev N. Shevkunov⁴



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. Petersburg 194100, Russian Federation

³ I.I. Mechnikov North-Western State Medical University; 41, Kirochnaya str., St. Petersburg 191015, Russian Federation

⁴ Almazov National Medical Research Centre; 2, Akkuratova str., St. Petersburg 197341, Russian Federation

Purpose of the study: to study the possibilities of computed tomographic pericardiography in assessing the invasion of a mediastinal tumor into the myocardium.

Materials and methods. Traditional computed tomography with intravenous contrasting and direct contrasting of the pericardial cavity (computed tomographic pericardiography) were compared in a 19-year-old patient with mediastinal germ cell tumor.

Results. Due to the introduction of a contrast agent under manual pressure into the pericardial cavity, it became possible to exclude tumor invasion into the myocardium at the level of the atria. This made it possible to assess the technical feasibility of tumor removal at the preoperative stage.

Conclusion. Extragonadal germ cell tumors of the mediastinum often have an asymptomatic course, which leads to the detection of tumors that are already large in size, with signs of spread to neighboring organs and structures. Traditional computed tomography with intravenous contrast does not always allow to exclude invasion of the myocardium, pericardium and large vessels. This article demonstrates a clinical case of performing direct contrasting of the pericardial cavity (computed tomographic pericardiography) in a 19-year-old patient with a germ cell tumor of the mediastinum, which made it possible to exclude myocardial invasion and subsequently successfully operate the patient.

Keywords: extragonadal germ cell tumor, CT, pericardiography, mediastinal formation, pericardium

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

For citation: Karakhanova A.G., Bagnenko S.S., Levchenko E.V., Khandogin N.V., Shevkunov L.N. Extragonadal germ cell tumor of the mediastinum: local spread estimated by direct injection of a contrast agent into the pericardial cavity. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 53–61. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1184>

Received: 17.04.2022.

Accepted for publication: 09.07.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

В переднем средостении чаще всего локализуются опухоли тимуса, лимфомы, герминогенные опухоли. Компьютерная томография (КТ), как правило, позволяет всесторонне охарактеризовать выявленные изменения, провести дифференциальную диагностику, а также оценить местную распространенность и возможность хирургического лечения. Внегонадные герминогенные опухоли средостения возникают у молодых мужчин. Длительное бессимптомное течение часто приводит к поздней обращаемости, поэтому в ряде случаев крупные новообразования могут распространяться на соседние структуры средостения, а именно: перикард, миокард, легкое, плевру, а также на крупные сосуды. Начальные признаки инвазии миокарда, перикарда и крупных сосудов в рамках традиционной КТ с контрастным усилением порой уверенно дифференцировать не удастся, поэтому поиск новых подходов в данном вопросе актуален. Одной из перспективных методик, на наш взгляд, является прямое контрастирование полости перикарда (КТ-перикардография).

В статье представлено клиническое наблюдение выполнения КТ-перикардографии у 19-летнего больного герминогенной опухолью средостения для исключения инвазии новообразования в миокард.

Клиническое наблюдение

Пациент З., 19 лет, в сентябре 2021 г. в связи с подозрением на пневмонию выполнил КТ по месту жительства, в результате которой были выявлены опухоль средостения и метастазы в легких. Результаты биопсии: гистологическое строение и иммунофенотип соответствуют недифференцированной карциноме без иммунофенотипических признаков органоспецифичности. Альфа-фетопротеин (АФП) был повышен до 236 МЕ/мл, лактатдегидрогеназа до 310 Ед/л, бета-хорионический гонадотропин человека в пределах нормы.

Пациенту поставлен диагноз: внегонадная герминогенная несеминозная опухоль с поражением средостения и легких; T_xN_xM_{1a}S₂, стадия IIIB, группа неблагоприятного прогноза. По месту жительства было проведено следующее лечение: 1 цикл полихимиотерапии по схеме EP (22.09–27.09.21), 2 цикла полихимиотерапии по схеме BEP (12.10–17.10.21, 02.11–07.11.21), 2 цикла полихимиотерапии по схеме PEI (23.11–28.11.21), после чего были зарегистрированы рецидив и прогрессирование в виде роста первичной опухоли и метастазов в легких, подозрение на метастатическое поражение костей и головного мозга, повышение уровня АФП.

Осложнениями основного заболевания явились: анемия средней степени, смешанная (анемическая, паренхиматозная) субкомпенсированная хроническая дыхательная недостаточность, хроническая сердечно-

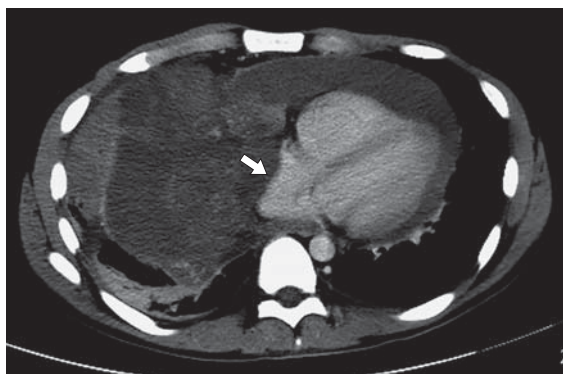
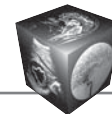


Рис. 1. КТ с внутривенным контрастированием. Выявлены признаки инвазии перикарда в виде неровного его контура и плотного прилегания опухоли к перикарду на большом протяжении (стрелка).

Fig. 1. CT scan with intravenous contrast. Signs of invasion of the pericardium were revealed in the form of its uneven contour and tight fitting of the tumor to the pericardium over a large extent (arrow).

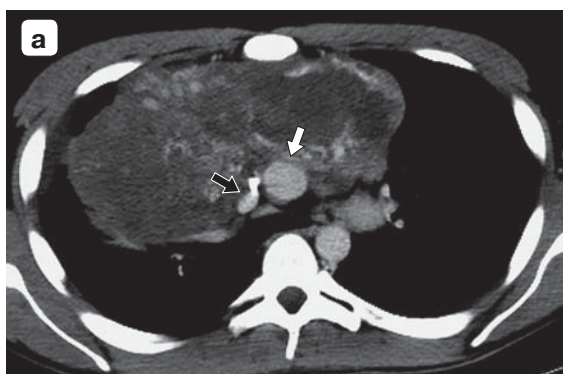


Рис. 2. КТ с внутривенным контрастированием не позволяла исключить инвазию восходящей аорты, верхней и нижней полых вен. **а** – контакт опухоли с восходящей аортой (белая стрелка) и верхней полых вен с признаками ее компрессии (черная стрелка); **б** – контакт опухоли с нижней полых вен (стрелка).

Fig. 2. CT with intravenous contrast did not rule out invasion of the ascending aorta, superior and inferior vena cava. **а** – contact of the tumor with the ascending aorta (white arrow) and superior vena cava, with signs of its compression (black arrow); **б** – contact of the tumor with the inferior vena cava (arrow).

сосудистая недостаточность, коагулопатия (гипокоагуляция). Прорастание опухолью перикарда с аррозией и кровотечением в полость перикарда и плевральную полость – гидроторакс, гидроперикард, фибринозный перикардит, предтампонада сердца (17.01.22).

Пациент поступил в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова 17.01.22 для выполнения перикардоцентеза под контролем ультразвука и обследования в условиях стационара для определения дальнейшей тактики лечения.

Качество визуализации сердца при эхокардиографии (ЭхоКГ) было резко снижено, что было обусловлено большой опухолью средостения, позиционными изменениями сердца, одышкой и кашлем в покое, конституциональными особенностями пациента и его вынужденным положением полусидя. Образование средостения интимно прилежало к правому предсердию, поддавливало его. На этом фоне убедительных ЭхоКГ-признаков прорастания образования в перикард и миокард на момент исследования не было выявлено.

Под ультразвуковым контролем была дренирована полость перикарда системой Pleugasap, при этом пассивно эвакуировано около 700 мл геморрагической жидкости (концентрация гемоглобина в данной жидкости была сопоставима с концентрацией гемоглобина в периферической крови), что указывало (и было подтверждено при оперативном вмешательстве) на прорастание опухоли в перикард с внутривнутриперикардальным кровоизлиянием и угрозой гемотампонады сердца. Было принято решение оставить систему Pleugasap для продленного дренирования. Трубка была фиксирована кисетным швом к коже и наложена сухая асептическая повязка.

Выполнена КТ туловища с внутривенным контрастированием, при которой выявлена опухоль размерами $191 \times 133 \times 165$ мм, окружающая сердце и магистральные сосуды. Обнаружены признаки инвазии перикарда (рис. 1) в виде неровности его наружного контура и протяженного прилегания опухоли к перикарду. Высказано подозрение об инвазии верхней, нижней полых вен и восходящей аорты (рис. 2). В полости перикарда имелся большой объем жидкости, которая локализовалась преимущественно в нижних отделах перикардального мешка (рис. 3). Нельзя было исключить инвазию опухоли в миокард области предсердий, так как в верхних отделах слой перикардальной жидкости не определялся (рис. 4). Был исключен инфильтрирующий рост в правую коронарную артерию. В связи с расхождением данных ЭхоКГ и КТ, а также с низким качеством УЗИ сердца было принято решение о выполнении уточняющего метода.

Применение магнитно-резонансной томографии (МРТ) в данной клинической ситуации ограничивалось, в первую очередь, тяжестью состояния пациента, невозможностью длительного нахождения в “тоннеле” магнитно-резонансного томографа в горизонтальном положении с дыхательной синхронизацией.

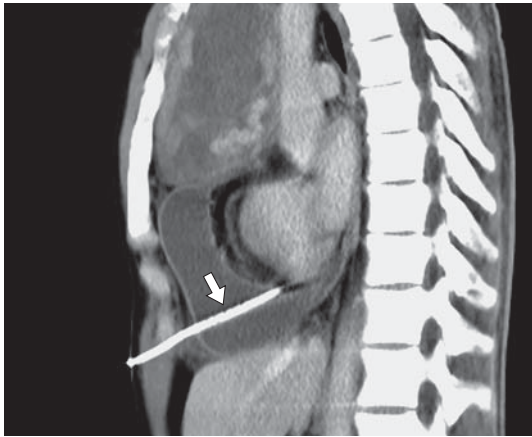


Рис. 3. На компьютерной томограмме определяется перикардиальный выпот и дренаж, установленный в полости перикарда (стрелка).

Fig. 3. CT shows a pericardial effusion and a drain placed in the pericardial cavity (arrow).

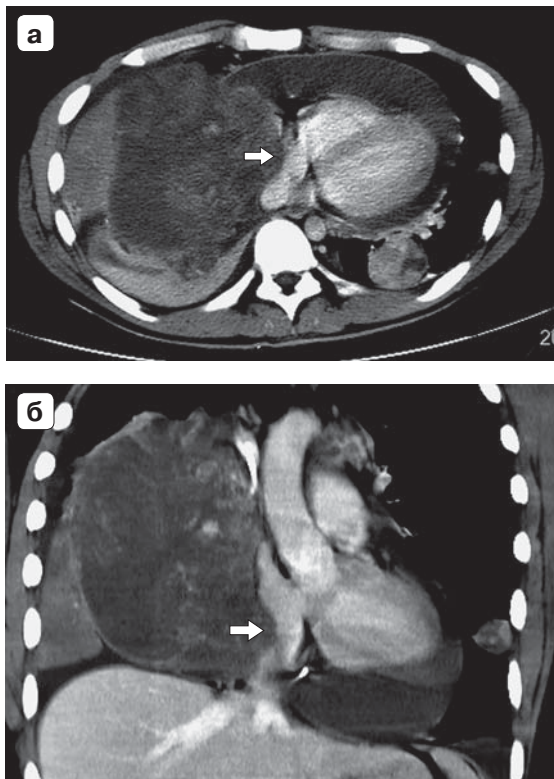


Рис. 4. КТ с внутривенным контрастированием не позволяет исключить инвазию опухоли в миокард правого предсердия (стрелки). **а** – аксиальная проекция; **б** – корональная проекция.

Fig. 4. CT scan with intravenous contrast does not rule out tumor invasion into the myocardium of the right atrium (arrows). **a** – axial view; **б** – coronal view.

С целью оценки синтопии опухоли и вероятного прорастания в миокард была выполнена КТ-перикардография. Для этого через дренаж в полости перикарда шприцем активно эвакуировано около 500 мл содержимого. Далее были смешаны 10 мл неионного йодсодержащего контрастного вещества Йогексол с концентрацией 300 мг/мл и 40 мл физиологического раствора. Данная смесь введена в полость перикарда через дренаж шприцем (процесс сопровождался умеренным болевым синдромом у больного), после чего выполнено сканирование грудной клетки.

Благодаря введению контрастного препарата под мануальным давлением контрастированы вышележащие отделы полости перикарда, что позволило исключить инвазию опухоли в миокард на уровне предсердий (рис. 5). Это дало возможность на дооперационном этапе оценить техническую возможность удаления опухоли с резекцией перикарда.

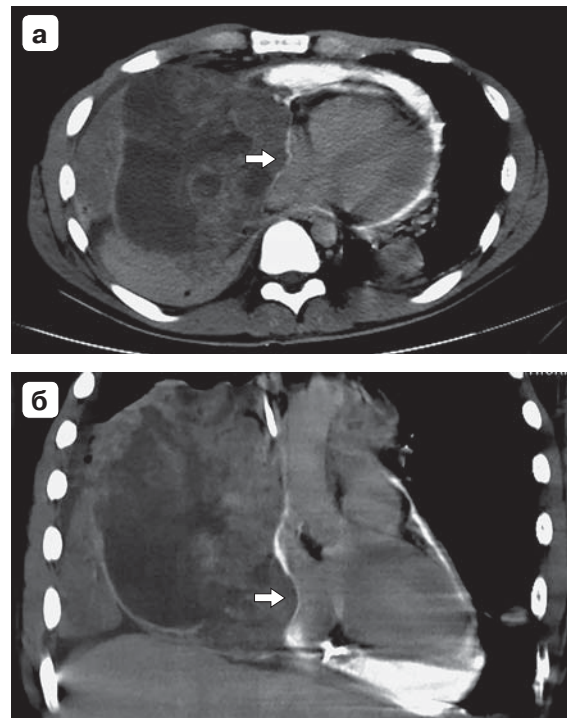
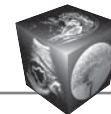


Рис. 5. КТ-перикардография, которая позволила убедительно исключить инвазию опухоли в миокард на уровне предсердий (стрелки). **а** – аксиальная проекция; **б** – корональная проекция.

Fig. 5. CT-pericardography, which made it possible to convincingly exclude tumor invasion into the myocardium at the level of the atria (arrows). **a** – axial projection; **б** – coronal projection.



Следует отметить, что в данном случае имеет место вариант внегонадной герминогенной несеминозной опухоли с поражением средостения и легких, вероятными метастазами в кости и головной мозг, резистентной к цитостатикам 3 линии химиотерапии и прогрессирующим после проведенного лечения (в виде увеличения размеров первичной опухоли, метастазов, уровня АФП), осложненной внутриперикардальным кровотечением, угрозой тампонады сердца, гипокоагуляцией и дыхательной, сердечно-сосудистой недостаточностью. Прогноз в сложившейся клинической ситуации был неблагоприятный при любой тактике ведения: симптоматической терапии, химиотерапии, оперативном вмешательстве и при отсутствии какого-либо лечения.

Проведение курса химиотерапии было невозможно вследствие прогрессирования дыхательной и сердечно-сосудистой недостаточности и некупированного внутриперикардального кровотечения. Проведение операции на фоне гипокоагуляции, дыхательной и сердечно-сосудистой недостаточности, анемии, при некротизированной опухоли с прорастанием сосудов имело риск неконтролируемого массивного кровотечения, остановки сердца на вводимом наркозе, а в последующем – тромбоэмболических осложнений, пневмонии, сепсиса.

В сложившейся клинической ситуации оперативное вмешательство не могло быть радикальным и выполнялось по жизненным показаниям с целью остановки внутриперикардального кровотечения, циторедукции с вероятным последующим созданием условий для повышения чувствительности остаточной опухоли к цитостатикам и ликвидацией дыхательной и сердечно-сосудистой недостаточности, а также коагулопатии. Даже малая вероятность незначительного улучшения состояния пациента или его стабилизации с учетом молодого возраста пациента неизбежно направляли к активной хирургической тактике. Установлены показания к операции.

После стабилизации состояния пациента были выполнены двусторонняя торакотомия с поперечной стернотомией, удаление новообразования средостения, расширенная средняя лобэктомия справа, метастазэктомия и краевые резекции обоих легких.

Вследствие длительно существовавшего гидроторакса, гемоторакса развился фибринозный перикардит, что привело к формированию множества жидкостных камер в полости перикарда, которые были выявлены в ходе операции. Фиброзные перегородки в полости перикарда были расположены избирательно и были тонкими, поэтому на фоне высокой контрастности йодсодержащего вещества при КТ-перикардографии визуализировались нечетливо. При выделении опухоли интраперикардально установлено, что в проекции предсердий опухоль прорастает перикард. Было выполнено удаление перикарда с передней по-

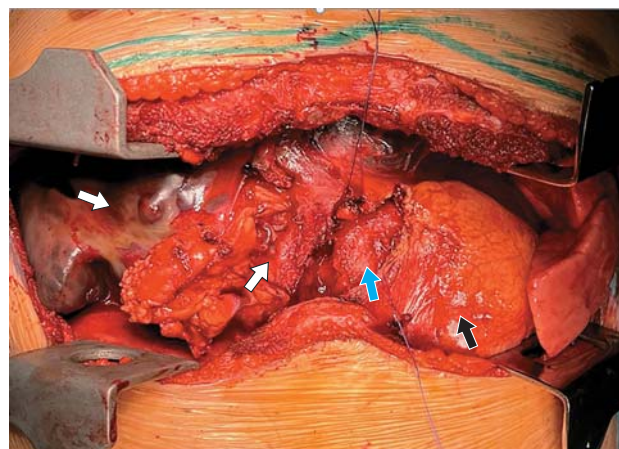


Рис. 6. Интраоперационная фотография в момент выделения опухоли. В проекции предсердий опухоль прорастает перикард. Начато выполнение резекции передней поверхности перикарда до объема условной передней полусферы. Белые стрелки – опухоль, синяя стрелка – область резекции перикарда, черная стрелка – сердце.

Fig. 6. Intraoperative photo at the time of tumor isolation. In the projection of the atria, the tumor grows into the pericardium. The resection of the anterior surface of the pericardium was started up to the volume of the conditional anterior hemisphere. White arrows – tumor, blue arrow – pericardial resection area, the black arrow is the heart.



Рис. 7. Фотография удаленного препарата. Размер лотка 200 × 150 мм. Макропрепарат размерами 190 × 140 × 60 мм. Опухоль кистозно-солидного строения, красно-коричневого цвета, с участками кровоизлияний и участками хрящевой плотности.

Fig. 7. Photo of the removed drug. The size of the tray is 200 × 150 mm. The macropreparation measures 190 × 140 × 60 mm. The tumor is of a solid cystic structure, red-brown in color, with areas of hemorrhage and areas of cartilage density.



верхности сердца в объеме условной передней полусферы (рис. 6). Удалось отделить опухоль от передней поверхности сердца, а в последующем и от верхней, нижней полых вен, от аорты.

Отсутствие инвазии опухоли средостения в миокард, выявленное при КТ-перикардографии, было подтверждено в ходе оперативного вмешательства и при гистологическом исследовании новообразования. Удаленный макропрепарат был размерами $190 \times 140 \times 60$ мм. Опухоль была кистозно солидного строения, красно-коричневого цвета, с участками кровоизлияний и участками хрящевой плотности (рис. 7).

Через 2 ч после операции в палате реанимации пациент был переведен на самостоятельное дыхание и экстубирован. На 23-и сутки после операции пациент был выписан из стационара.

Обсуждение

Основным методом визуализации перикардального мешка с учетом неинвазивности и доступности является ЭхоКГ [1–3], однако в ряде случаев возможности классического нативного сканирования для решения озвученных вопросов оказываются недостаточны. В мировой литературе можно встретить немногочисленные ссылки на те или иные варианты контрастного лучевого исследования рассматриваемой области, применяемые авторами с переменным успехом.

Т. Miyamoto и соавт. описан ультразвуковой микрокавитационный метод дренирования гемоперикарда [4]. Сначала в полость перикарда вводилась дренажная трубка под контролем трансторакальной ЭхоКГ. Для исключения попадания дренажной трубки в внутрисердечное пространство применялось микрокавитационное контрастное вещество, которое создавалось путем перемешивания смеси 0,5 мл воздуха, 0,5 мл аспирированной жидкости и 8 мл физиологического раствора между двумя 10 мл шприцами, соединенными трехходовым краном. Контрастное вещество (5 мл) медленно вводили в перикард через дренажную трубку. Микрокавитационное контрастирование вокруг сердца при трансторакальной ЭхоКГ подтверждало, что кончик дренажной трубки находился в перикардальной полости, содержащей выпот. Микрокавитационное контрастное вещество вокруг сердца видно при трансторакальной ЭхоКГ в виде гиперэхогенного участка в структуре выпота, однако в ряде случаев при оценке местной распространенности опухолей средостения его бывает недостаточно.

В 1961 г. Т.М. Durant описал негативную газоконтрастную рентгеновскую ангиокардиографию, при которой в локтевую вену вводили 50–100 мл CO_2 [5]. У больного, лежащего на левом боку, мож-

но было косвенно обнаружить утолщение перикарда и выпот, локализовав скопление газа в правом предсердии, однако сохранялась вероятность неправильной оценки при наличии правостороннего плеврита или инфильтрата в области средней доли легкого.

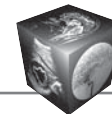
Рентгенологическое исследование полости перикарда методом двойного контрастирования в 1979 г. было описано В.М. Astapow и соавт. [6]. Метод позволял визуализировать листки околосердечной сумки, ее полость и содержимое. В начале выполнялась пункция перикарда и аспирация жидкости, что являлось частью лечебной процедуры, в последующем проводили пневмоперикардографию (300–400 мл газа: кислород при воспалительных, воздух при карциноматозных состояниях) и вводили водорастворимое контрастное вещество (5–8 мл 60% водорастворимого контрастного вещества из расчета 0,1 мл на 1 кг массы тела).

Метод прямого введения контрастного препарата в полость перикарда описан W. Mäurer и соавт. в 1981 г. [7]. В случае острой тампонады перикарда небольшим объемом выпота использовалось несколько миллилитров контрастного препарата из-за малой растяжимости перикардального мешка и только после дренирования 10–20 мл выпота. При рентгеновской перикардографии выпот, окрашенный контрастным веществом, и окружающие его структуры были хорошо видны при рентгеноскопии, позволяя визуализировать удовлетворительное положение аспирационной канюли в перикардальном мешке. В отличие от ЭхоКГ перикардография позволила получить дополнительную важную диагностическую информацию о пациенте [7].

МРТ с кардиосинхронизацией тоже может быть полезной в оценке структуры опухоли и хирургической резектабельности [8]. Метод не несет лучевой нагрузки, обладает высокой тканевой контрастностью при визуализации мягких тканей, что полезно для оценки инвазии опухоли в средостение и грудную стенку [9]. Однако в выявлении кальцификатов, а также с точки зрения продолжительности исследования МРТ существенно уступает КТ.

Традиционная КТ с внутривенным контрастированием остается методом выбора для визуализации опухолей, уточнения их природы и местной распространенности [10–12]. Она используется не только для оценки проходимости и инвазии сосудов, уточнения резектабельности опухоли, но и для исключения отдаленных метастазов [13, 14].

КТ-признаки, используемые для определения инвазии средостения, включают в себя степень



контакта между опухолью и соседними структурами средостения, а также облитерацию промежуточных жировых слоев. Однако, по мнению ряда авторов, данные критерии являются ненадежными, демонстрируя переменную чувствительность и специфичность [8, 15]. Сохранение нормального скользящего движения между двумя контактирующими областями является более точным при оценке инвазии средостения и грудной стенки [8].

Экспираторная динамическая КТ может помочь оценить инвазию опухоли в грудную стенку или средостение, поскольку свободное движение опухоли является прямым доказательством отсутствия прикрепления между висцеральной и париетальной плеврой [16]. Однако существуют трудности в различении инвазивной опухоли и доброкачественных спаек. Кроме того, оценка движения опухоли на аксиальных КТ-изображениях затруднена при локализации образования вблизи верхушки легкого или диафрагмы. Следует учитывать и увеличение лучевой нагрузки при дополнительном сканировании во время выдоха.

Таким образом, на сегодняшний день имеется широкий спектр методов визуализации органов средостения. При наличии крупных новообразований часто невозможно исключить инфильтрирующий рост опухоли в миокард (особенно при большом объеме геморрагической жидкости в перикардальном мешке), который является абсолютным противопоказанием к операции [17]. Помочь в решении этого вопроса может КТ-перикардография, которая позволяет контрастировать верхние отделы полости перикарда и исключить или подтвердить инвазию в миокард. Данная диагностическая манипуляция выполняется при дренировании полости перикарда после эвакуации его содержимого. Безусловно, это возможно только с участием торакальных хирургов (кардиохирургов) и реаниматологов в кабинете КТ (необходимо учитывать риск возникновения реактивного перикардита после процедуры). В нашем случае пациент был прооперирован в день исследования. Операция включала перикардотомию, ревизию полости перикарда и резекцию перикарда. Картина изменений, описанная при КТ-перикардографии, была подтверждена интраоперационно.

Заключение

КТ-перикардография является высокоинформативной диагностической методикой, позволяющей исключить инфильтрирующий рост опухоли в миокард и оценить резектабельность. Безусловно, предложенный подход не должен заменять неинвазивные варианты визуализации, прежде

всего ЭхоКГ. Наиболее перспективным является применение КТ-перикардографии в качестве дополнительной уточняющей диагностической процедуры, когда пункция перикарда выполняется с лечебной целью. Проведение манипуляции возможно только с участием торакальных хирургов и реаниматологов.

Участие авторов

Караханова А.Г. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Шевкунов Л.Н. – концепция и дизайн исследования, написание текста.

Багненко С.С. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Левченко Е.В. – проведение исследования, подготовка и редактирование текста.

Хандогин Н.В. – проведение исследования, подготовка и редактирование текста.

Authors' participation

Karakhanova A.G. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Shevkunov L.N. – concept and design of the study, writing text.

Bagnenko S.S. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Levchenko E.V. – conducting research, text preparation and editing.

Khandogin N.V. – conducting research, text preparation and editing.

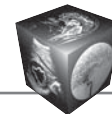
Список литературы

1. Scott D.S., Justina C. W., Linda D.G. Essential echocardiography. Companion to Braunwald's Heart Disease, Illustration Editor Bernard E. Bulwer, Inc. All rights reserved Elsevier Philadelphia, 2019.
2. Christoph F.D., Jouke T.A., Paul C. et al. Ultrasound techniques in the evaluation of the mediastinum, part I: endoscopic ultrasound (EUS), endobronchial ultrasound (EBUS) and transcutaneous mediastinal ultrasound (TMUS), introduction into ultrasound techniques, Journal of Thoracic Disease. All rights reserved. *J. Thorac. Dis.* 2015; 7 (9): 311–325. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.09.40>
3. Islam A., Asad R., Wallisa R. et al. Cardiac ultrasound: an anatomical and clinical review. *Translat. Res. Anatomy.* 2021; 22: 100083. <https://doi.org/10.1016/j.tria.2020.100083>
4. Miyamoto T., Watanabe S., Obayashi T. Microcavitation contrast method for the drainage of bloody pericardial effusion. *Circulation.* 2009; 120 (21): e166. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.896563>
5. Durant T.M. Negative (gas) contrast angiocardiology. *Am. Heart J.* 1961; 61: 1–4. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(61\)90509-9](https://doi.org/10.1016/0002-8703(61)90509-9)
6. Astapow B.M., Drosdowski B.J., Zyb A.F. Double contrast examination of the pericardial cavity in a case of exsudative pericarditis. *Radiologie.* 1979; 19 (12): 537–542.



7. Mäurer W., Rauch B., Schwarz F. et al. Direkte Kontrastmitteldarstellung akuter und chronischer Perikardergüsse sowie des Herzbeutels. *Dtsch. Med. Wschr.* 1981. 106 (47): 1571–1575. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1070556>
8. Ong C.C., Teo L.L.S. Imaging of anterior mediastinal tumors. *Cancer Imaging.* 2012; 12 (3): 506–515. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2012.0039>
9. Seo J.S., Kim Y.J., Choi B.W., Choe K.O. Usefulness of magnetic resonance imaging for evaluation of cardiovascular invasion: evaluation of sliding motion between thoracic mass and adjacent structures on cine MR images. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2005; 22: 234–241. <https://doi.org/10.1002/jmri.20378>
10. Амелина И.Д., Нестеров Д.В., Шевкунов Л.Н., Карачун А.М., Артемьева А.С., Багненко С.С., Трофимов С.Л. Компьютерно-томографическая пневмогастрография в определении типов рака желудка по классификации Lauren. *Злокачественные опухоли.* 2021; 11 (2): 13–26. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2021-11-2-13-26>
11. Мутовкина Н.И., Калинин П.С., Данилов В.В., Мищенко А.В. Магнитно-резонансная томография в диагностике рака пищевода (обзор литературы). *Медицинская визуализация.* 2019; 3: 28–43. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-3-28-43>
12. Буровик И.А., Прохоров Г.Г., Лушина П.А., Васильев А.В., Дегтярева Е.А. Робот-ассистированные чрескожные вмешательства под КТ-контролем: первый опыт. *Медицинская визуализация.* 2019; 2: 27–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-2-27-35>
13. Калинин П.С., Кушнарев В.А., Балкаров А.Х., Артемьева А.С. Легочный гистиоцитоз из клеток Лангерганса, имитирующий метастазы в легкие гигантоклеточной остеобластической саркомы (клиническое наблюдение). *Медицинская визуализация.* 2019; 2: 44–48. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-2-44-48>
14. Розенгауз В.В., Караханова А.Г., Нестеров Д.В. Особенности паттерна контрастирования гепатоцеллюлярного рака при тромбозе воротной вены. *Медицинская визуализация.* 2019; 4: 68–75. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-4-68-75>
15. Seo J.S., Kim Y.J., Choi B.W., Choe K.O. Usefulness of magnetic resonance imaging for evaluation of cardiovascular invasion: evaluation of sliding motion between thoracic mass and adjacent structures on cine MR images. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2005; 22: 234–241. <https://doi.org/10.1002/jmri.20378>. PMID:16028243
16. Murata K., Takahashi M., Mori M. et al. Chest wall and mediastinal invasion by lung cancer: evaluation with multisection expiratory dynamic CT. *Radiology.* 1994; 191: 251–255. <https://doi.org/10.1148/radiology.191.1.8134583>
17. Bacha E.A., Chapelier A.R., Macchiarini P. et al. Surgery for invasive primary mediastinal tumors. *Ann. Thorac. Surg.* 1998; 66: 234–239. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(98\)00350-6](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(98)00350-6)
1. Scott D.S., Justina C. W., Linda D.G. Essential echocardiography. Companion to Braunwald's Heart Disease, Illustration Editor Bernard E. Bulwer, Inc. All rights reserved Elsevier Philadelphia. 2019.
2. Christoph F.D., Jouke T.A., Paul C. et al. Ultrasound techniques in the evaluation of the mediastinum, part I: endoscopic ultrasound (EUS), endobronchial ultrasound (EBUS) and transcutaneous mediastinal ultrasound (TMUS), introduction into ultrasound techniques, *Journal of Thoracic Disease.* All rights reserved. *J. Thorac. Dis.* 2015; 7 (9): 311–325. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.09.40>
3. Islam A., Asad R., Wallisa R. et al. Cardiac ultrasound: an anatomical and clinical review. *Translat. Res. Anatomy.* 2021; 22: 100083. <https://doi.org/10.1016/j.tria.2020.100083>
4. Miyamoto T., Watanabe S., Obayashi T. Microcavitation contrast method for the drainage of bloody pericardial effusion. *Circulation.* 2009; 120 (21): e166. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.896563>
5. Durant T.M. Negative (gas) contrast angiocardiology. *Am. Heart J.* 1961; 61: 1–4. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(61\)90509-9](https://doi.org/10.1016/0002-8703(61)90509-9)
6. Astapow B.M., Drosdowski B.J., Zyb A.F. Double contrast examination of the pericardial cavity in a case of exudative pericarditis. *Radiologe.* 1979; 19 (12): 537–542.
7. Mäurer W., Rauch B., Schwarz F. et al. Direkte Kontrastmitteldarstellung akuter und chronischer Perikardergüsse sowie des Herzbeutels. *Dtsch. Med. Wschr.* 1981. 106 (47): 1571–1575. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1070556>
8. Ong C.C., Teo L.L.S. Imaging of anterior mediastinal tumors. *Cancer Imaging.* 2012; 12 (3): 506–515. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2012.0039>
9. Seo J.S., Kim Y.J., Choi B.W., Choe K.O. Usefulness of magnetic resonance imaging for evaluation of cardiovascular invasion: evaluation of sliding motion between thoracic mass and adjacent structures on cine MR images. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2005; 22: 234–241. <https://doi.org/10.1002/jmri.20378>
10. Amelina I.D., Nesterov D.V., Shevkunov L.N., Karachun A.M., Artemyeva A.S., Bagненко S.S., Trofimov S.L. Computed tomographic pneumogastrography in determining the types of gastric cancer according to the Lauren classification. *Malignant tumours.* 2021; 11 (2): 13–26. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2021-11-2-13-26> (In Russian)
11. Mutovkina N.I., Kalinin P.S., Danilov V.V., Mishchenko A.V. Magnetic-resonance imaging in diagnostics of esophageal cancer (literature review). *Medical Visualization.* 2019; 3: 28–43. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-3-28-43> (In Russian)
12. Burovik I.A., Prohorov G.G., Lushina P.A., Vasiliev A.V., Degtiareva E.A. CT-guided robotic-assisted percutaneous interventions: first experience. *Medical Visualization.* 2019; 2: 27–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-2-27-35> (In Russian)
13. Kalinin P.S., Kushnarev V.A., Balkarov A.H., Artemyeva A.S. A case of pulmonary langerhans' cell histiocytosis mimicking osteosarcoma pulmonary metastases (clinical case). *Medical Visualization.* 2019; 2: 44–48. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-2-44-48> (In Russian)
14. Rozengauz E.V., Karakhanova A.G., Nesterov D.V., Contrast enhancement patterns of hepatocellular carcinoma with portal vein thrombosis. *Medical Visualization.* 2019; 4: 68–75. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-4-68-75> (In Russian)
15. Seo J.S., Kim Y.J., Choi B.W., Choe K.O. Usefulness of magnetic resonance imaging for evaluation of

References



- cardiovascular invasion: evaluation of sliding motion between thoracic mass and adjacent structures on cine MR images. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2005; 22: 234–241. <https://doi.org/10.1002/jmri.20378>. PMID:16028243
16. Murata K., Takahashi M., Mori M. et al. Chest wall and mediastinal invasion by lung cancer: evaluation with multisection expiratory dynamic CT. *Radiology*. 1994; 191: 251–255. <https://doi.org/10.1148/radiology.191.1.8134583>
 17. Bacha E.A., Chapelier A.R., Macchiarini P. et al. Surgery for invasive primary mediastinal tumors. *Ann. Thorac. Surg.* 1998; 66: 234–239. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(98\)00350-6](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(98)00350-6)

Для корреспонденции*: Караханова Анна Геннадьевна – 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68.
E-mail: annakarakhanova@yandex.ru

Караханова Анна Геннадьевна – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1913-9390>

Багненко Сергей Сергеевич – доктор мед. наук, доцент, заместитель директора, заведующий отделением – ведущий научный сотрудник научного отделения 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>

Левченко Евгений Владимирович – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий хирургическим торакальным отделением, врач-онколог ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; профессор кафедры онкологии ФГБОУ ВО “СЗГМУ им. И.И. Мечникова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-3837-2515>

Хандогин Николай Владимирович – канд. мед. наук, врач-онколог ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-6046-549X>

Шевкунов Лев Николаевич – канд. мед. наук, врач-рентгенолог, доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4533-1658>

Contact*: Anna G. Karakhanova – 68, Leningradskaya str., Pesochny settlement, St. Petersburg 197758, Russia. E-mail: annakarakhanova@yandex.ru

Anna G. Karakhanova – Radiologist of Radiology Department N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1913-9390>

Sergey S. Bagnenko – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Deputy Director, Head of Department – Leading Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, Saint Petersburg; Professor of the Department of Modern Methods of Diagnostics and Radiotherapy, St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>

Evgeni V. Levchenko – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Surgical Thoracic Department, Oncologist N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor of the Department of Oncology I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-3837-2515>

Nikolai V. Khandogin – Cand. of Sci. (Med.), oncologist N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-6046-549X>

Lev N. Shevkunov – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist, Doctent of the Department of Nuclear Medicine and Radiation Technologies V.A. Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4533-1658>



Грудная клетка | Thorax

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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1348>

КТ-признак “матовое стекло” при гранулематозе с полиангиитом и внебольничной пневмонии

© Сафонова Т.Д.^{1*}, Шейх Ж.В.^{1, 2}

¹ ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, кафедра рентгенологии и радиологии; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница им. С.П. Боткина ДЗ города Москвы”; 125284 Москва, 2-й Боткинский пр-д, д. 5, Российская Федерация

Гранулематоз с полиангиитом (ГПА) является редким системным заболеванием, которое характеризуется двумя параллельно протекающими процессами: некротизирующим гранулематозным воспалением и малоиммунным васкулитом с поражением преимущественно сосудов мелкого калибра. Дифференциальная диагностика поражения легких при КТ у пациентов с установленным диагнозом ГПА и инфильтративными изменениями легких представляет значительные трудности.

Цель исследования: проанализировать КТ-проявления инфильтративных изменений в легких при ГПА и внебольничной бактериальной пневмонии и выявить возможности их дифференциальной диагностики.

Материал и методы. На основании 67 КТ-исследований органов грудной клетки у 24 пациентов с верифицированным ГПА с поражением легких инфильтративного характера и 36 КТ-исследований у 30 пациентов с бактериальной пневмонией без сопутствующей легочной патологии проведен сравнительный анализ следующих характеристик симптома “матовое стекло”: “расположение”, “краниокаудальное распределение”, “однородность”, “локализация”, “количество”, “связь с консолидацией”, “связь с плевральным выпотом”. КТ выполнена на компьютерном томографе Toshiba Aquilion Prime нативно по стандартному протоколу исследования с толщиной среза 1 мм. Проведена статистическая обработка полученных результатов с помощью программного приложения RStudio, версия 1.3.1093 for mac OS (RStudio, PBC). Для изучения связей между двумя категориальными переменными применяли критерий независимости χ^2 и метод главных компонент для категориальных переменных.

Результаты. Для ГПА характерны множественные двусторонние участки уплотнения по типу “матового стекла” чаще с центральным расположением, без статистически значимой краниокаудальной зависимости по отделам легких. При внебольничной пневмонии этот признак с большей вероятностью будет односторонним с периферическим расположением в нижних долях легкого. Статистически достоверных различий в степени однородности, сочетании с консолидацией, плевральным выпотом не установлено.

Заключение. КТ позволяет выявить характерные особенности КТ-признака “матовое стекло” при ГПА и пневмонии, которые в совокупности с клинико-лабораторными данными повышают точность лучевой диагностики этих заболеваний.

Ключевые слова: гранулематоз с полиангиитом, гранулематоз Вегенера, АНЦА-ассоциированные васкулиты, бактериальная пневмония, компьютерная томография легких, “матовое стекло”

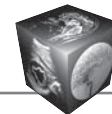
Финансирование исследования и конфликт интересов. Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.

Для цитирования: Сафонова Т.Д., Шейх Ж.В. КТ-признак “матовое стекло” при гранулематозе с полиангиитом и внебольничной пневмонии. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 62–70.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1348>

Поступила в редакцию: 15.03.2023.

Принята к печати: 17.04.2023.

Опубликована online: 15.05.2023.



CT-sign “ground glass opacity” in granulomatosis with polyangiitis and community-acquired pneumonia

© Tatyana D. Safonova^{1*}, Zhanna V. Sheikh^{1, 2}

¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Department of Radiology; 2/1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

² S.P. Botkin City Clinical Hospital; 5, 2nd Botkinsky pr., Moscow 125284, Russian Federation

Granulomatosis with polyangiitis (GPA) is a rare systemic disease characterized by two parallel processes: necrotizing granulomatous inflammation and low-immune vasculitis predominantly affecting small vessels. Differential diagnosis of lung lesions on CT in patients with an established diagnosis of granulomatosis with polyangiitis can be very difficult.

Purpose. Developing computed tomography criteria for the differential diagnosis of infiltrative changes in the lungs in patients with GPA and community-acquired bacterial pneumonia.

Materials and methods. 67 CT examinations of the chest by 24 patients with verified GPA with infiltrative lung lesions and 36 CT examinations by 30 patients with bacterial pneumonia without concomitant pulmonary pathology, a comparative analysis of the following characteristics of ground glass opacity symptom was performed: “location”, “craniocaudal distribution”, “uniformity”, “localization”, “quantity”, “association with consolidation”, “association with pleural effusion”. CT was performed natively on a Toshiba Aquilion Prime CT scanner according to a standard examination protocol with a slice thickness of 1 mm. Statistical processing of the obtained results was carried out using the software application RStudio, version 1.3.1093 for mac OS (RStudio, PBC). To study the relationships between two categorical variables, the χ^2 independence test and the principal component method for categorical variables were used.

Results. GPA is characterized by multiple bilateral areas of ground glass opacity compaction, often with a central location, without a statistically significant craniocaudal dependence in the lung regions. In community-acquired pneumonia, this sign is more likely to be unilateral with a peripheral location in the lower lobes of the lung. Statistically significant differences in the degree of homogeneity, combination with consolidation, pleural effusion have not been established.

Conclusion. CT reveals the characteristic features of the ground glass opacity CT sign in GPA and pneumonia, which, together with clinical and laboratory data, increase the accuracy of radiodiagnosis of these diseases.

Keywords: granulomatosis with polyangiitis, Wegener’s granulomatosis, ANCA-associated vasculitis, bacterial pneumonia, computed tomography of the lungs, ground glass opacity

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

For citation: Safonova T.D., Sheikh Zh.V. CT-sign “ground glass opacity” in granulomatosis with polyangiitis and community-acquired pneumonia. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 62–70. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1348>

Received: 15.03.2023.

Accepted for publication: 17.04.2023.

Published online: 15.05.2023.

Введение

Гранулематоз с полиангиитом (ГПА, ранее – гранулематоз Вегенера) – редкое системное аутоиммунное заболевание из группы васкулитов, ассоциированных с антителами к цитоплазме нейтрофилов (anti-neutrophil cytoplasmic antibodies, АНЦА), которое характеризуется двумя параллельно протекающими патологическими процессами: некротизирующим гранулематозным воспалением и малоиммунным васкулитом с поражением преимущественно сосудов мелкого, реже среднего калибра [1]. Заболеваемость ГПА до настоящего времени точно не определена, по имеющимся данным она оценивается как 8–10 случаев на 1 млн населения. Группа АНЦА-ассоциированных васкулитов также включает микроскопический по-

лиангиит и эозинофильный гранулематоз с полиангиитом (ранее – синдром Черджа–Стросса).

ГПА отличается значительным разнообразием клинической симптоматики с поражением различных органов и тканей. Классической считается триада патологических признаков, захватывающих изменения верхних дыхательных путей (носоглотки, околоносовых пазух, гортани), легких (очаги, в том числе с наличием полостей, и перибронхиальные инфильтраты) и почек (некротизирующий гломерулонефрит) [2]. При подозрении на АНЦА-ассоциированный васкулит обычно сначала выполняется лабораторное обследование с выявлением в сыворотке крови антител к цитоплазме нейтрофилов, однако у 6–10% пациентов они могут не определяться [3].



Лучевая диагностика заболевания сложна вследствие редкой встречаемости заболевания в популяции и неспецифичности рентгенологических признаков. Диагноз нередко ставится с запозданием, уже при возникновении жизнеугрожающих осложнений, в связи с чем прогноз заболевания существенно хуже, чем мог бы ожидаться при быстрой и точной диагностике и назначении адекватной терапии [4]. Список нозологий, с которыми ГПА следует дифференцировать, обширен и включает различные инфекции, в том числе туберкулез, аутоиммунные состояния, а также первичные и метастатические злокачественные новообразования [5, 6]. Поражение легких при ГПА отмечается у 65–90% больных, являясь одной из основных причин смерти [7]. “Золотым стандартом” диагностики является биопсия почки.

В литературных источниках приводятся, как правило, отдельные клинические наблюдения пациентов с ГПА, систематизированные данные о КТ-семиотике легочных поражений есть в единичных публикациях [4]. КТ-проявления заболевания вариабельны: чаще встречаются единичные или множественные очаги и образования округлой формы, полости распада с толстой стенкой и неровными контурами (до 70% пациентов), а также участки уплотнения легочной паренхимы по типу “матового стекла” и консолидации (от 20 до 50% пациентов) [8]. В данном случае речь идет об истинном “матовом стекле”, как проявлении интерстициального процесса в легких. При морфологическом исследовании очагов в легких обнаруживают проявления деструктивно-продуктивного и продуктивного васкулита, полиморфно-клеточные гранулемы с многоядерными гигантскими клетками. Участки “матового стекла” соответствуют пульмониту и/или геморрагическому пропитыванию, в процессе заболевания они могут сливаться между собой с формированием крупных зон консолидации с симптомом “воздушной бронхографии” [9]. При КТ с высоким разрешением диффузное затемнение по типу “матового стекла” является признаком диффузного альвеолярного кровоизлияния и встречается примерно у 10% пациентов с ГПА [10]. Именно массивное легочное кровотечение является одним из наиболее частых осложнений ГПА и может закончиться летально [9].

Подробное исследование всех признаков поражения легких у пациентов как с предполагаемым, так и с верифицированным ГПА является актуальной задачей современной лучевой диагностики в силу редкой встречаемости данной патологии в популяции и недостаточно изученной рентгенологической семиотикой. Определяющим КТ-симп-

томом заболевания считаются солидные очаги как проявление гранулематозного воспаления и при их отсутствии заподозрить данную патологию затруднительно, особенно при наличии инфильтративных изменений в легочной ткани, клинически протекающих с повышением температуры тела. В связи с этим мы решили провести сравнительный анализ различных характеристик такого частного и общего для ГПА и бактериальной пневмонии КТ-признака, как уплотнение паренхимы по типу “матового стекла”.

Цель исследования

Разработать КТ-критерии дифференциальной диагностики инфильтративных изменений в легких при ГПА и внебольничной бактериальной пневмонии.

Материал и методы

В исследование включено 54 пациента, обследованных в отделе лучевой диагностики ГБУЗ “Городская клиническая больница им. С.П. Боткина ДЗМ”, из них 24 пациента в возрасте 18–79 лет (средний возраст 45,8 года) с верифицированным ГПА с поражением легких инфильтративного характера и 30 пациентов в возрасте 22–74 лет (средний возраст 47,3 года) с внебольничной бактериальной пневмонией без сопутствующей легочной патологии. Всем пациентам с ГПА проведены комплексное клиничко-лабораторное обследование, а также верификации диагноза с помощью биопсии различных органов (почки, легкого, слизистой носоглотки). Бактериальная этиология пневмонии установлена по совокупности данных клиничко-лабораторного обследования и положительной клинической и рентгенологической динамике при антибактериальной терапии.

КТ органов грудной клетки выполнялась при поступлении пациента в стационар, а также в процессе динамического наблюдения при необходимости оценки изменений в легком на фоне лечения. Всего изучено 103 КТ-исследования, из них 67 у пациентов с ГПА и 36 – у пациентов с пневмонией. КТ органов грудной клетки проводилась на компьютерном томографе Toshiba Aquilion Prime нативно по стандартному протоколу исследования с толщиной среза 1 мм. Обработка изображений осуществлялась на многофункциональной рабочей станции с использованием пакета программного обеспечения “VitreaCore”.

Для сравнительного анализа выделены следующие характеристики патологических участков уплотнения в легких по типу “матового стекла” при ГПА и пневмонии: “расположение” (центральное, периферическое, диффузное), “краниокаудаль-



ное распределение” (верхнее, нижнее, среднее и нижнее, все отделы), “однородность” (однородное, неоднородное), “локализация” (односторонняя, двусторонняя), “количество” (единичное, множественные), “связь с консолидацией” (есть, нет), “связь с плевральным выпотом” (есть, нет).

Статистическая обработка полученных результатов проведена с помощью программного приложения RStudio, версия 1.3.1093 for mac OS (RStudio, PBC). Для изучения связей между двумя категориальными переменными применяли критерий независимости χ^2 . Для преобразования исходного набора из восьми/семи переменных в набор из двух переменных, упорядоченный по уменьшению объясненной изменчивости, применяли метод главных компонент для категориальных переменных. При интерпретации результатов статистических тестов статистически значимым считалось значение $p < 0,05$. Для оценки величины эффекта использовали критерий V Крамера.

Результаты

Результаты статистического анализа сравниваемых характеристик КТ-признака “матовое стекло” при ГПА и пневмонии приведены в таблице. Наиболее выраженные достоверные различия выявлены по характеристике “расположение”. Между ней и заболеванием, связанным с поражением органов дыхания (ГПА или пневмония), выявлена относительно сильная статистическая взаимосвязь. Среди пациентов с ГПА существенно преобладало центральное расположение участков “матового стекла”, а при пневмонии, наоборот, наблюдалось их преимущественное периферическое расположение. При этом проявления васкуляризации в большинстве случаев имели типичную форму, близкую к треугольной.

Количественно менее выраженные, но достоверные статистические отличия установлены по характеристикам “краниокаудальное распределение”, “локализация” и “количество”. Между ка-

Таблица. Сравнение характеристик КТ-признака “матовое стекло” при ГПА и пневмонии

Table. Comparison of characteristics of CT sign “ground glass opacity” in GPA and pneumonia

Характеристика КТ-признака “матовое стекло” Characteristics of the CT-sign “ground glass opacity”	ГПА GPA	Пневмония Pneumonia
Расположение / Location ($\chi^2 = 11,52$; $p < 0,05$; $V = 0,43$): центральное / central периферическое / peripheral диффузное / diffuse	13 (54,2%) 5 (20,8%) 6 (25,0%)	4 (13,3%) 19 (63,3%) 7 (23,4%)
Краниокаудальное распределение / Craniocaudal distribution ($\chi^2 = 8,08$; $p < 0,05$; $V = 0,31$): нижнее / caudal среднее и нижнее / middle and caudal верхнее / upper все отделы / all departments	4 (16,7%) 7 (29,1%) 4 (16,7%) 9 (37,5%)	16 (53,4%) 3 (10,0%) 4 (13,3%) 4 (13,3%)
Локализация / Localization ($\chi^2 = 6,84$; $p < 0,05$; $V = 0,33$): односторонняя / unilateral двусторонняя / bilateral	7 (29,2%) 17 (70,8%)	20 (66,7%) 10 (33,3%)
Количество / Quantity ($\chi^2 = 4,02$; $p < 0,05$; $V = 0,24$): единичный / single множественные / multiple	4 (16,7%) 20 (83,3%)	13 (43,3%) 17 (56,7%)
Однородность / Homogeneity ($\chi^2 = 0,06$; $p < 0,05$; $V = 0$): однородный / homogeneous неоднородный / heterogeneous	10 (41,7%) 14 (58,3%)	12 (40,0%) 18 (60,0%)
Сочетание с консолидацией / Association with consolidation ($\chi^2 = 0,11$; $p < 0,05$; $V = 0$): да / yes нет / no	13 (54,2%) 11 (45,8%)	17 (56,7%) 13 (43,3%)
Сочетание с плевральным выпотом / Association with pleural effusion ($\chi^2 = 1,12$; $p < 0,05$; $V = 0,04$): да / yes нет / no	6 (25,0%) 18 (75,0%)	12 (40,0%) 18 (60,0%)



Рис. 1. ГПА: участок уплотнения по типу “матового стекла” треугольной формы в центральной зоне правого легкого (а). Пневмония: двусторонние инфильтративные изменения в нижних долях обоих легких преимущественно с периферическим расположением (б).

Fig. 1. GPA: triangular ground glass opacity in the central zone of the right lung (a). Pneumonia: bilateral infiltrative changes in the lower lobes of both lungs, predominantly with a peripheral location (b).

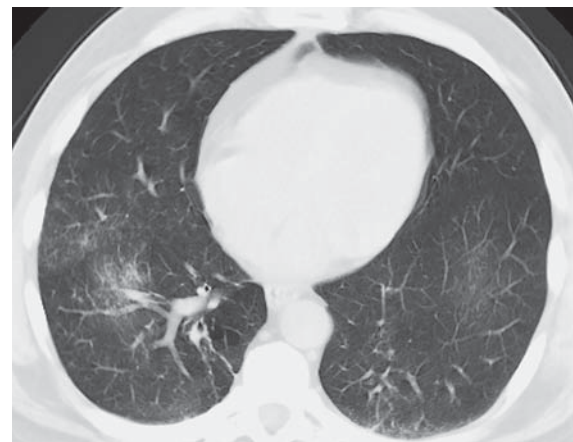
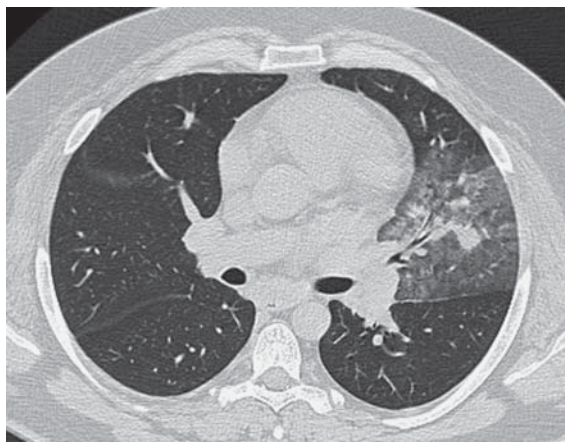


Рис. 2. Пневмония бактериальной этиологии: зона уплотнения по типу “матового стекла” с центральным участком консолидации в верхней доле левого легкого.

Fig. 2. Pneumonia of bacterial etiology: ground glass opacity with a central area of consolidation in the upper lobe of the left lung.

Рис. 3. Двусторонние участки уплотнения по типу “матового стекла” как проявления васкулита у пациента с ГПА.

Fig. 3. Bilateral ground glass opacity as manifestations of vasculitis in a patient with GPA.

ждым из них и заболеванием, связанным с поражением органов дыхания (ГПА или пневмония), обнаружена средняя статистическая зависимость. При анализе краниокаудального распределения у пациентов с ГПА преобладающей локализации патологических участков в легком не выявлено, они чаще располагались во всех отделах, тогда как более чем у половины пациентов с пневмонией изменения определялись в нижних отделах (рис. 1). При ГПА изменения по типу “матового стекла” в большинстве случаев были двусторонними, а при пневмонии – односторонними (рис. 2). В обеих группах множественные участки “мато-

вого стекла” преобладали над единичными, но при ГПА это различие выражено более значительно, чем при пневмонии, что, вероятно, связано со спецификой выборки больных в крупном многопрофильном стационаре (рис. 3).

По характеристикам “однородность”, “сочетание с консолидацией”, “сочетание с плевральным выпотом” достоверных отличий КТ-признака “матовое стекло” между ГПА и пневмонией не выявлено, статистическая связь между каждым из них и заболеванием, связанным с поражением органов дыхания (ГПА или пневмония), отсутствовала. Кровохарканье и легочное кровотечение чаще

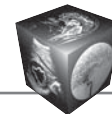


Рис. 4. Диффузное уплотнение по типу “матового стекла” в обоих легких у пациента с ГПА с легочным кровоизлиянием.

Fig. 4. Diffuse ground glass opacity in both lungs in a GPA patient with pulmonary hemorrhage.

всего сопровождалось выраженными изменениями в легочной ткани, в том числе диффузным уплотнением обширных участков легочной ткани по типу “матового стекла”, которые имели однородный характер (рис. 4).

Диагностическое значение критериев “расположение”, “краниокаудальное распределение”, “локализация” и “количество” подтверждают результаты применения метода главных компонент к набору исследуемых характеристик КТ-признака “матовое стекло” у пациентов с ГПА и пневмонией (рис. 5). Они позволяют дифференцировать эти заболевания наилучшим образом, на что указывают самые большие по модулю весовые коэффициенты перед ними, что на рис. 4 показано длиной их векторов по оси абсцисс в единицах измерения первой главной компоненты. При этом среднее значение первой главной компоненты у пациентов

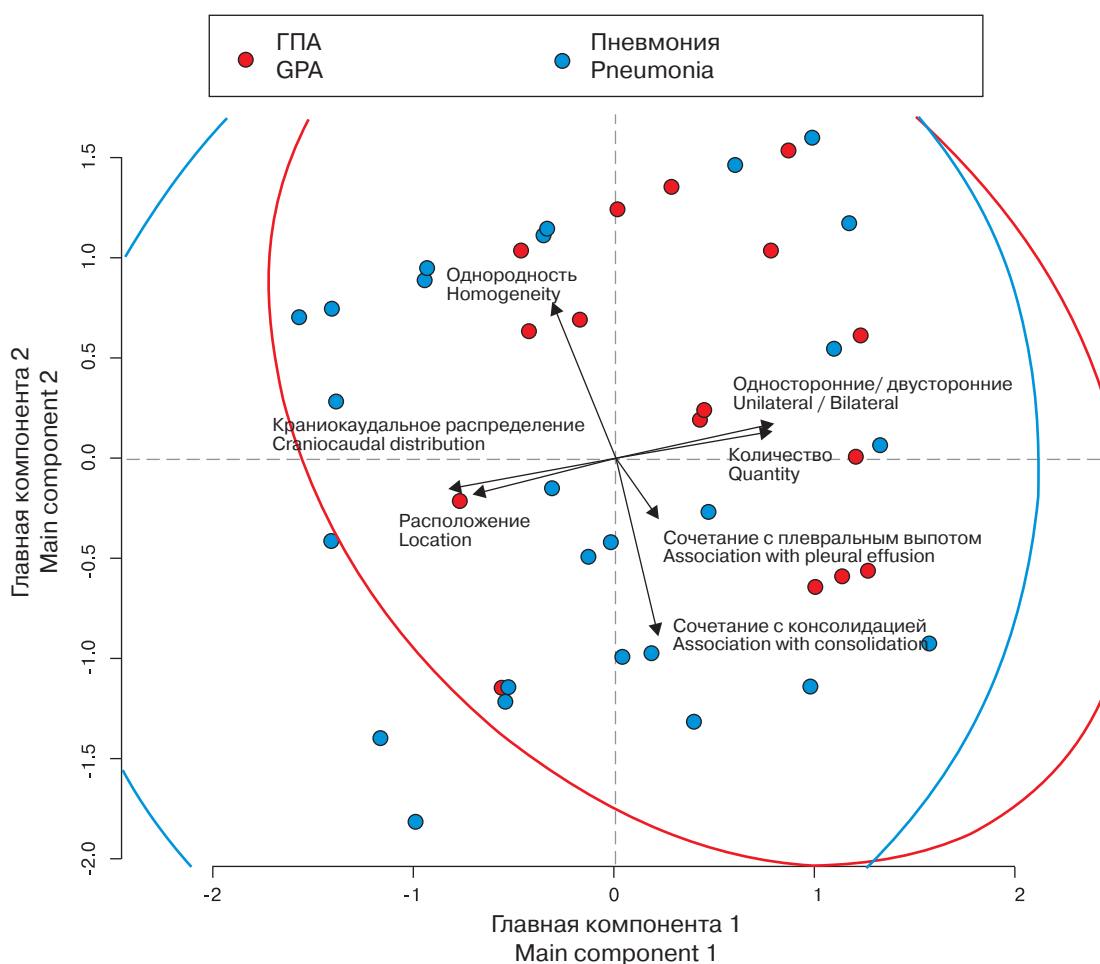


Рис. 5. Результаты применения метода главных компонент к набору изучаемых характеристик КТ-признака “матовое стекло” у пациентов с ГПА и пневмонией.

Fig. 5. Results of applying the principal components method to the set of studied characteristics of the CT sign “ground glass opacity” in patients with GPA and pneumonia.



с ГПА положительное, в то время как у пациентов с пневмонией оно отрицательное, что позволяет отчасти дифференцировать выборочные совокупности, несмотря на отсутствие видимой кластеризации.

Обсуждение

ГПА является редкой патологией с разнообразными клиническими и рентгенологическими проявлениями, которые могут имитировать картину других более часто встречающихся заболеваний. Результаты исследований показывают, что даже в случае верифицированного диагноза ГПА процент ошибок в рентгенологических заключениях велик и достигает 53%. Чаще всего происходит гипердиагностика инфекционных осложнений [11]. При изолированном возникновении у пациента инфильтративных изменений в виде консолидации и/или уплотнения по типу “матового стекла” выбор чаще всего делается в пользу пневмонии, однако при отсутствии эффекта от антибактериальной терапии в совокупности с данными клинико-лабораторного обследования следует заподозрить легочный васкулит.

Традиционно главным признаком ГПА считаются легочные очаги и полостные образования с толстыми стенками, при этом инфильтративным изменениям при данной патологии уделяется существенно меньше внимания. Несмотря на это, данный симптом встречается у многих пациентов и должен быть подробно исследован, в первую очередь, для дифференциальной диагностики с другими заболеваниями. Хотя патогномоничных признаков на КТ-изображении уплотнения легочной ткани по типу “матового стекла” при ГПА не выявлено, при его комплексном анализе можно обнаружить определенные закономерности, способствующие правильному выводу о его происхождении.

Q.X. Tee и соавт. в исследовании 2022 г. сообщают, что степень или тяжесть легочного кровотечения определяет, видны ли при визуализации изменения по типу “матового стекла” и/или консолидации, при этом уплотнение по типу “матового стекла” коррелирует с микрокровоизлияниями, а консолидация коррелирует с более выраженным легочным кровотечением [12].

Уплотнения по типу “матового стекла” могут быть фокальными, субплевральными, клиновидными или кавитационными, но довольно часто имеют прикорневое и перибронховаскулярное распределение. При анализе результатов КТ-исследований у 45 пациентов с подтвержденным ГПА J. Li и соавт. выявили преимущественно двустороннюю локализацию инфильтративных из-

менений (у 59% пациентов), что согласуется с нашими данными (у 70,8% пациентов) [11]. Среди обследованных нами пациентов изменения по типу “матового стекла” встречались во всех отделах легких без выявленной краниокаудальной зависимости, хотя в литературе присутствуют упоминания о поражении преимущественно средних и нижних отделов легких [12].

В литературных источниках приводятся наблюдения симптома “дерева в почках” в виде солидных и субсолидных сгруппированных перибронхиальных очагов на фоне уплотнения по типу “матового стекла”, возникающих при вовлечении в процесс альвеол [13].

Таким образом, представленные в обсуждении данные демонстрируют важность комплексного анализа всех выявленных при КТ изменений легочной ткани. Даже в условиях отсутствия патогномоничных симптомов вышеописанные особенности данного признака могут служить ориентиром при постановке диагноза.

Заключение

Для КТ-семиотики уплотнения легочной ткани по типу “матового стекла” при ГПА характерна множественность и двусторонняя локализация при преимущественно центральном расположении и краниокаудальном распределении во всех отделах легкого либо исключительно в среднем и нижнем отделах. Для бактериальной пневмонии типична односторонняя локализация как множественных, так и единичных участков “матового стекла” с преобладающим периферическим расположением и нижним краниокаудальным распределением. Знание этих особенностей рентгенологической картины инфильтративных изменений при легочном васкулите и бактериальной инфекции может помочь в своевременной постановке диагноза, в том числе при анализе изменений у пациента с ранее верифицированным ГПА.

Участие авторов

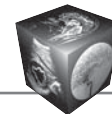
Сафонова Т.Д. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор данных, написание текста, подготовка к публикации.

Шейх Ж.В. – участие в концепции и научном дизайне, редактирование работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Safonova T.D. – concept and design of the study, conducting research, data collection, writing text, preparation of the study.

Sheikh Zh.V. – participation in concept and scientific design, editing of the study, approval of the final version of the article.



Список литературы

1. Сафонова Т.Д., Шейх Ж.В. Современные представления о распространенности, патоморфологии и диагностике гранулематоза с полиангиитом с поражением легких (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (3): 97–108. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-981>
2. Королева И.М., Чичкова Н.В., Соколина И.А., Бучнева А.В. Гранулематоз с полиангиитом (гранулематоз Вегенера): многообразие клинико-рентгенологических проявлений. *Consilium Medicum*. 2019; 21 (11): 80–85. <https://doi.org/10.26442/20751753.2019.11.190687>
3. Бекетова Т.В., Фролова Н.Ф., Столяревич Е.С., Волков М.Ю., Котенко О.Н., Александрова Е.Н. Проблемы диагностики и лечения АНЦА-ассоциированных системных васкулитов: в фокусе АНЦА-негативный рауси-иммунный гломерулонефрит. *Научно-практическая ревматология*. 2016; 54 (5): 543–552. <https://doi.org/10.14412/1995-4484-2016-543-552>
4. Демко И.В., Гордеева Н.В., Мамаева М.Г., Матвеева И.В., Крапошина А.Ю., Соловьева И.А., Собко Е.А., Зеленый С.В., Локтионова М.М. Трудности дифференциальной диагностики в практике врача-пульмонолога: гранулематоз с полиангиитом. *РМЖ*. 2017; 3: 211–213.
5. Шейх Ж.В., Сафонова Т.Д. Компьютерная томография в диагностике легочных поражений при системных васкулитах. *Практическая пульмонология*. 2019; 2: 69–74.
6. Masiak A., Fijałkowska J., Nowakowski S. et al. New lung mass in a patient with granulomatosis with polyangiitis. *Rheumatol. Int.* 2021; 41 (2): 493–499. <https://doi.org/10.1007/s00296-020-04646-w>
7. Sacoto G., Boukhlal S., Specks U. et al. Lung involvement in ANCA-associated vasculitis. *Presse Med.* 2020; 49 (3): 104039. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2020.104039>
8. Schaefer-Prokop C. Pulmonary manifestations of systemic diseases. In: *Diseases of the Chest, Breast, Heart and Vessels 2019–2022: Diagnostic and Interventional Imaging* / Eds J. Hodler, R.A. Kubik-Huch, G.K. von Schulthess. Springer, 2019. 248 p.
9. Holl-Ulrich K., Reinhold-Keller E., Müller A., Feller A. Pathology of vasculitis: differential diagnosis and selected disorders. *Verh. Dtsch. Ges. Path.* 2002; 86: 83–90.
10. Ananthakrishnan L., Sharma N., Kanne J.P. Wegener's Granulomatosis in the Chest: High-Resolution CT Findings. *Am. J. Roentgenol.* 2009; 192 (3): 676–682. <https://doi.org/10.2214/AJR.08.1837>
11. Li J., Li C., Li J. Thoracic manifestation of Wegener's granulomatosis: Computed tomography findings and analysis of misdiagnosis. *Exp. Ther. Med.* 2018; 16 (1): 413–419. <https://doi.org/10.3892/etm.2018.6154>
12. Tee Q.X., Wong A., Nambiar M., Lau, K.K. Granulomatosis with polyangiitis: Common and uncommon presentations. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2022; 66: 1089–1096. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.13471>
13. Системные васкулиты: возможности современной медицинской визуализации: Учебное пособие / Ж.В. Шейх и др. М.: Крафт+, 2019. 172 с.

References

1. Safonova T.D., Sheikh Z.V. Modern concepts of the prevalence, pathomorphology and diagnosis of granulomatosis with polyangiitis with pulmonary involvement (literature review). *Medical Visualization*. 2021; 25 (3): 97–108. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-981> (In Russian)
2. Koroleva I.M., Chichkova N.V., Sokolina I.A., Buchneva A.V. Granulomatosis with polyangiitis (Wegener's granulomatosis): a variety of clinical and radiological manifestations. *Consilium Medicum*. 2019; 21 (11): 80–85. <https://doi.org/10.26442/20751753.2019.11.190687> (In Russian)
3. Beketova T.V., Frolova N.F., Stolyarevich E.S., Volkov M.Yu., Kotenko O.N., Aleksandrova E.N. Problems in the diagnosis and treatment of ANCA-associated systemic vasculitis: In the focus of ANCA-negative pauci-immune glomerulonephritis. *Nauchno-Prakticheskaya Revmatologiya = Rheumatology Science and Practice*. 2016; 54 (5): 543–552 <https://doi.org/10.14412/1995-4484-2016-543-552> (In Russian)
4. Demko I.V., Gordeeva N.V., Mamaeva M.G., Matveeva I.V., Kraposhina A.Yu., Soloveva I.A., Sobko E.A., Zeleniy S.V., Loktionova M.M. Difficulties of differential diagnosis in practice of pulmonary medicine: granulomatosis with polyangiitis. *RMJ*. 2017; 3: 211–213. (In Russian)
5. Sheikh Zh.V., Safonova T.D. Computed tomography in the diagnosis of lung lesions in systemic vasculitis. *Practical pulmonology*. 2019; 2: 69–74. (In Russian)
6. Masiak A., Fijałkowska J., Nowakowski S. et al. New lung mass in a patient with granulomatosis with polyangiitis. *Rheumatol. Int.* 2021; 41 (2): 493–499. <https://doi.org/10.1007/s00296-020-04646-w>
7. Sacoto G., Boukhlal S., Specks U. et al. Lung involvement in ANCA-associated vasculitis. *Presse Med.* 2020; 49 (3): 104039. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2020.104039>
8. Schaefer-Prokop C. Pulmonary manifestations of systemic diseases. In: *Diseases of the Chest, Breast, Heart and Vessels 2019–2022: Diagnostic and Interventional Imaging* / Eds J. Hodler, R.A. Kubik-Huch, G.K. von Schulthess. Springer, 2019. 248 p.
9. Holl-Ulrich K., Reinhold-Keller E., Müller A., Feller A. Pathology of vasculitis: differential diagnosis and selected disorders. *Verh. Dtsch. Ges. Path.* 2002; 86: 83–90.
10. Ananthakrishnan L., Sharma N., Kanne J.P. Wegener's Granulomatosis in the Chest: High-Resolution CT Findings. *Am. J. Roentgenol.* 2009; 192 (3): 676–682. <https://doi.org/10.2214/AJR.08.1837>
11. Li J., Li C., Li J. Thoracic manifestation of Wegener's granulomatosis: Computed tomography findings and analysis of misdiagnosis. *Exp. Ther. Med.* 2018; 16 (1): 413–419. <https://doi.org/10.3892/etm.2018.6154>
12. Tee Q.X., Wong A., Nambiar M., Lau, K.K. Granulomatosis with polyangiitis: Common and uncommon presentations. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2022; 66: 1089–1096. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.13471>
13. Systemic vasculitis: the possibilities of modern medical imaging: Textbook / Zh.V. Sheikh et al. M.: Kraft+, 2019. 172 p. (In Russian)



Для корреспонденции*: Сафонова Татьяна Дмитриевна – e-mail: safonova.td@mail.ru

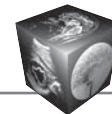
Сафонова Татьяна Дмитриевна – аспирант кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5750-7553>. E-mail: safonova.td@mail.ru

Шейх Жанна Владимировна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; врач-рентгенолог ГБУЗ “Городская клиническая больница им. С.П. Боткина ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>. E-mail: zhanna.sheikh@mail.ru

Contact*: Tatyana D. Safonova – e-mail: safonova.td@mail.ru

Tatyana D. Safonova – Postgraduate of Department of Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5750-7553>. E-mail: safonova.td@mail.ru

Zhanna V. Sheikh – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of Department of Radiology of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; Radiologist of S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>. E-mail: zhanna.sheikh@mail.ru



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1253>

Возможности КТ-ангиографии нижней брыжеечной артерии при планировании резекций левой половины толстой кишки у пациентов с колоректальным раком

© Араблинский А.В.¹, Сеурко К.И.^{1*}, Пашковская А.А.²,
Войновский А.Е.^{1,2}, Степанченко А.П.², Косенков А.Н.¹

¹ ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы "Городская клиническая больница имени С.С. Юдина ДЗ города Москвы"; 115446 Москва, Коломенский проезд, д. 7, Российская Федерация

Во время лапароскопической операции по поводу колоректального рака сосудистые структуры могут быть неправильно идентифицированы и повреждены из-за незнания вариантной анатомии нижней брыжеечной артерии (НБА), отсутствия тактильных ощущений, суженного поля зрения, что приводит к таким осложнениям, как массивное кровотечение и ишемия кишечника. Следовательно, предоперационное изучение вариантной анатомии НБА имеет первостепенное значение. Зная вариантную анатомию сосудов перед операцией, можно заранее составить план операции, что обеспечит быструю и безопасную перевязку сосудов на требуемом уровне и лимфодиссекцию.

Цель исследования: разработать классификацию вариативности НБА для практического применения при операциях по поводу колоректального рака. Оптимизировать стандартный протокол сканирования брюшной полости для повышения точности МСКТ и наилучшей визуализации НБА и ее ветвей.

Материал и методы. С февраля 2013 г. по март 2022 г. проанализировано 214 компьютерных томограмм органов брюшной полости с внутривенным контрастированием. Изучили вариантную анатомию НБА. Оптимизировали протокол сканирования органов брюшной полости с использованием напряжения трубки 100 кВ, сравнили плотность контрастирования НБА и ее ветвей при использовании стандартного и оптимизированного протоколов сканирования при ретроспективном анализе 105 КТ-исследований органов брюшной полости.

Результат. Нами была предложена классификация строения НБА и ее ветвей. Данная классификация очень важна при выполнении лимфодиссекции вдоль основного ствола НБА. Тип I – несколько толстокишечных ветвей отходили от НБА отдельными стволами (54%); тип II – все толстокишечные ветви отходят от НБА из одной точки в виде "гусиной лапки" (25%); тип III – от НБА отходит единственный ствол, который на своем протяжении делится на толстокишечные ветви (21%).

Точность МСКТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием, которая определялась путем сравнения результатов исследований с интраоперационными данными, составила 97,9%, чувствительность метода – 95,8%, специфичность – 100%.

Использование протокола сканирования с напряжением трубки 100 кВ позволяет упростить и ускорить определение анатомического типа строения, улучшить визуализацию НБА и ее ветвей.

Заключение. КТ с 3D-реконструкцией сосудов позволяет хирургу выполнить расширенную лимфодиссекцию при колоректальном раке с минимальным риском осложнений.

Ключевые слова: КТ-ангиография, нижняя брыжеечная артерия, анатомия, лапароскопия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Араблинский А.В., Сеурко К.И., Пашковская А.А., Войновский А.Е., Степанченко А.П., Косенков А.Н. Возможности КТ-ангиографии нижней брыжеечной артерии при планировании резекций левой половины толстой кишки у пациентов с колоректальным раком. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 71–84. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1253>

Поступила в редакцию: 19.08.2022.

Принята к печати: 20.02.2023.

Опубликована online: 6.04.2023.



Possibilities of CT angiography of the inferior mesenteric artery in planning resections of the left half of the colon in patients with colorectal cancer

© Andrey V. Arablinskii¹, Kirill I. Seurko^{1*}, Anna A. Pashkovskaia²,
Aleksandr E. Voynovskiy^{1, 2}, Andrei P. Stepanchenko², Aleksandr N. Kosenkov¹

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow 119991, Russian Federation

² S.S. Yudin City Clinical Hospital; 7, Kolomensky pr., Moscow 115446, Russian Federation

During laparoscopic surgery for colorectal cancer, vascular structures may be incorrectly identified and damaged due to ignorance of the variant anatomy of the inferior mesenteric artery (IMA), lack of tactile sensations, narrowed field of vision, which leads to complications such as massive bleeding and intestinal ischemia. Therefore, the preoperative study of the variant anatomy of the IMA is of paramount importance. Knowing the variant anatomy of the vessels before surgery, you can make an operation plan in advance, which will ensure fast and safe vascular ligation at the required level and lymph dissection.

Aim: To develop a classification of IMA variability for practical use in operations for colorectal cancer. Optimize the standard abdominal scanning protocol to improve the accuracy of MSCT and the best visualization of the IMA and its branches.

Material and methods. From February 2013 to March 2022, 214 computed tomograms (CT) of abdominal organs with intravenous contrast were analyzed. We studied the variant anatomy of the IMA.

The abdominal cavity scanning protocol was optimized using a 100 kV tube voltage, the contrast density of the NBA and its branches was compared using standard and optimized scanning protocols during a retrospective analysis of 105 CT studies of abdominal organs.

Results. We proposed the classification of structure of the IMA and its branches. This is especially important when the safe lymph node dissection along the IMA is necessary. I type – several colonic branches derive from the IMA by independent trunks (54%); II type – all colon branches derive from the IMA in one point like a “goose paw” (25%); III type – one colon branch departs from the IMA by a single trunk; then it divides into colonic branches (21%).

The accuracy of MSCT of the abdominal organs with intravenous contrast, which was determined by comparing the results of studies with intraoperative data, was 97.9%. The sensitivity of the method is 95.8%, the specificity of the method is 100%.

The use of a scanning protocol with a tube voltage of 100 kV makes it possible to simplify and speed up the determination of the anatomical type of structure, improve the visualization of the IMA and its branches.

Conclusion. CT with 3D-reconstruction of vessels allows the surgeon to perform an extended LND for colorectal cancer with a minimal risk of complications.

Keywords: CT angiography, inferior mesenteric artery, anatomy, laparoscopy

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

For citation: Arablinskii A.V., Seurko K.I., Pashkovskaia A.A., Voynovskiy A.E., Stepanchenko A.P., Kosenkov A.N. Possibilities of CT angiography of the inferior mesenteric artery in planning resections of the left half of the colon in patients with colorectal cancer. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 71–84.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1253>

Received: 19.08.2022.

Accepted for publication: 20.02.2023.

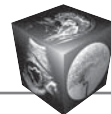
Published online: 6.04.2023.

Введение

Основным методом лечения колоректального рака является радикально выполненное хирургическое вмешательство. На сегодняшний день в лечении колоректального рака все чаще применяется миниинвазивная хирургия с лапароскопическим доступом. Лапароскопические операции на толстой кишке при колоректальном раке являются онкологически безопасными, обеспечивают

долгосрочную безрецидивную выживаемость и общую выживаемость [1–3].

В хирургической практике описаны 2 метода пересечения нижней брыжеечной артерии (НБА) при колоректальном раке: высокое лигирование, когда пересекают НБА сразу же в области основания, и низкое лигирование, когда НБА пересекают дистальнее левой ободочной артерии [4, 5]. Высокое лигирование упрощает удаление пара-



аортальных лимфатических узлов и делает левую половину ободочной кишки более подвижной. Низкое лигирование позволяет сохранить хорошее кровоснабжения кишки и избежать ишемии в проксимальной части ободочной кишки и в месте анастомоза [6, 7]. В метаанализе [8] сообщается, что низкая перевязка НБА по сравнению с высокой перевязкой не влияет на общую выживаемость, общую смертность, скорость рецидива онкологического процесса, но в то же время при низкой перевязке снижается частота несостоятельности анастомоза, которая может быть фатальным осложнением после операции по поводу рака левой половины толстой кишки. Поэтому лучше выполнять низкую перевязку НБА со скелетизацией для сохранения адекватного кровоснабжения остающейся части толстой кишки [9, 10].

Для выполнения низкой перевязки НБА и D3-лимфодиссекции (удаление параколических, промежуточных и апикальных лимфатических узлов) необходимо выполнить лимфодиссекцию вокруг основного ствола НБА до верхней прямокишечной артерии с прецизионным пересечением сосудов брыжейки тонкой и толстой кишки на требуемом с хирургической позиции уровне [10–15]. Сообщается, что этот метод при лапароскопической хирургии занимает много времени из-за технических трудностей, разной вариантной анатомии НБА и отсутствия тактильных ощущений [16], поэтому повышается риск повреждения сосудистых структур, кровоснабжающих левую половину толстой кишки, что может привести к таким осложнениям, как массивное кровотечение и ишемия кишечника.

Можно сказать, что основной этап операции по поводу колоректального рака – это сосудистый этап. Следовательно, предоперационное изучение вариантной анатомии НБА имеет первостепенное значение. Зная вариантную анатомию сосудов перед операцией, можно заранее составить план операции, что обеспечит быструю и безопасную перевязку сосудов на требуемом уровне и лимфодиссекцию [17–21].

Основным неинвазивным методом, используемым для изучения вариантной анатомии НБА, является КТ-ангиография [22, 23].

Современные классификации вариантной анатомии НБА очень громоздки, к тому же они сложны в применении. В наиболее распространенной классификации W. Zebrowski [24] описано 8 типов ветвления НБА, однако они не имеют практической ценности для хирурга. В связи с этим оптимизация классификации вариативности сосудистой анатомии ствола НБА в сторону практической потребности врача-хирурга является важным элементом развития представленного раздела хирургии.

В России проводилось исследование по изучению вариантной анатомии чревного ствола и верхней брыжеечной артерии [26–32], но не было исследований по изучению вариативной анатомии НБА, а за рубежом подобные исследования [24, 25] не привели к значимым результатам, которые бы могли быть применимы в практике хирургов.

Кроме того, в отечественной и зарубежной литературе нам не удалось найти результатов исследований по определению точности КТ-ангиографии путем сравнения результатов КТ и интраоперационных данных.

Цель исследования

Повышение эффективности КТ-ангиографии НБА при планировании резекций левой половины толстой кишки у пациентов с колоректальным раком.

1. Изучить вариативность сосудистого русла НБА, основываясь на МСКТ с контрастированием и интраоперационных данных.

2. Разработать классификацию вариантов развития сосудистой анатомии НБА для практического применения врачом-хирургом.

3. Оценить точность МСКТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием путем сравнения результатов исследований с интраоперационными данными.

4. Оптимизировать стандартный протокол МСКТ брюшной полости для улучшения визуализации дистальных ветвей НБА.

Материал и методы

Проведен анализ пациентов со злокачественными опухолями левой половины ободочной кишки, которые проходили лечение в ГКБ им. С.С. Юдина ДЗ города Москвы с февраля 2013 г. по март 2022 г. В исследуемую группу вошло 214 пациентов (113 женщин и 101 мужчина) в возрасте от 19 лет до 91 года со злокачественными опухолями левой половины ободочной кишки. Всем пациентам была выполнена сегментарная резекция ободочной кишки с D3-лимфодиссекцией.

Критерии включения в исследования: 1) возраст пациентов от 18 до 92 лет; 2) пол мужской, женский; 3) установленный диагноз: “рак левой половины ободочной кишки” (рак селезеночного изгиба ободочной кишки, рак нисходящей ободочной кишки, рак сигмовидной кишки, рак ректосигмоидного отдела ободочной кишки); 4) наличие предоперационного КТ-исследования органов брюшной полости с внутривенным контрастированием для диагностики и планирования операции; 5) отсутствие отдаленных метастазов; 6) выполненное оперативное вмешательство в



экстренном порядке по поводу кровотечения из опухоли: сегментарная резекция ободочной кишки с ДЗ-лимфодиссекцией.

Критерии не включения в исследование: 1) возраст пациентов младше 18 и старше 92 лет; 2) отсутствие предоперационного КТ-исследования органов брюшной полости с внутривенным контрастированием; 3) выполненное плановое оперативное вмешательство: сегментарная резекция ободочной кишки с ДЗ-лимфодиссекцией.

Критерии исключения: пациенты, ранее перенесшие оперативные вмешательства в зоне бассейна нижней брыжеечной артерии и нижней брыжеечной вены.

Исследования выполнялись на 160-срезовом компьютерном томографе Aquilion Prime SP (Canon, Япония), 160-срезовом компьютерном томографе Aquilion Prime (Toshiba, Япония) и 40-срезовом компьютерном томографе Somatom Sensation (Siemens, Германия). Сканирование проводилось по стандартному четырехфазному протоколу: до введения внутривенного контрастного вещества – нативная фаза; после введения внутривенного контрастного вещества – артериальная фаза (начало сканирования выполнялось автоматически при достижении пороговой плотности 180 ед. Хаунсфилда (HU) в просвете брюшной аорты за счет использования технологии мониторинга болюса), венозно-паренхиматозная фаза (на 65-й секунде от начала введения контрастного вещества), отсроченная (через 5 мин от начала введения контрастного вещества). В качестве контрастного вещества использовались неионные йодсодержащие препараты: Йогексол (350 мг/мл), Йопромид (370 мг/мл), Йомепрол (400 мг/мл), скорость введения составила 3,5–4,0 мл/с. Объем вводимого контрастного препарата определялся в соответствии с массой тела пациента из расчета 1,0–1,5 мл на 1 кг массы тела. Для болюсного введения контрастного препарата использовался автоматический двухколбовый иньектор Stellant (MEDRAD), введение контрастного вещества сопровождалось последующим введением физиологического раствора (30–50 мл).

Стандартный протокол сканирования включал следующие параметры: напряжение трубки 120 кВ, автоматическая модуляция силы тока в зависимости от конституции человека осуществлялась в диапазоне 80–500 мА при стандартном отклонении 12,5 для толщины среза 5,0 мм; коллимация 0,5 × 80 и 1,2 × 16 при последующей реконструкции с толщиной среза 0,5–1,2 мм. Дальнейшая обработка полученных изображений для наилучшей визуализации брыжеечных артерий и вен выполнялась на рабочих станциях (Vitrea, Syngo)

с преобразованием полученных изображений в режимах мультипланарной реконструкции (MPR), проекции максимальной интенсивности (MIP) и построением трехмерных изображений Volume Rendering 3D и Global Illumination (GIR) с целью детальной оценки сосудистой архитектоники.

Поскольку исследования 214 пациентов с раком левой половины ободочной кишки, обследованных с 2013 по 2022 г., были выполнены с использованием различных компьютерных томографов, с различной коллимацией и скоростью вращения трубки, с наличием и отсутствием итеративных алгоритмов для снижения лучевой нагрузки, оценить достоверно изменение качества контрастирования после оптимизации протокола сканирования не представлялось корректным. Было принято решение об оптимизации протокола сканирования на наиболее современной системе и оценке качества контрастирования с использованием ранее применяемого стандартного и нового оптимизированного протоколов сканирования на дополнительной группе пациентов, обследованных на одном и том же компьютерном томографе (см. схему).

После оптимизации стандартного протокола исследования параметры сканирования для артериальной фазы были изменены, использована автоматическая модуляция напряжения трубки 100–120 кВ в сочетании с автоматической модуляцией силы тока в зависимости от конституции человека в диапазоне 80–500 мА при стандартном отклонении 12,5 для толщины среза 5,0 мм; коллимация 0,5 × 80 при последующей реконструкции с толщиной среза 0,5–1,0 мм. Необходимый объем контрастного препарата рассчитывался индивидуально автоматически с использованием программного обеспечения P3T Abdomen (Технология персонализированных протоколов пациентов рабочей станции Certegra, MEDRAD).

После коррекции протокола сканирования ретроспективно были проанализированы исследования 105 пациентов без патологических изменений органов брюшной полости. Среди них было 52 женщины и 53 мужчины в возрасте 19–91 года (средний возраст 56 лет) (см. таблицу). Критерием исключения было наличие любого патологического состояния, которое могло повлиять на нормальную анатомию сосудов. Из 105 исследований 53 были выполнены с напряжением трубки 120 кВ, а 52 – с напряжением трубки 100 кВ.

При постобработке полученных изображений оценивалась плотность (в HU) в просвете НБА, в проксимальном и дистальном сегментах левой ободочной артерии, сигмовидных артерий и верхней прямокишечной артерии. Было выполнено

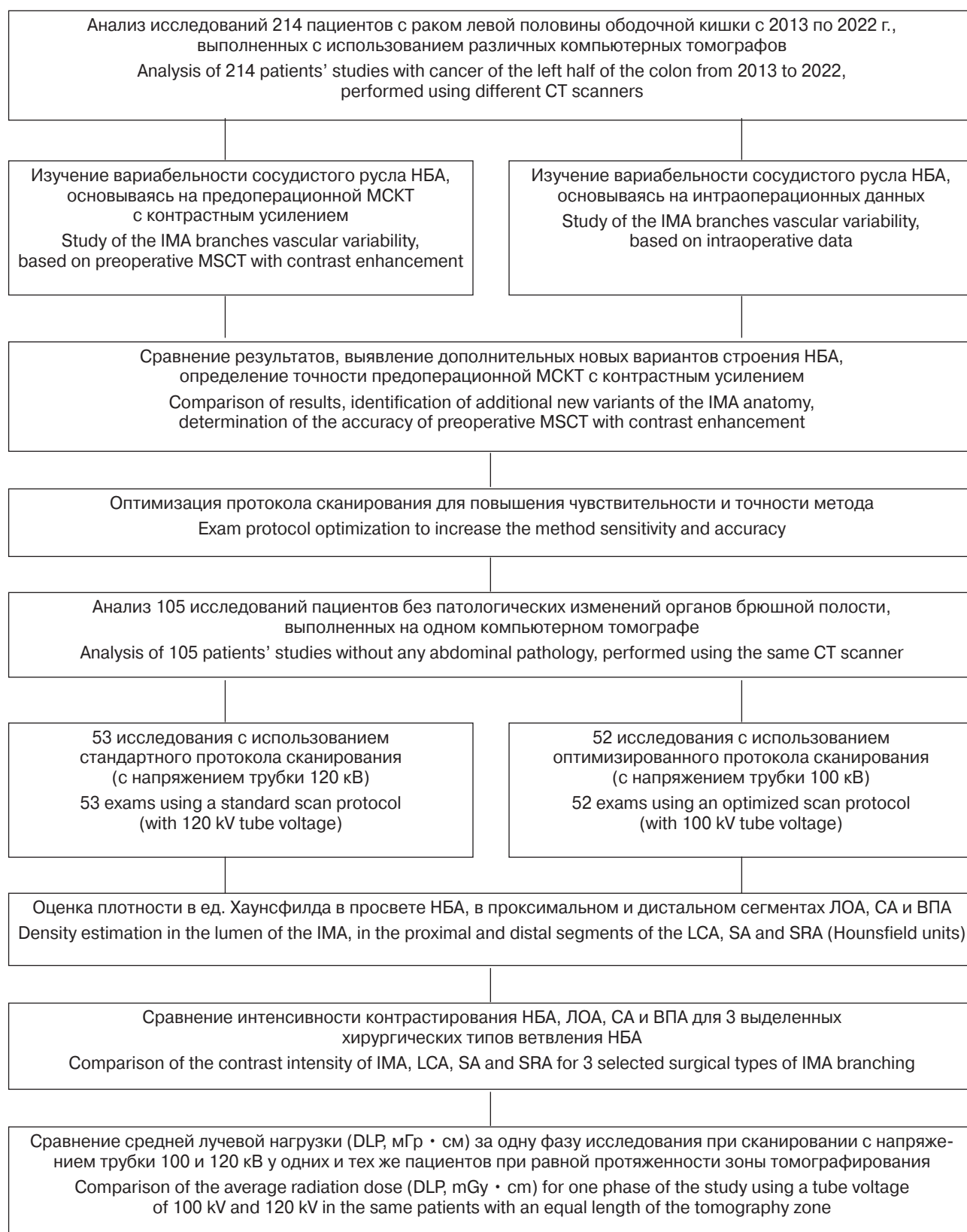
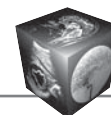


Схема 1. Схема исследования.

Diagram 1. Flow diagram.

**Таблица.** Характеристики дополнительной группы пациентов**Table.** Characteristics of an additional patient group

	Стандартный протокол (120 кВ) Standard protocol (120 kV)	Оптимизированный протокол (100 кВ) Optimized protocol (100 kV)
Всего / Total	53	52
Женщины / Women	28	24
Возраст, годы Age, years	29–85	25–91
Средний возраст, годы Mean age, years	59,71	56,92
Патологические изменения органов брюшной полости Abdominal pathology	Отсутствуют	Отсутствуют
Мужчины / Men	25	28
Возраст, годы Age, years	19–75	24–88
Средний возраст, годы Mean age, years	49,76	58,61
Патологические изменения органов брюшной полости Abdominal pathology	Отсутствуют	Отсутствуют

сравнение интенсивности контрастирования вышеуказанных артерий для 3 выделенных хирургических типов ветвления НБА при использовании стандартного протокола исследования (с напряжением 120 кВ) и оптимизированного протокола сканирования (с напряжением 100 кВ).

В нашей работе оценивалось расположение основных ветвей НБА согласно классификациям W. Zebrowski [24].

Кроме того, нами проанализирована точность метода МСКТ с помощью сравнения интраоперационных фотографий с данными предоперационных КТ-исследований.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы SPSS Statistics 22. Количественные переменные описывали с помощью медианы. Тест χ^2 и точный критерий Фишера применялись для оценки корреляции с данными пациента. Аналогичным образом для сравнения различных вариантов сосудистой анатомии были использованы непарный t-критерий и точный критерий Фишера. Различия при $p < 0,05$ считались статистически значимыми.

Результаты и их обсуждение

Помимо 8 вариантов, описанных W. Zebrowski [24], нами были обнаружены дополнительные 7 новых вариантов строения НБА, которым мы в продолжение классификации W. Zebrowski дали буквенное обозначение от I до O. Вариант I: верх-

няя прямокишечная артерия (ВПА), 2 сигмовидные артерии (СА) и левая ободочная артерия (ЛОА) отходят из одной точки. Вариант J: ВПА, СА и ЛОА отходят розеткообразно из одной точки, от ЛОА отходит одна СА. Вариант K: ВПА, СА и ЛОА отходят розеткообразно из одной точки, одна СА отходит от ЛОА, вторая – от ВПА. Вариант L: ВПА, СА и ЛОА отходят розеткообразно из одной точки, одна СА отходит от ВПА. Вариант M: от ВПА отходят 3 СА в виде “гусиной лапки”. Вариант N: ВПА, ЛОА и общий ствол с тремя СА отходят розеткообразно из одной точки. Вариант O: ЛОА отсутствует (рис. 1). Таким образом, общее количество описанных типов строения сосудов составило 15.

Данная классификация, включающая 15 типов, достаточно громоздка и неприменима в практике хирургов. С этой целью мы предложили новую классификацию, в основу которой лег принцип отхождения толстокишечных ветвей от основного ствола НБА, в которой выделено 3 хирургически значимых типа ветвления сосудов (рис. 2). Тип I: несколько толстокишечных ветвей отходят от НБА отдельными стволами; тип II: все толстокишечные ветви отходят от НБА из одной точки в виде “гусиной лапки”; тип III: от НБА отходит единственный ствол, который на своем протяжении делится на толстокишечные ветви. Согласно нашему подходу строения НБА, где выделено 3 типа ветвления сосудов, тип I встречается в 54,2% наблюдений, тип II – в 25,2%, тип III – в 20,6%.

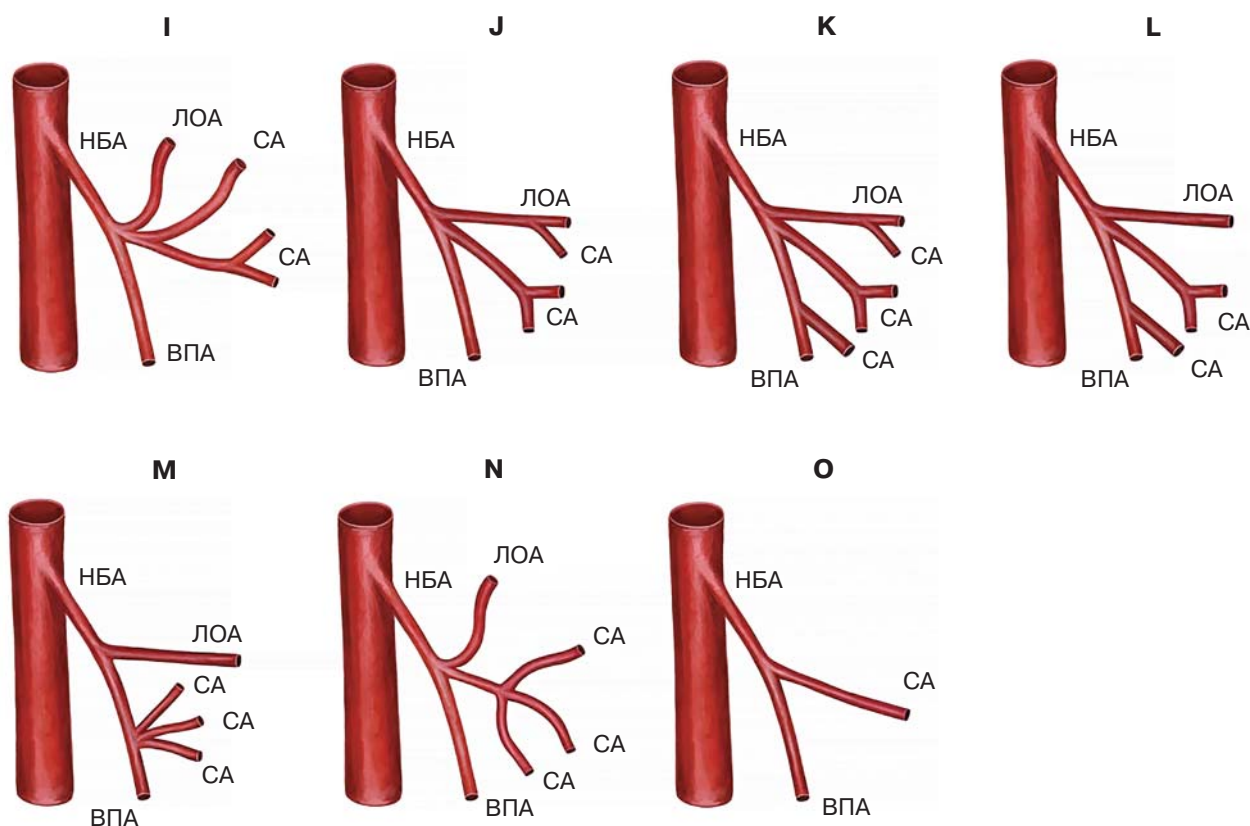
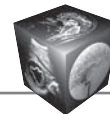


Рис. 1. Дополнительные варианты строения нижней брыжеечной артерии. НБА – нижняя брыжеечная артерия, ЛОА – левая ободочная артерия, СА – сигмовидная артерия, ВПА – верхняя прямокишечная артерия.

Fig. 1. Additional variants of the structure of the inferior mesenteric artery. НБА=IMA – inferior mesenteric artery, ЛОА=LCA – left colic artery, СА=SA – sigmoid artery, ВПА=SRA – superior rectal artery.

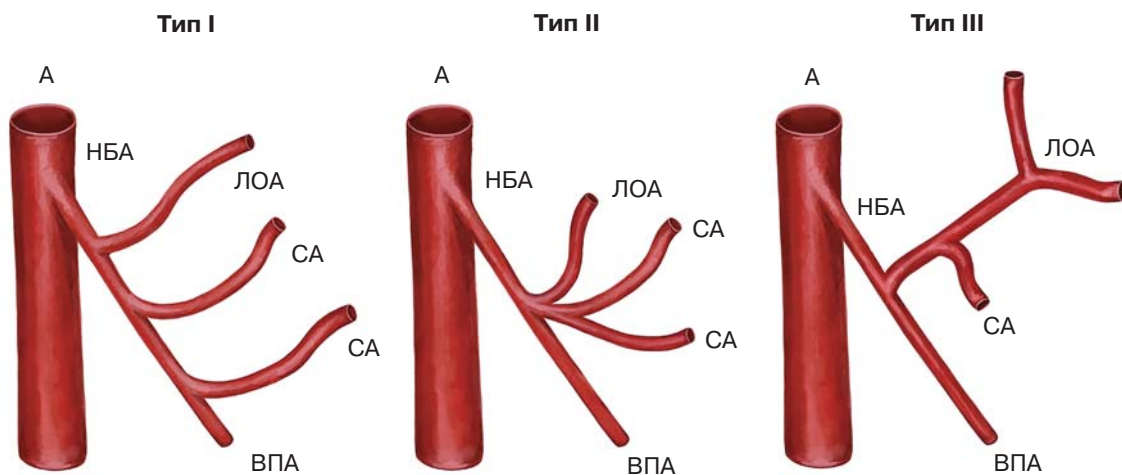


Рис. 2. Предлагаемая нами классификация строения нижней брыжеечной артерии. НБА – нижняя брыжеечная артерия, ЛОА – левая ободочная артерия, СА – сигмовидная артерия, ВПА – верхняя прямокишечная артерия.

Fig. 2. Our proposed classification of the structure of the inferior mesenteric artery. НБА=IMA – inferior mesenteric artery, ЛОА=LCA – left colic artery, СА=SA – sigmoid artery, ВПА=SRA – superior rectal artery.

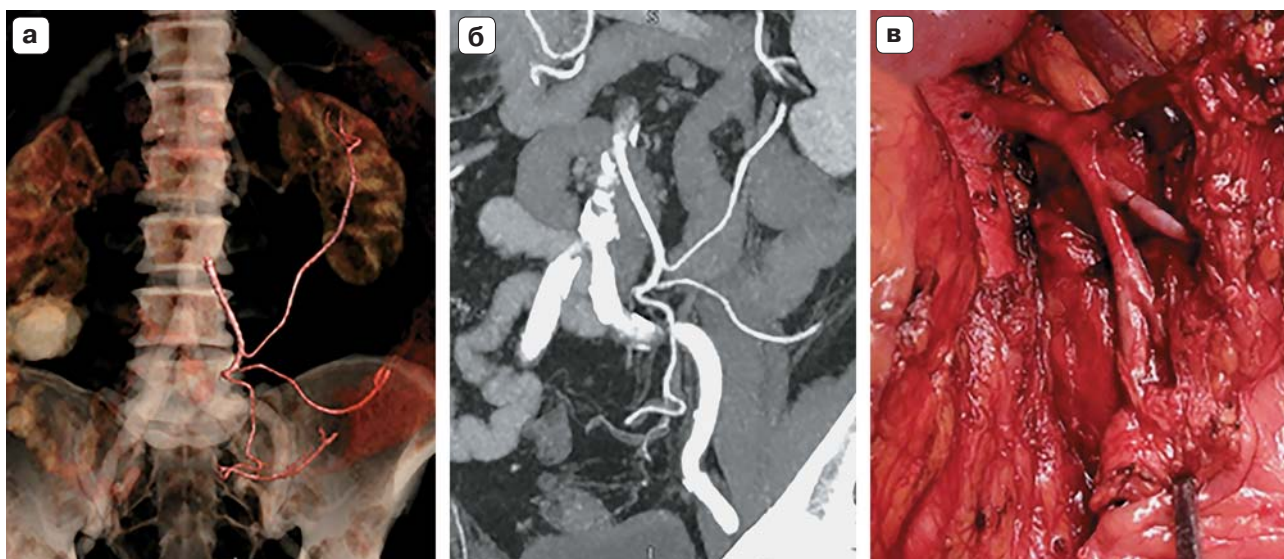


Рис. 3. Тип I предложенной нами классификации строения нижней брыжеечной артерии. Реконструкции GIR (а) и MIP КТА-изображений (б), интраоперационная фотография (в).

Fig. 3. Type I of the classification of the structure of the inferior mesenteric artery proposed by us. GIR (а) и MIP (б) reconstructions of the CTA images, intraoperative photo (в).

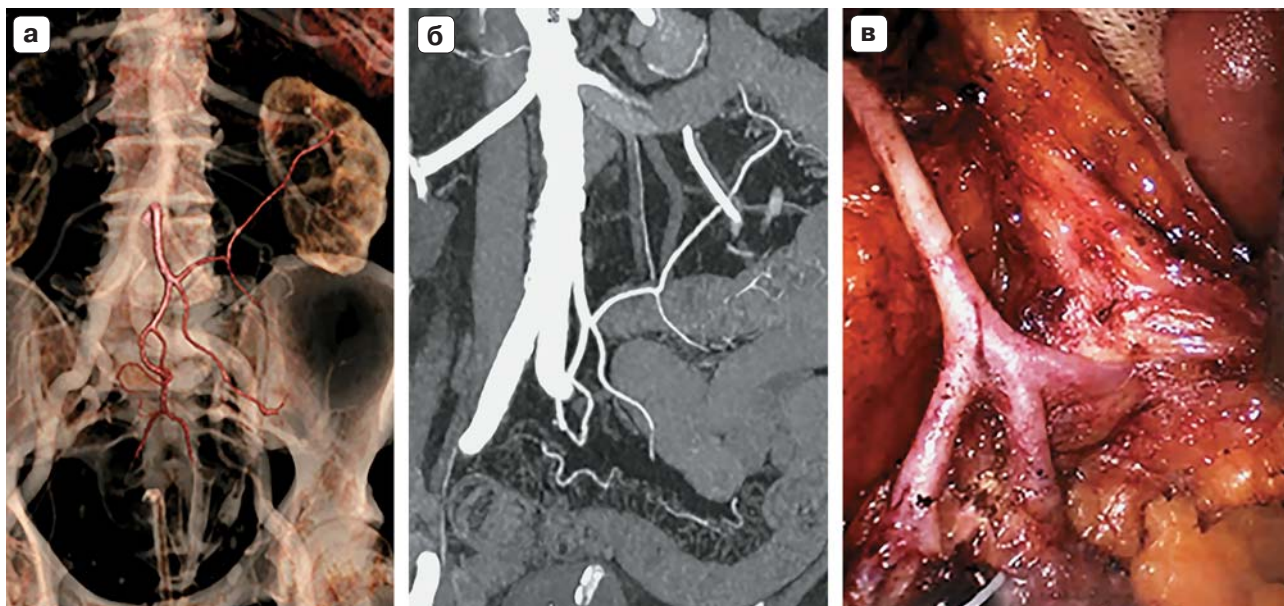


Рис. 4. Тип II предложенной нами классификации строения нижней брыжеечной артерии. Реконструкции GIR (а) и MIP КТА-изображений (б), интраоперационная фотография (в).

Fig. 4. Type II of the classification of the structure of the inferior mesenteric artery proposed by us. GIR (а) и MIP (б) reconstructions of the CTA images, intraoperative photo (в).

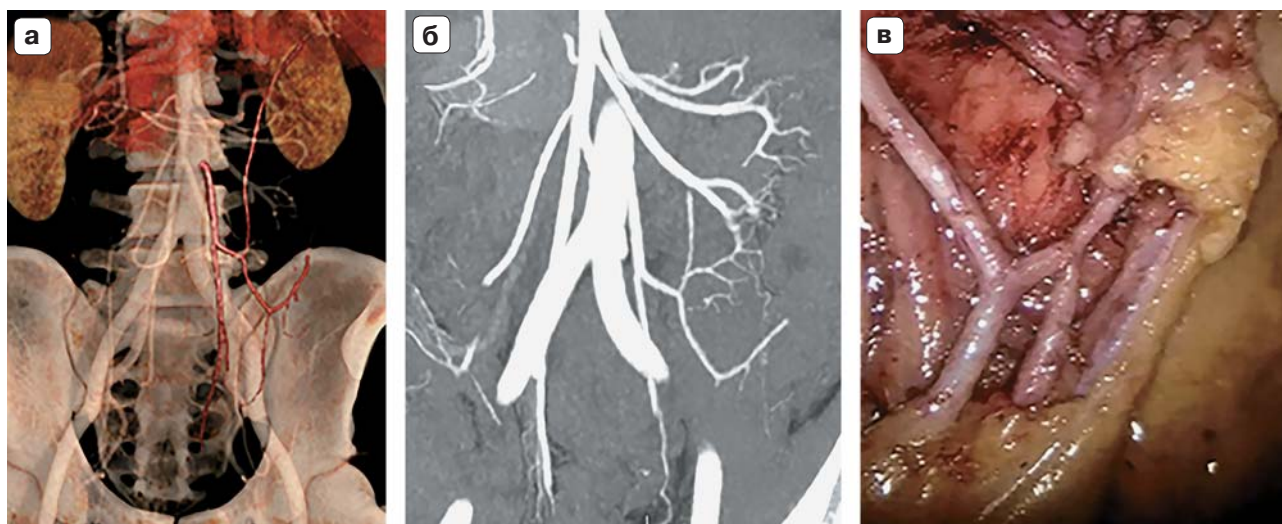
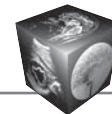


Рис. 5. Тип III новой классификации строения нижней брыжеечной артерии. Реконструкции GIR (а) и MIP КТА-изображений (б), интраоперационная фотография (в).

Fig. 5. Type III of the classification of the structure of the inferior mesenteric artery proposed by us. GIR (а) и MIP (б) reconstructions of the CTA images, intraoperative photo (в).

Кроме того, нами проанализирована точность метода МСКТ с помощью сравнения интраоперационных фотографий с данными предоперационных КТ-исследований (рис. 3–5). Из общего количества пациентов (214) у 9 присутствовала добавочная сигмовидная артерия малого калибра, которая была обнаружена только интраоперационно и не визуализировалась ранее при МСКТ, выполненной для диагностики и планирования оперативного лечения. Исследования у вышеуказанных пациентов выполнялись с напряжением трубки 120 кВ. Чувствительность метода составила 95,8% (истинно положительный показатель у 205 пациентов, ложноотрицательный показатель у 9 пациентов), специфичность – 100% (ложноположительный показатель у 0 пациентов, истинно отрицательный показатель у 214 пациентов), точность метода – 97,9%.

Вероятно, снижение чувствительности метода связано с малым диаметром ветвей сосудов, что приводило к их слабому контрастированию. Наличие дополнительной сигмовидной артерии влияло на чувствительность и точность метода соответственно вариантной анатомии по классификации W. Zebrowski [24] с дополнительными вариантами (15 типов), но не оказывало влияния на практическую классификацию, предложенную нами (3 типа).

Поскольку взаимодействие рентгеновского излучения и веществ с высокими атомными номерами характеризуется преобладанием фотоэлектрического эффекта, а йод в составе конт-

растного препарата обладает высоким атомным номером ($Z = 53$), то значения плотности вещества с большим атомным номером в HU, будут выше при снижении напряжения трубки до 100 кВ [28]. При сравнении данных исследований до и после оптимизации протокола сканирования установлено, что плотность в просвете НБА при использовании нового протокола исследования составила 398,8 (таким образом, увеличилась на 35,4%), проксимального сегмента ЛОА – 271,3 (возросла на 46,5%), дистальных сегментов ЛОА – 144,8 (возросла на 24,8%), проксимального сегмента СА – 253,8 (возросла на 43,8%), дистальных сегментов СА – 135,8 (увеличилась на 32,9%), проксимального сегмента ВПА – 295,3 (возросла на 40,6%), дистальных сегментов ВПА – 171,2 (возросла на 21,3%) (рис. 6). В исследовании зарубежных авторов B.Wintersperger и соавт. [33] проводилось сравнение данных, полученных при напряжении трубки 100 и 120 кВ, результаты которого подтвердили повышение плотности в просвете аорты при снижении напряжения трубки. Тем не менее в вышеуказанном исследовании использовалось фиксированное значение силы тока, что приводило к снижению соотношения сигнал/шум при использовании напряжения 100 кВ. Кроме того, плотность в HU оценивалась только на уровне аортосупраподвздошного сегмента, а анализ более мелких ветвей аорты в различных сегментах не проводился. В нашей работе при оптимизации протокола сканирования использовалась модуляция не только напряжения трубки, но и силы тока согласно

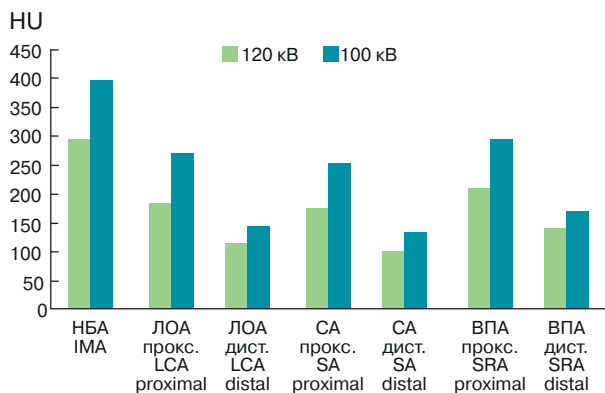


Рис. 6. Пиковое значение плотности в просвете НБА и ее ветвей при сканировании с напряжением трубки 120 и 100 кВ.

Fig. 6. Peak value of the lumen density for IMA and its branches on images acquired with a tube voltage of 120 kV and 100 kV.

индивидуальным конституциональным особенностям пациентов, что позволило получить более качественное контрастирование без значимого снижения соотношения сигнал/шум.

При сравнении контрастирования НБА, проксимальных и дистальных сегментов ЛОА, СА и ВПА для 3 выделенных нами хирургических типов ветвления НБА с использованием оптимизированного протокола сканирования наибольшая плотность в просвете НБА отмечалась при наличии ветвления II типа и составила 411,5 HU, в просвете проксимального сегмента ЛОА – при III типе ветвления и составила 295,5 HU, в дистальных сегментах ЛОА при II типе ветвления – 147,9 HU, в проксимальном сегменте СА при II типе ветвления – 296,4 HU, в дистальных сегментах СА при II типе ветвления – 147,4 HU, в проксимальном сегменте ВПА – 319,8 HU, в дистальном сегменте при I типе – 173,7 HU (рис. 7). Y. Lifeng и соавт. [34] анализировали использование автоматической модуляции напряжения трубки и силы тока применимо к абдоминальной визуализации, но не оценивали артерии бассейна НБА, а также не учитывали вариантную сосудистую анатомию. Кроме того, качество полученных изображений оценивалось по параметрам резкости, шума, наличию артефактов и достоверности диагностики согласно критериям по трех- и четырехбалльной шкале. В нашей работе было выявлено влияние вариантной анатомии на качество контрастирования ветвей НБА. В работе J. Ke и соавт. [17] исследовалось применение 3D-КТ-ангиографии для предоперационной оценки вариантной анатомии НБА и ЛОА, но не проводилось сравнение с интраоперационными

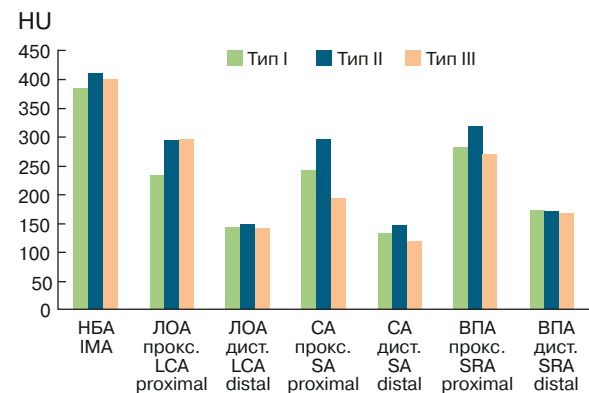


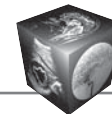
Рис. 7. Контрастирование НБА и ее ветвей в зависимости от хирургического типа ветвления.

Fig. 7. The difference in contrast enhancement of IMA and its branches depending on the surgical type of branching.

данными, не анализировалось влияние напряжения трубки и вариантной анатомии НБА на степень их контрастирования и не оценивались дистальные сегменты ветвей НБА.

В рамках оптимизации протокола исследования брюшной полости было выполнено сравнение средней лучевой нагрузки (DLP, мГр · см) за одну фазу исследования при сканировании с напряжением трубки 100 и 120 кВ у одних и тех же пациентов при равной протяженности зоны томографирования. Средняя лучевая нагрузка за одну фазу исследования при 120 кВ составила 233,2 мГр · см, при 100 кВ – 220,2 мГр · см, таким образом, было получено снижение DLP на 5,57% при сравнении со стандартным сканированием. В исследовании D.M. Hough и соавт. [35] оценивалось использование автоматизированного выбора напряжения трубки. Были получены результаты, подтверждающие снижение лучевой нагрузки при сохранении качества диагностических изображений и соотношения сигнал/шум. Тем не менее для сравнения дозовой нагрузки при исследовании использовались данные контрольной группы пациентов аналогичного размера, отсканированных с использованием аналогичного протокола, но без использования автоматизированного выбора напряжения трубки. В нашем исследовании выполнено сравнение с данными тех же пациентов, что позволяет минимизировать погрешность измерений.

В научных публикациях [33–35] имеются данные об использовании для визуализации органов брюшной полости напряжения трубки 80 кВ, но это приводит к более значимому повышению соотношения сигнал/шум, что затрудняет визуализацию



ветвей малого калибра и оценку их контрастирования. В нашем исследовании не удалось значительно улучшить визуализацию краевой и прямых артерий ободочной кишки, возможно развивающиеся технологии диагностики, в том числе сканирование с толщиной среза менее 0,5 мм и использование двухэнергетических технологий сканирования, в будущем позволят добиться лучших результатов, что требует дальнейшего исследования.

Кроме того, в нашем исследовании мы не оценивали влияние вариантной анатомии НБА на частоту развития ишемических изменений кишечника и несостоятельности межищечного анастомоза, тем не менее данный вопрос может быть интересен для будущих исследований.

Заключение

В результате исследования было выявлено 15 типов вариантной анатомии НБА, но данная классификация достаточно громоздка и неприменима в практике хирургов. С этой целью мы предложили новую классификацию, в основу которой лег принцип отхождения толстокишечных ветвей от основного ствола НБА, в которой выделено 3 хирургически значимых типа ветвления сосудов. Наиболее частым вариантом ветвления НБА является тип I.

Из общего количества пациентов (214) у 9 присутствовала добавочная сигмовидная артерия малого калибра, которая была обнаружена только интраоперационно и не визуализировалась ранее при МСКТ, выполненной для диагностики и планирования оперативного лечения. Чувствительность метода – 95,8% (истинно положительный показатель у 205 пациентов, ложноотрицательный показатель у 9 пациентов), специфичность – 100% (ложноположительный показатель у 0 пациентов, истинноотрицательный показатель у 214 пациентов). Точность метода составила 97,9%.

Вероятно, снижение чувствительности метода связано с малым диаметром ветвей сосудов, что приводило к их слабому контрастированию. Наличие дополнительной сигмовидной артерии влияло на чувствительность и точность метода соответственно вариантной анатомии по классификации W. Zebrowski [24] с дополнительными вариантами (15 типов), но не оказывало влияния на практическую классификацию, предложенную нами (3 типа).

Поскольку йод в составе контрастного препарата обладает высоким атомным номером ($Z = 53$), то значения плотности вещества с большим атомным номером в НУ будут выше при снижении напряжения трубки до 100 кВ, что было использовано нами для оптимизации протокола сканирова-

ния и позволило упростить, ускорить определение анатомического типа строения, улучшить визуализацию дистальных сегментов ветвей НБА.

Кроме того, оптимизация протокола сканирования позволила добиться снижения средней лучевой нагрузки (DLP, мГр·см) за одну фазу исследования на 5,57% при сравнении со стандартным сканированием.

Дополнительно при исследовании было установлено, что тип ветвления НБА оказывает влияние на степень контрастирования ее артериального русла, наилучшее контрастирование определяется преимущественно при II типе ветвления НБА.

Таким образом, КТ-ангиография позволяет четко визуализировать брыжеечные сосуды и их коллатерали, что помогает в предоперационном планировании лапароскопической операции по поводу колоректального рака.

Выводы

1. В работе изучена вариабельность сосудистого русла НБА, основываясь на МСКТ с контрастированием и интраоперационных данных, выявлено 15 типов вариантной анатомии НБА.

2. Разработана классификация вариантов развития сосудистой анатомии НБА для практического применения врачом-хирургом, в которой выделено 3 хирургически значимых типа ветвления сосудов.

3. Определена точность МСКТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием путем сравнения результатов исследований с интраоперационными данными, которая составила 97,9%. Чувствительность метода – 95,8%, специфичность – 100%.

4. Проведена оптимизация стандартного протокола МСКТ брюшной полости для улучшения визуализации дистальных ветвей НБА. Плотность в просвете НБА при использовании нового протокола исследования увеличилась на 35,4%, проксимального сегмента ЛОА – на 46,5%, дистальных сегментов ЛОА – на 24,8%, проксимального сегмента СА – на 43,8%, дистальных сегментов СА – на 32,9%, проксимального сегмента ВПА – на 40,6%, дистальных сегментов ВПА – на 21,3%.

Участие авторов

Араблинский А.В. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Сеурко К.И. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных дан-



ных, написание текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Пашковская А.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, написание текста, участие в научном дизайне.

Войновский А.Е. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Степанченко А.П. – подготовка и редактирование текста.

Косенков А.Н. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Arablinskii A.V. – text preparation and editing, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Seurko K.I. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Pashkovskaia A.A. – conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, writing text, participation in scientific design.

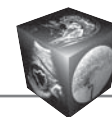
Voynovskiy A.E. – text preparation and editing, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Stepanchenko A.P. – text preparation and editing.

Kosenkov A.N. – text preparation and editing, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Trastulli S., Cirocchi R., Listorti C. et al. Laparoscopic vs open resection for rectal cancer: a meta-analysis of randomized clinical trials. *Colorectal Dis.* 2012; 14 (6): e277–96. <https://doi.org/10.1111/j.1463-1318.2012.02985.x>
2. Kellokumpu I.H., Kairaluoma M.I., Nuorva K.P. et al. Short- and long-term outcome following laparoscopic versus open resection for carcinoma of the rectum in the multimodal setting. *Dis. Colon. Rectum.* 2012; 55 (8): 854–863. <https://doi.org/10.1097/DCR.0b013e31825b9052>
3. McKay G.D., Morgan M.J., Wong S.K. et al.; South Western Sydney Colorectal Tumor Group. Improved short-term outcomes of laparoscopic versus open resection for colon and rectal cancer in an area health service: a multicenter study. *Dis. Colon Rectum.* 2014; 55 (1): 42–50. <https://doi.org/10.1097/DCR.0b013e318239341f>
4. Zeng S., Wu W., Zhang X. et al. The significance of anatomical variation of the inferior mesenteric artery and its branches for laparoscopic radical resection of colorectal cancer: a review. *Wld J. Surg. Oncol.* 2022; 20 (1): 290. <https://doi.org/10.1186/s12957-022-02744-6>
5. Chen J., Wang M., Chen Y. et al. A clinical study of inferior mesenteric artery typing in laparoscopic radical resections with left colonic artery preservation of rectal cancer. *Wld J. Surg. Oncol.* 2022; 20 (1): 292. <https://doi.org/10.1186/s12957-022-02762-4>
6. Park M.G., Hur H., Min B.S. et al. Colonic ischemia following surgery for sigmoid colon and rectal cancer: a study of 10 cases and a review of the literature. *Int. J. Colorectal Dis.* 2012; 27: 671–675. <https://doi.org/10.1007/s00384-011-1372-8>
7. Tsujinaka S., Kawamura Y.J., Tan K.Y. et al. Proximal bowel necrosis after high ligation of the inferior mesenteric artery in colorectal surgery. *Scand. J. Surg.* 2012; 101 (1): 21–25. <https://doi.org/10.1177/145749691210100105>
8. Jinshui Zeng and Guoqiang Su. High ligation of the inferior mesenteric artery during sigmoid colon and rectal cancer surgery increases the risk of anastomotic leakage: a meta-analysis. *Wld J. Surg. Oncol.* 2018; 16 (1): 157. <https://doi.org/10.1186/s12957-018-1458-7>
9. Zhang W., Yuan W.T., Song J.M. Ileum interposition for low rectal anastomosis in rectal cancer surgery: is it a remedial option? *Dis. Colon Rectum.* 2015; 58: 708–709. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000000377>
10. Fan Y.C., Ning F.L., Zhang C.D., Dai D.Q. Preservation versus non-preservation of left colic artery in sigmoid and rectal cancer surgery: a meta-analysis. *Int. J. Surg.* 2018; 52: 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2018.02.054>
11. Miyamoto R., Nagai K., Kemmochi A. et al. Three-dimensional reconstruction of the vascular arrangement including the inferior mesenteric artery and left colic artery in laparoscope-assisted colorectal surgery. *Surg. Endosc.* 2016; 30 (10): 4400–4404. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4758-4>
12. Malakorn S., Sammour T., Bednarski B. et al. Three different approaches to the inferior mesenteric artery during robotic D3 lymphadenectomy for rectal cancer. *Ann. Surg. Oncol.* 2017; 24 (7): 1923. <https://doi.org/10.1245/s10434-017-5792-8>
13. Yasuda K., Kawai K., Ishihara S. et al. Level of arterial ligation in sigmoid colon and rectal cancer surgery. *Wld J. Surg. Oncol.* 2016; 14: 99. <https://doi.org/10.1186/s12957-016-0819-3>
14. Guo Y., Wang D., He L. et al. Marginal artery stump pressure in left colic artery-preserving rectal cancer surgery: a clinical trial. *ANZ J. Surg.* 2017; 87: 576–581. <https://doi.org/10.1111/ans.13032>
15. Goh N., Fong S.S., How K.Y. et al. Apical lymph node dissection of the inferior mesenteric artery. *Colorectal Dis.* 2016; 18: O206–209. <https://doi.org/10.1111/codi.13299>
16. Sekimoto M., Takemasa I., Mizushima T. et al. Laparoscopic lymph node dissection around the inferior mesenteric artery with preservation of the left colic artery. *Surg. Endosc.* 2016; 25: 861–866. <https://doi.org/10.1007/s00464-010-1284-7>
17. Ke J., Cai J., Wen X. et al. Anatomic variations of inferior mesenteric artery and left colic artery evaluated by 3-dimensional CT angiography: insights into rectal cancer surgery—a retrospective observational study. *Int. J. Surg.* 2017; 1 (41): 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2017.03.012>
18. Zhang W., Yuan W.T., Wang G.X., Song J.M. Anatomical study of the left colic artery in laparoscopic-assisted colorectal surgery. *Surg. Endosc.* 2019; 13: 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00464-019-07320-w>



19. Cirocchi R., Randolph J., Cheruiyot I. et al. Systematic review and meta-analysis of the anatomical variants of the left colic artery. *Colorectal Dis.* 2020; 22 (7): 768–778. <https://doi.org/10.1111/codi.14891>
20. Войновский А.Е., Башанкаев Б.Н., Сеурко К.И., Винокуров И.А. Новый взгляд на вариантную анатомию нижней брыжеечной артерии у пациентов с колоректальным раком. *Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал имени академика Б.В. Петровского.* 2021; 9 (3): 44–50. <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2021-9-3-44-50>
21. Войновский А.Е., Сеурко К.И. Роль вариантной анатомии левой ободочной артерии и нижней брыжеечной вены при планировании резекций левой половины толстой кишки по поводу колоректального рака. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2022; 17 (1): 36–40. https://doi.org/10.25881/20728255_2022_17_1_36
22. Hiroishi A., Yamada T., Morimoto T. et al. Three-dimensional computed tomographic angiography with computed tomographic colonography for laparoscopic colorectal surgery. *Jpn. J. Radiol.* 2018; 36 (12): 698–705. <https://doi.org/10.1007/s11604-018-0775-7>
23. Canedo-Antelo M., García-Figueiras R., Quintero-Rivera J.C. et al. Usefulness of computed tomography angiography in the preoperative workup of patients with colorectal cancer. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2022; 46 (3): 349–354. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001288>
24. Zebrowski W., Augustyniak E., Zajac S. Variation of origin and branches of the inferior mesenteric artery and its anastomoses. *Folia Morphol. (Warsz.).* 1971; 30: 510–517.
25. Wang Y., Shu W., Ouyang A. et al. The New Concept of Physiological “Riolan’s Arch” and the Reconstruction Mechanism of Pathological Riolan’s Arch After High Ligation of the Inferior Mesenteric Artery by CT Angiography-Based Small Vessel Imaging. *Front. Physiol.* 2021; 12: 641290. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.641290>
26. Selvaraj L., Sundaramurthi I. Study of Normal Branching Pattern of the Coeliac Trunk and its Variations Using CT Angiography. *J. Clin. Diagn. Res.* 2015; 9 (9): AC01-4. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12593.6523>
27. Ke J., Cai J., Wen X. et al. Anatomic variations of inferior mesenteric artery and left colic artery evaluated by 3-dimensional CT angiography: Insights into rectal cancer surgery – A retrospective observational study. *Int. J. Surg.* 2017; 41: 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2017.03.012>
28. Hounsfield G.N. Computerized transverse axial scanning (tomography): I. Description of systems. *Br. J. Radiol.* 1973; 46: 1016–1022. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-46-552-1016>
29. Кригер А.Г., Пронин Н.А., Двухжилов М.В., Горин Д.С., Павлов А.В., Кармазановский Г.Г. Хирургический взгляд на артериальную анатомию поджелудочной железы. *Анналы хирургической гепатологии.* 2021; 26 (3): 112–122. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2021-3-112-122>
30. Рубцова Н.А., Федулеев М.Н., Нерестюк Я.И., Хамидов Д.Х., Сидоров Д.В., Ложкин М.В., Каприн А.Д. Артериальное кровоснабжение печени, целиако-мезентериальный бассейн (литературный обзор). *Медицинская визуализация.* 2021; 25 (2): 74–83. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-928>
31. Старостина Н.С., Кармазановский Г.Г., Петров Р.В., Егоров В.И. Феномен включения непостоянных предсуществующих артериальных коллатералей брюшной полости по данным МСКТ как признак нерезектабельности рака поджелудочной железы. *Медицинская визуализация.* 2015; 6: 66–84. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-928>
32. Ян Цинь, Бурякина С.А., Кармазановский Г.Г., Ручкин Д.В. Ангиоархитектоника тощей кишки на опыте 30 гастропластических операций и возможности МСКТ-диагностики в предоперационном планировании объемного имплантата. *Медицинская визуализация.* 2014; 4: 22–31. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-928>
33. Wintersperger B., Jakobs T., Herzog P. et al. Aorto-iliac multidetector-row CT angiography with low kV settings: improved vessel enhancement and simultaneous reduction of radiation dose. *Eur. Radiol.* 2005; 15: 334–341. <https://doi.org/10.1007/s00330-004-2575-y>
34. Yu L., Fletcher J.G., Grant K.L. et al. Automatic selection of tube potential for radiation dose reduction in vascular and contrast-enhanced abdominopelvic CT. *Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (2): W297–306. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9610>
35. Hough D.M., Fletcher J.G., Grant K.L. et al. Lowering kilovoltage to reduce radiation dose in contrast-enhanced abdominal CT: initial assessment of a prototype automated kilovoltage selection tool. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 199 (5): 1070–1077. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.8637>



Для корреспонденции*: Сеурко Кирилл Игоревич – e-mail: kirill.seurko@yandex.ru. Тел.: +7-916-628-92-13.

Араблинский Андрей Владимирович – доктор мед. наук, 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. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>

Сеурко Кирилл Игоревич – ассистент кафедры госпитальной хирургии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5150-8793>

Пашковская Анна Александровна – врач-рентгенолог ГКБ им. С.С. Юдина ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6441-100X>.

Войновский Александр Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор кафедры госпитальной хирургии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); заведующий отделом клинико-экспертной работы ГКБ им. С.С. Юдина ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4761-5793>

Степанченко Андрей Петрович – канд. мед. наук, заведующий рентгеновского отделения ГКБ им. С.С. Юдина ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5655-2929>

Косенков Александр Николаевич – доктор мед. наук, профессор кафедры госпитальной хирургии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3754-8005>

Contact*: Kirill I. Seurko – e-mail: kirill.seurko@yandex.ru. Phone: +7-916-628-92-13.

Andrey V. Arablinskii – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>

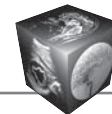
Kirill I Seurko – Assistant, Department of Hospital Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5150-8793>

Anna A. Pashkovskaia – Radiologist, S.S. Yudin City Clinical Hospital; Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6441-100X>.

Aleksandr E. Voynovski – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Department of Hospital Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); Head of the Department of Clinical and Expert Work, S.S. Yudin City Clinical Hospital; Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4761-5793>

Andrei P. Stepanchenko – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiology Department, S.S. Yudin City Clinical Hospital; Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5655-2929>

Aleksandr N. Kosenkov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Department of Hospital Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3754-8005>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1220>

Перфузионная компьютерная томография в диагностике заболеваний почек (обзор литературы)

© Ломоносова Е.В.^{1*}, Гольбиц А.Б.¹, Рубцова Н.А.¹,
Алексеев Б.Я.^{1, 2}, Каприн А.Д.^{1, 3}

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 ФГБОУ ВО “Российский биотехнологический университет”; 125080 Москва, Волоколамское шоссе, д. 11, Российская Федерация

³ Медицинский институт ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

Цель исследования: провести анализ литературных данных по использованию КТ-перфузии при заболеваниях почек и оценить дальнейшие перспективы применения методики в клинической практике.

Материал и методы. В электронных базах данных (PubMed, E-library, Web of Science, Google Scholar) был проведен поиск опубликованных исследований, оценивающих возможности применения КТ-перфузии при заболеваниях почек как неопластического, так и неопухолевого характера. В статье проанализированы результаты 40 наиболее релевантных работ российских и зарубежных исследователей, посвященных этой тематике.

Результаты. Согласно анализу полученных данных, перфузионная КТ является эффективным диагностическим инструментом в онкологии: методика позволяет неинвазивно оценить характер новообразования, в том числе дифференцировать доброкачественные узлы (ангиомиолипому с низким содержанием жира и онкоцитому) от рака почки, установить гистологический вариант почечно-клеточного рака и степень злокачественности опухоли по Fuhrman, охарактеризовать эффективность аблативных методик и системного лечения рака почки. Базируясь на корреляции данных КТ-перфузии почек и результатов различных методов определения функции органа, доказана возможность применения перфузионной КТ в качестве одного из прогностических факторов для определения тактики лечения больных с обструктивными уропатиями, аортomezентериальной компрессией, а также показан потенциал использования методики в трансплантологии как у пациентов после проведенной операции, так и при обследовании доноров.

Заключение. Несмотря на то что роль КТ-перфузии почек в различных областях урологии и нефрологии достаточно изучена, некоторые важные аспекты вероятного применения этой методики остаются недооцененными. С учетом высоких показателей заболеваемости и значимого процента локализованных форм опухолей изучение роли КТ-перфузии в планировании и оценке результатов органосохраняющего лечения рака почки может открыть новые перспективы в оптимизации хирургической тактики.

Ключевые слова: перфузионная компьютерная томография, опухоль почки, резекция почки, сосудистые заболевания почек, обструктивная уропатия, количественная оценка функции почки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Ломоносова Е.В., Гольбиц А.Б., Рубцова Н.А., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. Перфузионная компьютерная томография в диагностике заболеваний почек (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 85–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1220>

Поступила в редакцию: 19.06.2022. **Принята к печати:** 28.10.2022. **Опубликована online:** 6.04.2023.



Application of perfusion computed tomography in renal diseases (review of literature)

© Elena V. Lomonosova^{1*}, Aleksandra B. Golbits¹, Natalia A. Rubtsova¹, Boris Ya. Alekseev^{1, 2}, Andrey D. Kaprin^{1, 3}

¹ Moscow Research Oncological Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology” Ministry of Healthcare of Russia; 3, 2nd Botkinskiy pr., Moscow 125284, Russian Federation

² Russian Biotechnological University; 11, Volokolamskoye shosse, Moscow 125080, Russian Federation

³ Medical institute of The Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

Purpose. To analyze the literature data on the use of CT perfusion in kidney diseases and to assess the future prospects of using the technique in clinical practice.

Materials and methods. In electronic databases (PubMed, E-library, Web of Science, Google Scholar), a search was conducted for published studies evaluating the possibilities of using CT perfusion in both neoplastic and non-neoplastic kidney diseases. The article analyzes the results of 40 most relevant works of Russian and foreign researchers devoted to this topic.

Results. According to the analysis of the data obtained, perfusion CT is an effective diagnostic tool in oncology: the technique allows noninvasively assessing the nature of the tumour, including differentiating benign nodes (fat-poor angiomyolipoma and oncocytoma) from renal cell carcinoma; to establish the histological variant of renal cell carcinoma and Fuhrman grade, to characterize the effectiveness of ablative techniques and systemic treatment of renal cell carcinoma. Based on the correlation of CT kidney perfusion data and the results of various methods for determining organ function, the possibility of using perfusion CT as one of the prognostic factors for determining the tactics of treatment of patients with obstructive uropathies, aortomesenteric compression, and also shows the potential of using the technique in transplantology both in patients after surgery and during the examination of donors.

Conclusions. Despite the fact that the role of CT kidney perfusion in various fields of urology and nephrology has been sufficiently studied, some important aspects of the likely application of this technique remain underestimated. Taking into account the high incidence rates and a significant percentage of localized forms of tumors, the study of the role of CT perfusion in planning and evaluating the results of nephron-sparing treatment of renal cell carcinoma may open up new prospects in optimizing surgical tactics.

Keywords: perfusion computed tomography, renal tumor, partial nephrectomy, vascular renal diseases, obstructive uropathy, estimated renal function

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

For citation: Lomonosova E.V., Golbits A.B., Rubtsova N.A., Alekseev B.Ya., Kaprin A.D. Application of perfusion computed tomography in renal diseases (review of literature). *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 85–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1220>

Received: 19.06.2022.

Accepted for publication: 28.10.2022.

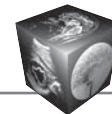
Published online: 6.04.2023.

Введение

Перфузионная компьютерная томография (ПКТ) – это неинвазивная технология, позволяющая качественно и количественно оценить состояние кровотока на уровне мелких сосудов (венул, артериол, микроциркуляторного русла).

Теоретическое обоснование возможности выполнения ПКТ, а также способ проведения исследования были предложены Л. Ахел еще в 1980 г., однако долгое время в связи с недостаточным уровнем развития диагностической техники метод не находил широкого применения в клинической практике [1]. С появлением в начале 90-х годов прошлого столетия мультиспиральных компьютерных томографов, обладающих достаточно высо-

ким временным разрешением, стало возможным и широкое распространение методики ПКТ, в основном при ишемических повреждениях головного мозга [2–8]. По мере совершенствования технологий сканирования, программного обеспечения и постпроцессинговой обработки данных ПКТ стала применяться не только в нейрорадиологии, но и в других областях диагностики. С момента внедрения в клиническую практику этой методики были исследованы особенности тканевой гемодинамики различных органов в норме и в условиях различных патологических состояний, в том числе при неопластических процессах [9–18]. В частности, в настоящее время ПКТ широко используется для характеристики патологии



почек [19–23]. ПКТ играет значительную роль в диагностике онкологических заболеваний почек, причем как для проведения дифференциальной диагностики новообразований, так и при динамическом наблюдении в случае проводимого консервативного или хирургического лечения [19, 20, 24–47]. Не меньшее значение ПКТ придается при характеристике неопухолевых патологий, например для определения функционального статуса почек при сосудистых нарушениях, обструктивных уropатиях и нефропатиях в рамках системных заболеваний, а также в диагностике отторжения аллотрансплантата и для характеристики острого ишемического повреждения почки и его исходов [19, 22–26, 48–55].

Столь широкий спектр применения ПКТ в диагностике патологических состояний почек связан с несколькими факторами. Хотя другие методы визуализации (ультразвуковое исследование (УЗИ), мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), нефросцинтиграфия) также позволяют оценить перфузию тканей, ПКТ имеет более высокое пространственное и временное разрешение по сравнению с динамической нефросцинтиграфией и возможность количественного мультипараметрического анализа состояния паренхимы в сочетании с воспроизводимостью в отличие от УЗИ и стандартной МСКТ [19, 22, 24, 25]. Методика ПКТ дает возможность единовременной оценки особенностей почечного кровотока и структурных изменений паренхимы почек за счет совмещения компьютерных томограмм и перфузионных карт. Важным преимуществом КТ-перфузии является линейная зависимость между концентрацией йода в сосудистом русле и степенью накопления контрастного препарата паренхимой, что упрощает математические вычисления по сравнению с динамическим контрастированием при МРТ [10, 11, 20, 56–58]. К достоинствам ПКТ также можно отнести скорость исследования и ее доступность при оснащении учреждений здравоохранения соответствующим оборудованием.

Абсолютных противопоказаний к ПКТ не существует, а ограничения к применению методики могут быть связаны как с характеристиками оборудования и индивидуальными особенностями пациента, например, не позволяющими провести введение контрастного вещества (КВ) с необходимой скоростью, так и с лимитирующими факторами, характерными в целом для метода МСКТ.

Основные принципы ПКТ почек

Перфузия отражает количество крови, проходящей через единицу объема ткани за единицу

времени. Фундаментальным принципом ПКТ является оценка временных изменений плотностных характеристик ткани, выраженных в единицах Хаунсфилда, после внутривенного введения йодсодержащего КВ [10–12, 28–30]. Методика позволяет объективно характеризовать кровоснабжение на уровне микроциркуляторного русла за счет измерения степени накопления КВ отдельными участками исследуемого органа, варьирующей вследствие различного объема кровотока и, соответственно, количества поступающего в ткани КВ.

Для корректного выполнения ПКТ почек с постпроцессинговой обработкой данных и, соответственно, верной оценкой микроциркуляторного русла необходимо соблюдение ряда условий.

Во-первых, требуется внутривенное введение небольшого количества КВ (оптимально 40–60 мл в зависимости от протокола сканирования) с концентрацией йода 370–400 мг/мл с достаточно высокой скоростью (4 мл/с и более) с последующим введением физиологического раствора, что в совокупности обеспечивает более выраженное контрастное усиление тканей, способствует созданию относительно постоянной концентрации КВ в сосудистом русле, а также позволяет уменьшить концентрационный градиент между интра- и экстравакулярным пространством [10, 12, 56].

Во-вторых, для получения перфузионных изображений необходимо многократное повторное сканирование одной и той же области (зоны интереса), проводимое до, во время и после введения КВ с коротким временем повтора каждой серии, что обеспечивает динамическую оценку КТ-плотности исследуемых тканей, отражающую концентрацию йодсодержащего КВ и, соответственно, его диффузию из сосудистого русла в интерстициальное пространство в течение достаточно небольших временных интервалов [12, 33, 57].

В-третьих, вследствие того, что методика чувствительна к шуму динамической нерезкости, возникающему из-за сочетания ряда обстоятельств, а именно подвижности почки при дыхательных движениях и достаточно длительного времени сканирования, что делает невозможным его проведение с задержкой дыхания, желательно максимально уменьшить смещение органа как в краниокаудальном, так и дорсовентральном направлении. Минимизация динамических артефактов достигается за счет неглубокого дыхания пациента (без увеличения частоты дыхательных движений) во время проведения исследования, а также фиксацией мягким поясом на уровне мезогастрия. Кроме того, в некоторых вариантах программного обеспечения имеются опции для нивелирования артефактов от дыхания за счет



выравнивания всех полученных срезов по отношению к задаваемому исследователем референсному уровню [10, 33, 56, 58].

Методика ПКТ почек и постпроцессинговой обработки данных

Методика выполнения ПКТ почек включает в себя следующие основные этапы вне зависимости от используемого оборудования и программного обеспечения:

1. Нативное сканирование органов брюшной полости, выполняемое с толщиной среза 5 мм с целью снижения лучевой нагрузки на пациента.

По полученным КТ-изображениям определяют границы зоны исследования при ПКТ (рис. 1), протяженность которой варьирует в зависимости

от количества детекторов компьютерного томографа (например, для 64-срезового томографа размер таргетной области составляет 40 мм, для 128-срезового – 80 мм и т.д.) [22, 23, 28, 58]. Если вследствие особенностей используемого оборудования невозможно получить перфузионные изображения почки в полном объеме, то в зависимости от цели сканирования следует выбрать оптимальную по локализации зону: например, при дифференциальной диагностике объемных образований почки – область, где размер опухоли максимален и структура гомогенна, при предоперационном планировании в случае органосохраняющего хирургического лечения – участок прилежащий к новообразованию паренхимы.

2. Динамическое сканирование выбранной зоны интереса с многократными “быстрыми” повто-

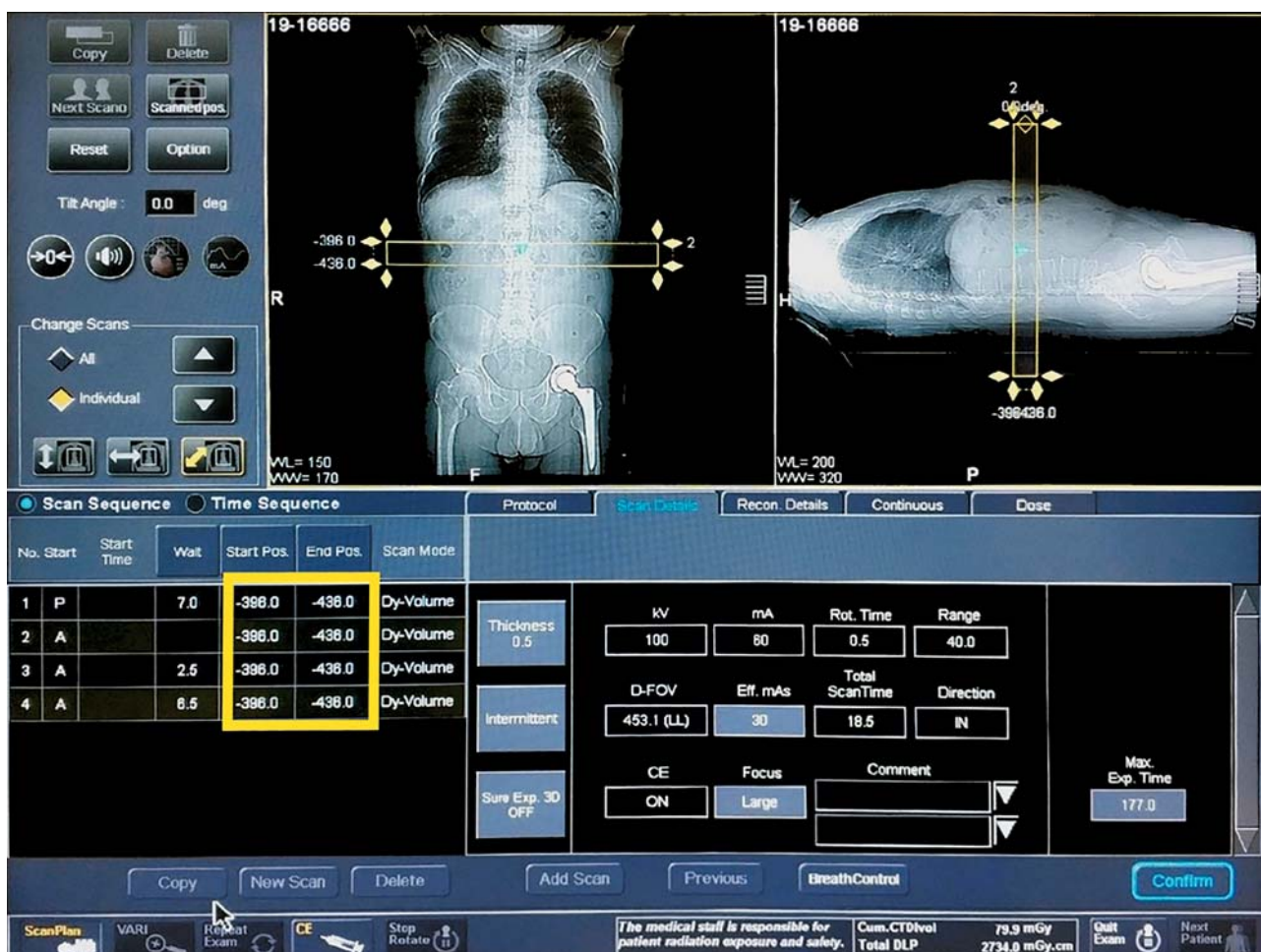


Рис. 1. Изображение экрана консоли компьютерного томографа Canon при планировании перфузионного сканирования на этапе определения зоны интереса (обозначена рамкой на топограммах), границы которой заданы интервалом срезов при нативном сканировании (выделены рамкой).

Fig. 1. The image of the console screen of the Canon CT scanner when planning perfusion scanning at the stage of determining the region of interest (indicated by a frame on topograms), the boundaries of which are set by the interval of slices during native scanning (indicated by a frame).

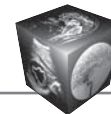


Таблица. Примеры протоколов сканирования для КТ-перфузии почек
Table. Examples of scanning protocols for CT kidney perfusion

Авторы Authors	Оборудование Equipment	Параметры сканирования для перфузионных серий Scanning parameters for perfusion series					Контрастный препарат Contrast agent		
		напряжение, кВ tube voltage, kV	сила тока, мА tube current, mA	матрица, пиксели matrix, pixels	время одного оборота трубки, с gantry rotation time, s	длительность сканиро- вания, с scan duration, s	концентрация йода, мг/мл iodine concentration, mg/ml	количество, мл quantity, ml	скорость введения, мл/с flow rate, ml/s
F. Mazzei, M. Mazzei, N. Squitieri et al.	Discovery 750 HD, GE Healthcare	100	80	512 × 512	0,4	60	400	100	5
E. Squillaci, G. Manenti, C.Ciccio et al.	LightSpeed VCT, GE Healthcare	100	70	512 × 512	0,5	65	370	80	4
C. Chen, Q. Kang, B.Xu et al.	Aquilion One, Toshiba Medical Systems	120	300	512 × 512	0,5	79	370	30–40	5,5–6,5
A. Vehabovic-Delic, M. Balic, C. Rossmann et al.	Aquilion One, Toshiba Medical Systems	100	100	512 × 512	0,5	80	370	40–60	6–8
C. Reiner, R. Goetti, D. Eberli et al.	Somatom Definition Flash, Siemens Healthcare	100	100	512 × 512	0,5	40	370	50	5
A. Helck, M. Wessely, M. Notohamiprodjo et al.	Somatom Definition AS+, Siemens Healthcare	80	120	512 × 512	0,5	42	400	30–40	5–6

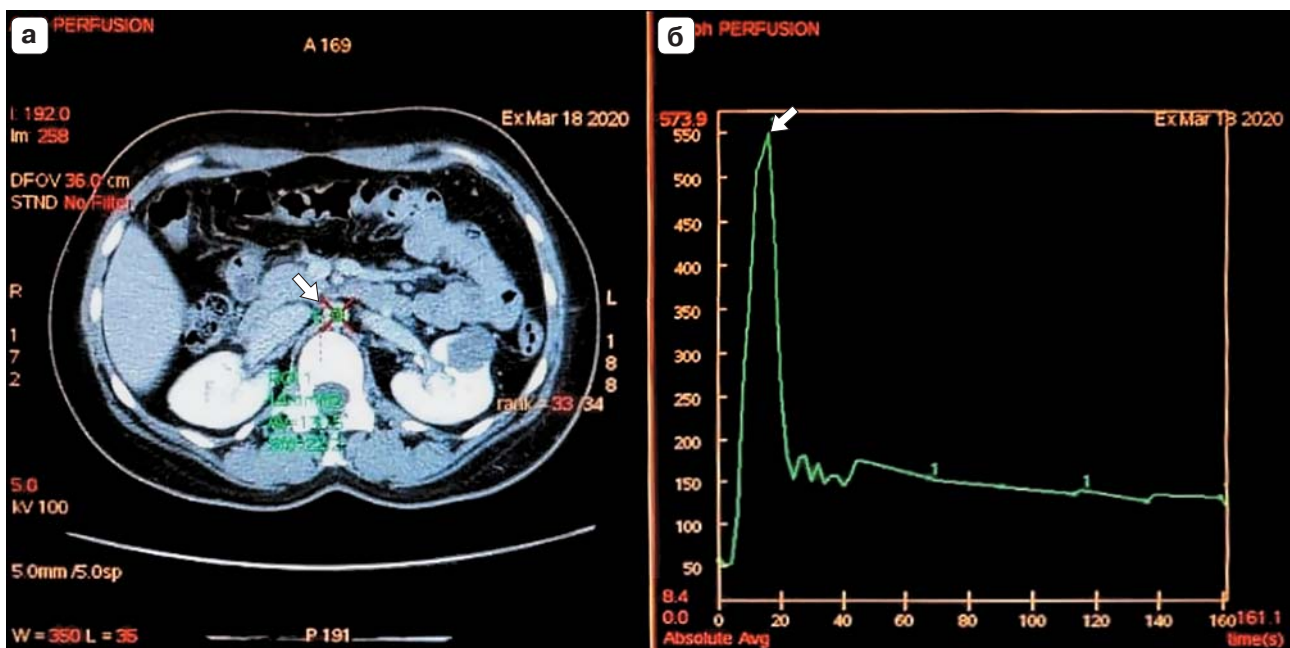


Рис. 2. Изображение экрана рабочей станции компьютерного томографа General Electrics на первом этапе постпроцессинговой обработки компьютерных томограмм. **а** – постконтрастная компьютерная томограмма брюшной полости в аксиальной проекции с выбором аорты (указана стрелкой) в качестве таргетного сосуда; **б** – график зависимости плотности в исследуемой области (просвете таргетного сосуда) от времени, прошедшего с момента введения КВ, демонстрирующий артериальный пик (указан стрелкой) после небольшого плато, что отражает корректное выполнение сканирования.

Fig. 2. Image of the screen of the General Electrics CT scanner workstation at the first stage of postprocessing of computer tomograms. **a** – post-contrast computed tomogramme of the abdomen in axial projection demonstrated the choice of the aorta (indicated by a arrow) as a target vessel; **b** – a plot of the dependence of the density in the study area (the lumen of the target vessel) on the time that has elapsed since the introduction of KA, demonstrating an arterial peak (indicated by a arrow) after a small plateau, which reflects the correct execution of the scan.

рами (не менее 18) с формированием до- и постконтрастных серий на протяжении не менее 1 мин после болюсного контрастирования. На ранней стадии (до 45 с с момента начала введения КВ) для получения изображений адекватного качества требуется высокое временное разрешение (время повтора менее 2 с), так как контрастное усиление в этой фазе связано в основном с распределением КВ внутри сосудистого русла. После, в течение интерстициальной фазы, во время которой допустима большая длительность каждой серии (5–15 с), контрастный препарат переходит в экстраваскулярный компартмент с различной скоростью, зависящей от проницаемости сосудистой стенки [22, 23, 28, 58]. Общее время сканирования, интервал и длительность каждой серии в пределах второй фазы, а также количество и скорость введения КВ зависят от используемой модели анализа [27, 58]. Примеры протоколов, применяемых при перфузионных исследованиях почек, приведены в таблице.

После завершения сканирования выполняется постпроцессинговая обработка данных.

Выделяют несколько моделей, позволяющих произвести оценку доставки КВ в микроциркуляторное русло и интерстициальное пространство анализируемой зоны: однокамерный метод наклона прямой, двухкамерная кинетическая модель Патлака и деконволюционный метод. Они основаны на различных математических вариантах постпроцессинговой обработки и зависят от оборудования и программного обеспечения [27, 56].

Постпроцессинговая обработка данных в качестве первого этапа вне зависимости от применяемой кинетической модели включает в себя оценку артериального притока за счет установления ROI на афферентный сосуд диаметром более 4–5 мм, расположенный в пределах полученных диагностических изображений [11, 12, 20, 33, 56]. При проведении ПКТ почек возможно в качестве таргетного сосуда использовать либо почечную артерию, либо в тех случаях, когда последняя находится вне зоны сканирования/имеет свободный просвет меньше рекомендуемого диаметра, брюшную аорту (рис. 2).

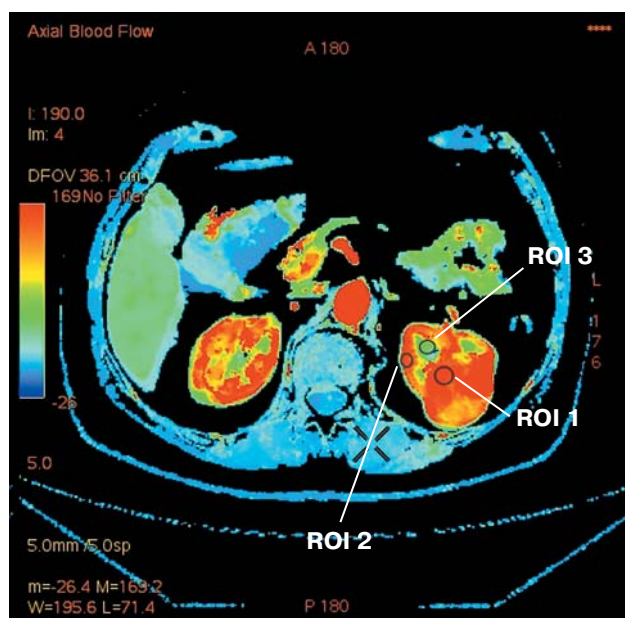
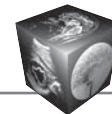


Рис. 3. Цветовая перфузионная карта показателя скорости кровотока (blood flow (BF)), полученная деконволюционным методом, у пациента с почечно-клеточным раком. Изображение демонстрирует установленные ROI: ROI 1 – гомогенный участок опухоли почки, ROI 2 – кортикальный слой паренхимы, ROI 3 – медуллярный слой паренхимы.

Fig. 3. Colour perfusion map of the blood flow (BF) obtained by deconvolution method in a patient with renal cell carcinoma. The image shows the established ROI: ROI 1 – homogeneous site of the renal tumor, ROI 2 – cortex, ROI 3 – medulla.

Следующим этапом постпроцессинговой обработки является построение цветowych карт, производящееся программным обеспечением за счет присвоению каждому пикселю полученных изображений определенного оттенка цвета, который отображает числовое значение параметра перфузии, рассчитанного для этого пикселя. Качественный анализ цветowych карт дает общее представление о распределении кровотока в пределах исследуемого объема ткани, кроме того, возможно наложение карт на собственно томографические изображения. Количественный анализ включает в себя интерпретацию числовых значений перфузионных параметров, рассчитанных с помощью специального программного обеспечения для зон в пределах назначенных ROI, обычно помещаемых на кортикальный и медуллярный слой паренхимы почек, опухолевый узел (рис. 3). Итоговое числовое значение представляет собой среднее арифметическое показателей перфузии для каждого вокселя в области интереса. Последнее обстоятельство приводит к необходимости помещения ROI в области с гомогенной

структурой для корректной оценки перфузионных параметров [9–11].

Клиническое применение в онкологии

Основой для применения ПКТ в онкологии является гипотеза, что изменения на уровне микроциркуляторного русла, происходящие в процессе неоангиогенеза, такие как расширение просвета опухолевых сосудов, нарушение ангиоархитектоники с наличием артериовенозных шунтов, повышенная проницаемость сосудистой стенки, находят отражение в особенностях васкуляризации опухолевого узла и, соответственно, его перфузионных характеристиках по сравнению с неизменной тканью почки [12, 16, 28, 31]. Эта теория подтверждена результатами значительного числа наблюдений, свидетельствующими о наличии статистически значимой разницы между значениями перфузионных показателей кортикального слоя паренхимы почки и солидных образований, за исключением онкоцитомы [28–35]. Помимо этого, имеется ряд публикаций, посвященных сопоставлению плотности микрососудов (Microvessel Density (MVD)) – “золотого стандарта” определения васкуляризации ткани – и перфузионных показателей, и демонстрирующих наличие корреляции отдельных параметров (BF и BV) с MVD [12, 28].

Таким образом, ПКТ является неинвазивным методом, объективно отражающим изменения на уровне микрососудистого русла, и перфузионные данные потенциально могут быть использованы для проведения дифференциальной диагностики образований почек в качестве одного из способов оценки эффективности таргетной терапии и аблативных процедур, прогностического фактора безрецидивной выживаемости.

Дифференциальная диагностика образований почек

С учетом того, что наиболее важным для определения лечебной стратегии у пациентов с солидными образованиями почек является установление этиологии (добро-/злокачественной) процесса, был проведен ряд исследований, посвященных возможности использования ПКТ для решения этого вопроса. Как известно, наибольшие трудности возникают при необходимости проведения дифференциальной диагностики между почечно-клеточным раком (ПКР) и доброкачественными новообразованиями, такими как онкоцитома и ангиомиолипома (АМЛ) с низким содержанием жира, поскольку данные методов медицинской визуализации, стандартно применяемых при ха-



рактеристике образований почек, в большинстве случаев, особенно при небольших размерах очага, не позволяют достоверно отличить вышеуказанные патологические формации.

Несмотря на клиническую важность этой задачи, публикации, посвященные роли ПКТ в дифференциальной диагностике малигнизированных и немалигнизированных образований, в зарубежных и отечественных базах данных немногочисленны, но при этом достаточно информативны. Так, в работах С. Chen и соавт. были сопоставлены параметры перфузии BV, BF и PS между АМЛ с низким содержанием жира и ПКР основных гистологических типов (папиллярно-клеточный (пПКР), хромофобный (хрПКР), светлоклеточный (сПКР)) [28–30]. Анализ результатов исследований свидетельствует о возможности проведения дифференциальной диагностики между вышеуказанными образованиями за счет наличия разницы значений показателя BF во всех анализируемых группах, параметра BV при сравнении АМЛ с сПКР и пПКР. Согласно данным F. Mazzei и соавт., были выявлены статистически значимые ($p < 0,001$) различия в значении показателей скорости кровотока (BF), проницаемости (PS) и среднего времени прохождения крови по сосудам (MTT) между онкоцитомой и ПКР всех гистологических вариантов [31]. Принимая во внимание тот факт, что онкоцитома зачастую характеризуется гиперваскулярным паттерном контрастирования, в этом исследовании был также проведен сравнительный анализ перфузионных параметров онкоцитомы и малигнизированных узлов с повышенным по сравнению с кортикальным слоем паренхимы накоплением KB, показавший наличие статистически достоверной разницы в значениях PS и MTT между двумя группами, при этом показатель проницаемости позиционировался как ключевой в дифференциальной диагностике образований злокачественной и доброкачественной природы [31]. По данным отечественной литературы, основным показателем, позволяющим определить природу новообразования и дифференцировать доброкачественные узлы (АМЛ, онкоцитому, лейомиому) от ПКР, является параметр MTT, значимость которого исследователи связывают с типичными для всех злокачественных процессов структурными особенностями новообразованных капилляров (большой диаметр капилляров, отсутствие вазоспазма ввиду нарушения строения стенки сосуда), не характерными для онкоцитомы и АМЛ, содержащих преимущественно неизмененные сосуды [35].

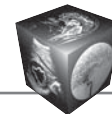
Помимо определения природы новообразований почек, не менее важными факторами, оказывающим влияние на выработку лечебной страте-

гии и имеющими прогностическое значение, является установление гистологического варианта ПКР и степени злокачественности опухоли по Fuhrman, что приобретает особую актуальность при невозможности выполнения биопсии. Данные ряда наблюдений, посвященных определению гистологического варианта ПКР с помощью оценки перфузионных параметров, свидетельствуют о статистически значимой разнице в значениях различных показателей [28–35]. В частности, результаты работы С. Chen и соавт. показывают присутствие разницы показателей скорости и объема кровотока при сопоставлении их значений в группах сПКР и пПКР и BV в паре сПКР-хПКР, в то время как данные F. Mazzei и соавт. демонстрируют значимый вклад 4 параметров (BV, BF, MTT, PS) при дифференциальной диагностике типов ПКР [28, 29, 31]. Анализ результатов немногочисленных исследований связи гистологической градации ПКР и данных ПКТ свидетельствует о наличии статистически достоверной обратной связи между значением показателя проницаемости (PS) и степени злокачественности опухоли по шкале Fuhrman [36–38].

Оценка эффективности системной терапии

Процесс неоангиогенеза является одним из ключевых факторов в развитии и прогрессировании ПКР, поэтому многие лекарственные вещества, применяемые при системном лечении рака почки, направлены именно на подавление этого патологического каскада на различных этапах за счет ингибирования соответствующих ферментов [18]. В настоящий момент оценка эффективности лечения производится в основном за счет характеристики размеров опухолевых очагов в определенные временные интервалы, производимой по системе Response Evaluation Criteria in Solid Tumours (RECIST) v.1.1. без анализа васкуляризации. Интерпретация результатов по системе RECIST с учетом того, что действие таргетных препаратов не всегда находит отражение в изменении диаметра образований, может потенциально приводить к некорректной оценке применяемой схемы лечения.

Тот факт, что, по данным ряда исследователей, высокие значения показателя скорости кровотока (BF) и низкие значения объема кровотока (BV) являются неблагоприятным прогностическим фактором, ассоциированным с меньшим сроком безрецидивной и общей выживаемости, подчеркивает целесообразность использования ПКТ в оценке эффективности лечения рака почки [39–44]. В исследованиях A. Fan и соавт. и A. Vehabovic-



Delic и соавт., направленных на изучение раннего ответа ПКР на проводимое лечение ингибиторами неоангиогенеза, было отмечено значимое снижение BF опухолевой ткани на 8-й день (A. Fan и соавт.) и на 28-й день (A. Vehabovic-Delic и соавт.) после начала терапии без значимого изменения размеров образований в обоих случаях [42, 43]. Данные L. Fournier и соавт. демонстрируют выраженное снижение показателей объема и скорости кровотока без значимого изменения МТТ после первого цикла лечения, сопровождаемое уменьшением диаметра опухолевых узлов в степени, соответствующей стабилизации процесса по системе RECIST 1.1 (уменьшение в размерах менее чем на 30% от исходного уровня) [44]. Помимо этого, исследователи отмечают, что наиболее выраженное снижение васкуляризации, отражаемое в изменении значений показателей BV и BF более чем на 50%, наблюдалось у пациентов с изначально более высоким уровнем анализируемых параметров [39–41].

Оценка эффективности аблативных методик лечения

Аблативные методики, использующиеся в качестве альтернативы хирургического лечения у пациентов с небольшими опухолями почки и наличием противопоказаний к выполнению резекции, являются малоинвазивной и достаточно результативной процедурой. Определение эффективности лечения, особенно в ранние сроки, зачастую затруднено, так как критерии ответа, основанные на динамике изменения размеров узла, не вполне достоверно отражают происходящие изменения ввиду того, что существенной разницы в диаметре образования даже при успешно проведенной процедуре может и не быть зарегистрировано. Рутинно для характеристики опухоли после проведения аблативных процедур используют УЗИ, МСКТ или МРТ с внутривенным введением КВ, однако снижение степени васкуляризации, визуализируемое при томографических исследованиях, также не всегда в полном объеме отражает истинную картину, о чем свидетельствует высокая частота ложноположительных и ложноотрицательных результатов [46]. Поэтому в качестве альтернативного способа оценки эффективности лечения потенциально может быть использована ПКТ. Анализ результатов немногочисленных исследований свидетельствует о выраженном изменении перфузионных показателей (снижении BF, BV, PS, повышении МТТ) в участках деструкции опухолевой ткани по сравнению с данными до лечения, а при их отсутствии при анализе характеристик коркового слоя почки, что коррелирует с гистоло-

гической картиной. Однако в работах, посвященных роли ПКТ в оценке эффективности аблативных процедур, освещен относительно краткий период наблюдений (6–8 мес), проанализированы данные небольшой группы пациентов, что снижает ценность полученных результатов и требует дальнейших исследований для возможности введения ПКТ в рутинную практику [46, 47].

Клиническое применение при оценке функциональных изменений паренхимы и характеристике неопухолевых заболеваний

В настоящее время для оценки функционального статуса почек наиболее широко применяются данные динамической нефросцинтиграфии и значения показателя скорости клубочковой фильтрации (СКФ) на основе уровня креатинина сыворотки крови. Последний способ обладает такими достоинствами, как скорость выполнения и невысокая стоимость, но дает возможность оценить только совместную функцию почек без определения вклада каждой из них. В отличие от лабораторной диагностики, радиоизотопный метод исследования позволяет достоверно охарактеризовать фильтрационную и экскреторную функции каждой почки, но не дает представления о точном структурном состоянии органа, что требует проведения дополнительных исследований для уточнения особенностей патологического процесса. В то же время ПКТ, объективно отражающая состояние микроциркуляторного русла, на уровне которого и происходят процессы ультрафильтрации и реабсорбции, потенциально может служить объективным методом оценки почечной функции с одновременной структурной визуализацией зоны интереса. Точная оценка кровотока и тканевой перфузии почки, учитывая первостепенный вклад этих параметров в состояние функции почек, может служить полезным индикатором при стадировании заболевания и обладать потенциальной прогностической ценностью.

Возможность применения КТ-перфузии для характеристики функционального статуса почек была изучена рядом исследователей, анализировавших соответствие данных ПКТ и различных методов определения функции органа. Так, согласно данным M. El-Diasty и соавт., проводивших раздельную оценку функциональных возможностей почек с применением ПКТ и динамической нефросцинтиграфии с ^{99m}Tc -меркаптоацетилтриглицином (МАГЗ), были получены результаты, свидетельствующие о наличии корреляции между перфузионными показателями и количественными



параметрами ренограмм [22]. Результаты исследования S. Jeong и соавт. доказывают соответствие значений СКФ, рассчитанной по данным ПКТ и определенной на основе креатинина сыворотки крови по формулам Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration (CKD-EPI) и Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) [59]. По данным разных авторов, проводивших исследования на животных моделях, была отмечена связь параметров перфузии с макроскопическими и гистологическими особенностями паренхимы почек при ишемизации, а также соответствие характеристик кровотока, выявленных при оценке распределения флуоресцентных микросфер, с перфузионными данными [51, 55]. С учетом определяющего значения состояния микроциркуляторного русла для полноценного функционирования почки данные, показывающие корреляцию почечного кровотока на уровне мелких сосудов с перфузионными показателями, также следует считать косвенным доказательством применимости ПКТ для оценки функционального статуса почки.

В клинической практике наиболее широко ПКТ применяется при тех патологических состояниях, когда именно функциональный резерв почек является основным фактором, определяющим тактику лечения (обструктивные уropатии, нефропатии в рамках системных заболеваний, аномалии сосудистого русла), а также в трансплантологии для оценки аллотрансплантата и при обследовании потенциальных доноров [22, 23, 26, 48–50, 52–54]. При этом стоит отметить, что большинством исследователей в качестве индикаторного параметра, наиболее точно отражающего кровоснабжение почки, использовалась скорость кровотока (BF) коркового вещества в связи с тем, что 90–93% объема кровотока сосредоточены именно на уровне кортикального слоя паренхимы [51–54].

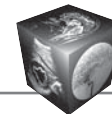
Большое внимание КТ-перфузии уделяется в диагностике обструктивных уropатий, что связано как с увеличением распространенности мочекаменной болезни, являющейся одной из основных причин гидронефроза, так и с возможностью помимо функционального статуса почки одновременно оценивать степень расширения структур чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) и характеризовать размеры и плотность конкрементов при нативном КТ-сканировании. Одним из наиболее информативных исследований перфузии почек у больных с обструктивной уropатией является работа X.-R. Cai и соавт., в которой представлен анализ перфузионных параметров пациентов с односторонней обструкцией мочеточника [23]. Полученные данные свидетельствуют о статистически значимом снижении показателей BF и BV

и BF, BV и CI коркового и мозгового вещества пораженной почки по сравнению с контралатеральной у пациентов со средней и тяжелой степенью гидронефроза, а также повышение кортикального и медуллярного BF контралатеральной почки по сравнению с аналогичными показателями у здоровых людей. Однако в исследовании не проводился анализ соотношения перфузионных параметров с данными функциональных тестов, что делает результаты малоприменимыми в клинической практике.

Тема потенциального использования КТ-перфузии у больных с обструктивной уropатией получила развитие в исследованиях К.А. Александровой и соавт., по результатам которых была доказана возможность применения ПКТ в качестве одного из прогностических факторов для определения тактики лечения больных с расширением структур мочевыводящей системы (МВС), вызванным конкрементами, а именно необходимость дренирования МВС после проведения литотрипсии в зависимости от перфузионных параметров и степени расширения ЧЛС на дооперационном этапе [48–50].

Весьма перспективным считается и применение ПКТ в диагностике функционального состояния почек при сосудистых аномалиях. В частности, согласно исследованию J. Zhong и соавт., изучавших перфузию почек у пациентов с аортомезентериальной компрессией (синдром щелкунчика), была доказана связь между степенью сдавления левой почечной вены и перфузией почечной паренхимы, определенной на основе показателя BF кортикального слоя почки, и высказано предположение о том, что признаки аномально низкой перфузии в пораженной почке могут иметь прогностическое значение для потенциальной атрофии паренхимы и служить показанием к реваскуляризации [52]. Сопоставимые результаты были продемонстрированы в публикациях, посвященных особенностям перфузии почек при одностороннем стенозе почечной артерии и тромбозе почечных вен у пациентов с нефротическим синдромом [51, 54]. По данным D. Liu и соавт., исследовавших особенности почечного кровотока при диссекции аорты, была установлена зависимость BF коркового и мозгового вещества от ряда факторов, таких как отхождение почечной артерии от истинного или ложного просвета, наличие тромбоза в месте отхождения почечной артерии [53].

ПКТ также нашла свое применение в трансплантологии, причем как в оценке структурных и функциональных особенностей почки у потенциальных доноров, так и в исследованиях пациентов с трансплантированной почкой [22, 26]. В публи-



кации А. Helck и соавт., посвященной вопросам диагностики нарушения функции аллотрансплантата, получены результаты, свидетельствующие о возможности по данным ПКТ дифференцировать острый тубулярный некроз и острое отторжение трансплантата, что позволяет выбрать корректную тактику лечения без проведения биопсии [26].

Заключение

ПКТ почек является перспективным методом оценки функционального состояния органа и прогнозирования клинических и функциональных исходов при различных заболеваниях, а также может быть использована в качестве диагностического инструмента при анализе новообразований и оценке результатов хирургического и системного лечения опухолей почек. Несмотря на то что роль ПКТ почек в различных областях урологии и нефрологии достаточно изучена, некоторые крайне важные аспекты потенциального применения этой методики остаются недооцененными. В настоящее время опубликованы единичные исследования, посвященные возможностям ПКТ при планировании органосохраняющего лечения рака почки. Однако следует отметить, что отсутствуют работы по изучению роли КТ-перфузии в выборе методики резекции почки и определении функционального статуса почки до и после хирургического лечения.

С учетом высоких показателей заболеваемости ПКР и значимого процента локализованных форм опухолей, оптимальной стратегией лечения которых является органосохраняющая операция, недостаточное количество данных в этой области может послужить поводом для инициации нового научного исследования. Изучение роли КТ-перфузии в планировании и оценке результатов органосохраняющего лечения рака почки может открыть новые перспективы в оптимизации хирургической тактики и позволит в большей мере реализовать персонифицированный подход в определении способа проведения резекции.

Участие авторов

Ломоносова Е.В. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Гольбиц А.Б. – сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Рубцова Н.А. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за це-

лостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Алексеев Б.Я. – утверждение окончательного варианта статьи.

Каприн А.Д. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Lomonosova E.V. – concept and design of the study, review of publications, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Golbits A.B. – collection and analysis of data, review of publications, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design.

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.

Alekseev B.Ya. – approval of the final version of the article.

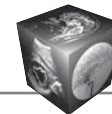
Kaprin A.D. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Axel L. Cerebral blood flow determination by rapid-sequence computed tomography: theoretical analysis. *Radiology*. 1980; 137 (3): 679–686. <http://doi.org/10.1148/radiology.137.3.7003648>
2. Koh T., Tan C., Cheong L. et al. Cerebral perfusion mapping using a robust and efficient method for deconvolution analysis of dynamic contrast-enhanced images. *Neuroimage*. 2006; 32 (2): 643–653. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.03.042>
3. Schaefer P., Roccatagliata L., Ledezma C. et al. First-pass quantitative CT perfusion identifies thresholds for salvageable penumbra in acute stroke patients treated with intra-arterial therapy. *Am. J. Neuroradiol.* 2006; 27 (1): 20–25. PMID: 16418350
4. d'Esterre C., Roversi G., Padroni M. et al. CT perfusion cerebral blood volume does not always predict infarct core in acute ischemic stroke. *Neurol. Sci.* 2015; 36 (10): 1777–1783. <http://doi.org/10.1007/s10072-015-2244-8>
5. Murphy B., Fox A., Lee D. et al. Identification of penumbra and infarct in acute ischemic stroke using computed tomography perfusion-derived blood flow and blood volume measurements. *Stroke*. 2006; 37 (7): 1771–1777. <http://doi.org/10.1161/01.STR.0000227243.96808.53>
6. Alves J., Carneiro Â., Xavier J. Reliability of CT perfusion in the evaluation of the ischaemic penumbra. *Neuroradiol. J.* 2014; 27 (1): 91–95. <http://doi.org/10.15274/NRJ-2014-10010>
7. Konig M., Banach-Planchamp R., Kraus M. et al. CT perfusion imaging in acute ischemic cerebral infarct: comparison of cerebral perfusion maps and conventional CT findings. *Rofo*. 2000; 172 (3): 219–226. German. <http://doi.org/10.1055/s-2000-120>. PMID: 10778451
8. Koenig M., Kraus M., Theek C. et al. Quantitative assessment of the ischemic brain by means of perfusion-related parameters derived from perfusion CT. *Stroke*. 2001; 32 (2): 431–437. <http://doi.org/10.1161/01.str.32.2.431>



9. Miles K., Hayball., Dixon A. Colour perfusion imaging: a new application of computed tomography. *Lancet*. 1991; 337 (8742): 643–645. [http://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)92455-b](http://doi.org/10.1016/0140-6736(91)92455-b)
10. Kambadakone A., Sahani D. Body perfusion CT: technique, clinical applications, and advances. *Radiol. Clin. N. Am.* 2009; 47 (1): 161–178. <http://doi.org/10.1016/j.rcl.2008.11.003>
11. Petralia G., Bonello L., Viotti S. et al. CT perfusion in oncology: how to do it. *Cancer Imaging*. 2010; 10 (1): 8–19. <http://doi.org/10.1102/1470-7330.2010.0001>
12. Garcia-Figueiras R., Goh V., Padhani A. et al. CT perfusion in oncologic imaging: a useful tool? *Am. J. Roentgenol*. 2013; 200 (1): 8–19. <http://doi.org/10.2214/AJR.11.8476>
13. Sitartchouk I., Roberts H., Pereira A. et al. Computed tomography perfusion using first pass methods for lung nodule characterization. *Invest. Radiol*. 2008; 43: 349–358. <http://doi.org/10.1097/RLI.0b013e3181690148>
14. Sahani D., Holalkere N., Mueller P. et al. Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue- initial experience. *Radiology*. 2007; 243: 736–743. <http://doi.org/10.1148/radiol.2433052020>
15. Rumboldt Z., Al-Okaili R., Deveikis J. Perfusion CT for head and neck tumors: pilot study. *Am. J. Neuroradiol*. 2005; 26: 1178–1785. PMID: 15891181
16. Li Y., Yang Z., Chen T., Chen H. et al. Peripheral lung carcinoma: correlation of angiogenesis and first-pass perfusion parameters of 64-detector row CT. *Lung Cancer*. 2008; 61: 44–53. <http://doi.org/10.1016/j.lungcan.2007.10.021>
17. d'Assignies G., Couvelard A., Bahrami S. et al. Pancreatic endocrine tumors: tumor blood flow assessed with perfusion CT reflects angiogenesis and correlates with prognostic factors. *Radiology*. 2008; 250: 407–16. <http://doi.org/10.1148/radiol.2501080291>
18. Feng S., Sun C., Li Z. et al. Evaluation of microvessel density and vascular endothelial growth factor in colorectal carcinoma with 64-multidetector-row CT perfusion imaging. *Zhonghua Wei Chang Wai Ke Za Zhi*. 2008; 11: 537–541. PMID: 19031129
19. Grenier N., Cornelis F., Le Bras Y. et al. Perfusion imaging in renal diseases. *Diagn. Interv. Imaging*. 2013; 94 (12): 1313–1322. <http://doi.org/10.1016/j.diii.2013.08.018>
20. Das C., Thingujam U., Panda A. et al. Perfusion computed tomography in renal cell carcinoma. *Wld J. Radiol*. 2015; 7 (7): 170–179. <http://doi.org/10.4329/wjr.v7.i7.170>
21. Prezzi D., Khan A., Goh V. Perfusion CT imaging of treatment response in oncology. *Eur. J. Radiol*. 2015; 84 (12): 2380–2385. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.03.022>
22. El-Diasty M., Gaballa G., Gad H. et al. Evaluation of CT perfusion parameters for assessment of split renal function in healthy donors. *Egypt. J. Radiol. Nuclear Med*. 2016; 47 (4): 1681–1688. <http://doi.org/10.1016/j.ejrn.2016.07.017>
23. Cai X.-R., Zhou Q.C., Yu J. et al. Assessment of renal function in patients with unilateral ureteral obstruction using whole-organ perfusion imaging with 320-detector row computed tomography. *PLoS One*. 2015; 10 (4): e0122454. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0122454>
24. Yilmaz O., Ovali G., Genc A. et al. Perfusion computed tomography could be a new tool for single-session imaging of ureteric obstructive pathology: an experimental study in rats. *J. Pediatr. Surg*. 2009; 44 (10): 1977–1983. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2009.01.072>
25. Grenier N., Merville P., Combe C. Radiologic imaging of the renal parenchyma structure and function. *Nat. Rev. Nephrol*. 2016; 12 (6): 348–359. <http://doi.org/10.1038/nrneph.2016.44>
26. Helck A., Wessely M., Notohamprojo M. et al. CT perfusion technique for assessment of early kidney allograft dysfunction: preliminary results. *Eur. Radiol*. 2013; 23 (9): 2475–2481. <http://doi.org/10.1007/s00330-013-2862-6>
27. Deniffel D., Boutelir T., Labani A. et al. Computed tomography perfusion measurements in renal lesions obtained by bayesian estimation, advanced singular-value decomposition deconvolution, maximum slope and Patlak models. *Invest. Radiol*. 2018; 53 (8): 477–485. <http://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000477>
28. Chen Y., Zhang J., Dai J. et al. Angiogenesis of renal cell carcinoma: perfusion CT findings. *Abdom. Imaging*. 2010; 35 (5): 622–628. <http://doi.org/10.1007/s00261-009-9565-0>
29. Chen C., Liu Q., Hao Q. et al. Study of 320-slice dynamic volume CT perfusion in different pathologic types of kidney tumor: preliminary results. *PLoS One*. 2014; 9 (1): e85522. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0085522>
30. Chen C., Kang Q., Xu B. et al. Fat poor angiomyolipoma differentiation from renal cell carcinoma at 320-slice dynamic volume CT perfusion. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2018; 43 (5): 1223–1230. <http://doi.org/10.1007/s00261-017-1286-1>
31. Mazzei F., Mazzei M., Cioffi Squitieri N. et al. CT perfusion in the characterisation of renal lesions: an added value to multiphasic CT. *Biomed. Res. Int*. 2014; 2014: 135013. <http://doi.org/10.1155/2014/135013>
32. Reiner C., Goetti R., Eberli D. et al. CT perfusion of renal cell carcinoma: impact of volume coverage on quantitative analysis. *Invest. Radiol*. 2012; 47 (1): 33–40. <http://doi.org/10.1097/RLI.0b013e31822598c3>
33. Reiner C., Roessle M., Thiesler T. et al. Computed tomography perfusion imaging of renal cell carcinoma: systematic comparison with histopathological angiogenic and prognostic markers. *Invest. Radiol*. 2013; 48 (4): 183–191. <http://doi.org/10.1097/RLI.0b013e31827c63a3>
34. Rosenbaum C., Wach S., Kunath F. et al. Dynamic tissue perfusion measurement: a new tool for characterizing renal perfusion in renal cell carcinoma patients. *Urol. Int*. 2013; 90 (1): 87–94. <http://doi.org/10.1159/000341262>
35. Рубцова Н.А., Гольбиц А.Б., Крянева Е.В. и др. Роль КТ-перфузии в диагностике солидных опухолей почек. *Лучевая диагностика и терапия*. 2021; 2 (12): 70–78. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-70-78>
36. Rubtsova N.A., Golbits A.B., Kryaneva E.V. et al. The role of ct-perfusion for diagnostic of solid renal tumors. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2021; 2 (12): 70–78. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-70-78> (In Russian)
37. Chen C., Kang Q., Wei Q. et al. Correlation between CT perfusion parameters and Fuhrman grade in pT1b renal cell carcinoma. *Abdom. Radiol (NY)*. 2017; 42 (5): 1464–1471. <http://doi.org/10.1007/s00261-016-1009-z>
38. Chen C., Kang Q., Xu B. et al. Differentiation of low- and high-grade clear cell renal cell carcinoma: Tumor size versus CT perfusion parameters. *Clin. Imaging*. 2017; 46: 14–19. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2017.06.010>
39. Shu J., Tang Y., Cui J. et al. Clear cell renal cell carcinoma: CT-based radiomics features for the prediction of Fuhrman



- grade. *Eur. J. Radiol.* 2018; 109: 8–12.
<http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.10.005>
39. Drljevic-Nielsen A., Rasmussen F., Mains J. et al. Baseline blood volume identified by dynamic contrast-enhanced computed tomography as a new independent prognostic factor in metastatic renal cell carcinoma. *Transl. Oncol.* 2020; 13 (10): 100829.
<http://doi.org/10.1016/j.tranon.2020.100829>
40. Mains J., Donskov F., Pedersen E. et al. Dynamic Contrast-Enhanced Computed Tomography-Derived Blood Volume and Blood Flow Correlate With Patient Outcome in Metastatic Renal Cell Carcinoma. *Invest. Radiol.* 2017; 52 (2): 103–110.
<http://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000315>
41. Mains J., Donskov F., Pedersen E. et al. Use of patient outcome endpoints to identify the best functional CT imaging parameters in metastatic renal cell carcinoma patients. *Br. J. Radiol.* 2018; 91 (1082): 20160795.
<http://doi.org/10.1259/bjr.20160795>
42. Fan A., Sundaram V., Kino A. et al. Early Changes in CT Perfusion Parameters: Primary Renal Carcinoma Versus Metastases After Treatment with Targeted Therapy. *Cancers (Basel)*. 2019; 11 (5): 608.
<http://doi.org/10.3390/cancers11050608>
43. Vehabovic-Delic A., Balic M., Rossmann C. et al. Volume Computed Tomography Perfusion Imaging: Evaluation of the Significance in Oncologic Follow-up of Metastasizing Renal Cell Carcinoma in the Early Period of Targeted Therapy – Preliminary Results. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2019; 43 (3): 493–498.
<http://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000848>
44. Fournier L., Oudard S., Thiam R. et al. Metastatic renal carcinoma: evaluation of antiangiogenic therapy with dynamic contrast-enhanced CT. *Radiology*. 2010; 256 (2): 511–518. <http://doi.org/10.1148/radiol.10091362>
45. Hudson J., Bailey C., Atri M. et al. The prognostic and predictive value of vascular response parameters measured by dynamic contrast-enhanced-CT, -MRI and -US in patients with metastatic renal cell carcinoma receiving sunitinib. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (6): 2281–2290.
<http://doi.org/10.1007/s00330-017-5220-2>
46. Nielsen T., Ostraat O., Graumann O. et al. Computed Tomography Perfusion, Magnetic Resonance Imaging, and Histopathological Findings After Laparoscopic Renal Cryoablation: An In Vivo Pig Model. *Technol. Cancer Res. Treat.* 2017; 16 (4): 406–413.
<http://doi.org/10.1177/1533034616657251>
47. Squillaci E., Manenti G., Cicciò C. et al. Perfusion-CT monitoring of cryo-ablated renal cells tumors. *J. Exp. Clin. Cancer Res.* 2009; 28 (1): 138.
<http://doi.org/10.1186/1756-9966-28-138>
48. Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И. и др. Возможности КТ-перфузии в оценке почечного кровотока у пациентов с мочекаменной болезнью. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2019; 9 (1): 108–117.
<http://doi.org/10.21569/22227415201991108117>
- Aleksandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I. et al. Opportunities of CT-perfusion in the evaluation of renal blood flow in patients with urolithiasis. *REJR*. 2019; 9 (1): 108–117. <http://doi.org/10.21569/22227415201991108117> (In Russian)
49. Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И. и др. Клиническое значение КТ-перфузии у пациентов с камнями мочеточника. *Урология*. 2019; 5: 38–43.
<http://doi.org/10.18565/urology.2019.5.38-43>
- Aleksandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I. et al. Clinical value of ct-perfusion in patients with ureteric stones. *Urologia*. 2019; 5: 38–43. <http://doi.org/10.18565/urology.2019.5.38-43> (In Russian)
50. Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И. и др. Оценка перфузии почек у больных мочекаменной болезнью с помощью методов лучевой диагностики. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018; 8 (4) 208–219.
<http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-4-208-219>
- Aleksandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I., et al. Clinical value of ct-perfusion in patients with ureteric stones. *REJR*. 2018; 8 (4) 208–219. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-4-208-219> (In Russian)
51. Zhang Z., Cen C., Qian K. et al. Assessment of the embolization effect of temperature-sensitive p(N-isopropylacrylamide-co-butyl methacrylate) nanogels in the rabbit renal artery by CT perfusion and confirmed by macroscopic examination. *Sci. Rep.* 2021; 11 (1): 4826.
<http://doi.org/10.1038/s41598-021-84372-w>
52. Zhong J., Yuan J., Chong V. et al. The clinical application of one-stop examination with 640-slice volume CT for Nutcracker syndrome. *PLoS One*. 2013; 8 (9): e74365.
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0074365>
53. Liu D., Liu J., Wen Z. et al. 320-row CT renal perfusion imaging in patients with aortic dissection: A preliminary study. *PLoS One*. 2017; 12 (2): e0171235.
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0171235>
54. Al-Said J., Kamel O. Changes in renal cortical and medullary perfusion in a patient with renal vein thrombosis. *Saudi J. Kidney Dis. Transpl.* 2010; 21 (1): 123–127. PMID: 20061706.
55. Braunagel M., Helck A., Wagner A. et al. Dynamic Contrast-Enhanced Computed Tomography: A New Diagnostic Tool to Assess Renal Perfusion After Ischemia-Reperfusion Injury in Mice: Correlation of Perfusion Deficit to Histopathologic Damage. *Invest. Radiol.* 2016; 51 (5): 316–322. <http://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000245>
56. Miles K., Griffiths M. Perfusion CT: a worthwhile enhancement? *Br. J. Radiol.* 2003; 76 (904): 220–231.
<http://doi.org/10.1259/bjr.13564625>
57. Miles K. Perfusion CT for the assessment of tumour vascularity: which protocol? *Br. J. Radiol.* 2003; 76 Spec No 1: S36–42. <http://doi.org/10.1259/bjr.18486642>
58. Гольбиц А.Б., Рубцова Н.А., Крынева Е.В. и др. КТ-перфузия почек в онкологии: учебно-методическое пособие. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России. 2020. 28 с.
Rubtsova N.A., Golbits A.B., Kryneva E.V. et al. CT perfusion of the kidneys in oncology: a teaching aid. М.: MNI OI im. P.A. Gertsena – filial FGBU “NMITS radiologii” Minzdrava Rossii. 2020. 28 p. (In Russian)
59. Jeong S., Park S., Chang I., Shin J. et al. Estimation of renal function using kidney dynamic contrast material-enhanced CT perfusion: accuracy and feasibility. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2021; 46 (5): 2045–2051.
<http://doi.org/10.1007/s00261-020-02826-7>



Для корреспонденции*: Ломоносова Елена Владимировна – тел.: +7-903-219-41-53. E-mail: elena_kryaneva@mail.ru

Ломоносова 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: elena_kryaneva@mail.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>, 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

Алексеев Борис Яковлевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>, E-mail: byalekseev@mail.ru

Каприн Андрей Дмитриевич – академик РАН, член-корр. РАО, доктор мед. наук, профессор, 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*: Elena V. Lomonosova – phone: +7-903-219-41-53. E-mail: elena_kryaneva@mail.ru

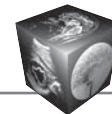
Elena V. Lomonosova – radiologist, Department of computed tomography and magnetic resonance imaging of Moscow Research Oncological Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology”, Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9474-1074>, E-mail: elena_kryaneva@mail.ru

Aleksandra B. Golbits – radiologist, Department of computed tomography and magnetic resonance imaging of Moscow Research Oncological Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology”, Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4030-3212>, E-mail: a_golbits@mail.ru

Natalia A. Rubtsova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Radiology Department of Moscow Research Oncology Institute named after P.A. Herzen – branch of “National Medical Research Center of Radiology” of the Ministry of Health of the Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>, E-mail: rna17@yandex.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, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>, E-mail: byalekseev@mail.ru

Andrey 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 oncology 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



Малый таз | Small pelvis

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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1177>

Роль ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ в посттерапевтическом мониторинге у больных раком шейки и тела матки с подозрением на прогрессирование в ранее облученных зонах

© Солодкий В.А.¹, Нуднов Н.В.^{1*}, Крейнина Ю.М.^{1,3}, Шевченко Л.Н.¹,
Каскулова М.Х.¹, Титова В.А.¹, Пронькина Е.В.², Воробьева В.О.¹

¹ ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

² ФГБУ "Поликлиника №1" Управления делами Президента Российской Федерации; 119002 Москва, пер. Сивцев Вражек, д. 26/28, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО "Приволжский исследовательский медицинский университет" Минздрава России; 603950 Нижний Новгород, ул. Минина и Пожарского, 10/1, Российская Федерация

Диагностика рецидивов опухолей шейки (РШМ) и тела матки (РТМ) в ранее облученных зонах остается сложной клинико-диагностической задачей. Диапазон возможностей и пределы метода ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ в этом вопросе недостаточно изучены.

Цель исследования: определение диагностической значимости и места ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ в алгоритмах дифференциальной диагностики локорегионарного рецидива и постлучевых изменений в ранее облученных зонах у больных РШМ и РТМ.

Материал и методы. Изучены данные динамического наблюдения, включая протоколы мультипараметрической МРТ (T1, T2ВИ, ДВИ, ДКУ) и ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ, за 51 больной РШМ (25 (49%)) и РТМ (26 (51%)) Ia–IIIc стадий, с подозрением на локорегионарный рецидив в зоне предшествовавшего облучения, через 4–96 мес после окончания лечения. Адъювантная сочетанная лучевая терапия (конформное дистанционное облучение таза – 3D-CRT, IMRT, VMAT, эндовагинальная ^{192}Ir HDR брахитерапия) проведена 33 (64,7%) оперированным больным с химиорадиомодификацией Цисплатином 40 мг/м² или Карбоплатином AUC2 еженедельно у 8 (24,2%) из них 18 (35,3%) больных РШМ получили курс радикального химиолучевого лечения, СОД_{экв} в области первичного очага (HR-CTV D90) $81,6 \pm 4,4$ Гр (CI 95% 72,4–93,7 Гр), в области метастатических лимфатических узлов – $54,6 \pm 3,3$ Гр (CI 95% 48,8–64,2 Гр).

Направление на ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ (Biograph True 64, Siemens, 3,8–4,7 МБк/кг, суммарно 169–356 МБк) явилось следствием сомнительных данных клинического, цитологического обследования, комплексного ультразвукового исследования и мультипараметрической МРТ. Любые зоны патологического захвата ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ расценивались как позитивные в отношении рецидива онкологического заболевания.

Результаты. Отсутствие данных о прогрессировании в зоне предшествовавшего облучения было подтверждено у 32 (62,7%) больных анализируемой группы. Клинико-морфологические и радиологические признаки прогрессирования были получены у 16 (31,3%) больных с положительными находками на ПЭТ-КТ, SUV_{max} 2,86 – 8,8 в очагах патологической гиперфиксации. Ложноположительными оказались результаты ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ у 6 (11,8%) больных, ложноотрицательным – у 1 (1,9%) больной РШМ. Чувствительность составила 94,1%, специфичность – 84,2%, положительная прогностическая значимость – 72,7%, отрицательная прогностическая значимость – 96,9%.

Заключение. ^{18}F -ФДГ-ПЭТ-КТ обладает высокой диагностической ценностью в дифференциальной диагностике рецидивов и постлучевых изменений в ранее облученных зонах у больных РШМ и РТМ. Трактовка данных требует междисциплинарного консилиума.

Ключевые слова: рак шейки матки, рак тела матки, ПЭТ-КТ, МРТ, лучевая терапия, брахитерапия, химиолучевое лечение, локорегионарный рецидив, чувствительность и специфичность

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Солодкий В.А., Нуднов Н.В., Крейнина Ю.М., Шевченко Л.Н., Каскулова М.Х., Титова В.А., Пронькина Е.В., Воробьева В.О. Роль ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ в посттерапевтическом мониторинге у больных раком шейки и тела матки с подозрением на прогрессирование в ранее облученных зонах. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 99–109. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1177>

Поступила в редакцию: 16.04.2022.

Принята к печати: 03.03.2023.

Опубликована online: 15.05.2023.



¹⁸F-DG PET-CT significance for post-treatment monitoring in cervical and uterine cancer patients with suspected recurrence in previously irradiated zones

© Vladimir A. Solodkiy¹, Nikolay V. Nudnov^{1*}, Yulia M. Kreynina^{1,3},
Lyudmila N. Shevchenko¹, Madina Kh. Kaskulova¹, Vera A. Titova¹,
Elena V. Pronkina², Valentina O. Vorobjeva¹

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

² Polyclinic №1 of the office of the President of the Russian Federation, 26/28, Sivtsev Vrazhek per.; Moscow 119002, Russian Federation

³ Privolzhsky Research Medical University; 10/1, Minin and Pozharsky Sq., Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation

Early detection of cervical (CC) and endometrial (EC) cancer recurrence in previously irradiated areas remains a difficult task for clinicians and radiologists. ¹⁸F-FDG PET-CT scope and limits in this matter are not clear yet.

Purpose. To determine ¹⁸F-FDG PET-CT significance and diagnostic value in differential diagnosis of loco-regional recurrence and post-radiation tissue changes in CC and EC patients with suspected relapse in pre-irradiated zones.

Materials and methods. Follow-up data, including multiparametric MRI (T1-WI, T2-WI, DWI, DCE) and ¹⁸F-FDG PET-CT full descriptions, were studied in 51 pts., in 25(49%) CC and 26 (51%) EC Ia–IIIc FIGO, with suspected loco-regional recurrence in pre-irradiated area, 4–96 months after the end of treatment.

Adjuvant combined radiotherapy (conformal pelvic EBRT – 3D-CRT, IMRT, VMAT, endovaginal ¹⁹²Ir HDR brachytherapy) was performed in 33 (64,7%) pts. after radical surgery, adjuvant chemoradiation with Cisplatin 40 mg/m² or Carboplatin AUC2 weekly – in 8 (24.2%) of them. 18 (35,3%) pts. were treated with definitive chemoradiation, median EQD2 for HR-CTV D90 81.6 ± 4.4 Gy (CI 95% 72.4 Gy – 93.7 Gy) and 54.6 ± 3.3 Gy (CI 95% 48.8–64.2 Gy) for metastatic pelvic and paraaortic lymph nodes.

Indications for ¹⁸F-FDG PET-CT (Biograph True64, Siemens, 3.8–4.7 MBq/kg, total 169–356 MBq) in all pts. were suspicious clinical, cytological, complex ultrasound, and multiparametric MRI findings in pre-irradiated zones. Any areas of ¹⁸F-FDG pathologically increased uptake were considered hypermetabolic lesions, positive for cancer recurrence.

Results. No evidence of loco-regional recurrence in pre-irradiated zones was confirmed in 32 (62.7%) pts. Clinical, morphological and radiological signs of progression were obtained in 16 (31.3%) ¹⁸F-FDG PET-CT-positive patients, with SUVmax 2.86–8.8 in this subgroup. ¹⁸F-FDG PET-CT false-positive results were obtained in 6 (11.8%) patients, false-negative – in 1 (1.9%) heavy pre-treated CC patient. ¹⁸F-FDG PET-CT sensitivity was 94.1%, specificity – 84.2%, positive predictive value – 72.7%, negative predictive value – 96.9%.

Conclusions. ¹⁸F-FDG-PET-CT has a high diagnostic value in the differential diagnosis of loco-regional relapses and post-radiation tissue changes in CC and EC patients with suspected progression in pre-irradiated zones. But ¹⁸F-FDG-PET-CT findings evaluation and interpretation requires a multidisciplinary discussion and consensus for this cohort of patients.

Keywords: cervical cancer, uterine cancer, PET-CT, MRI, radiation therapy, brachytherapy, chemo-radiation treatment, loco-regional recurrence, sensitivity and specificity

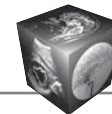
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Solodkiy V.A., Nudnov N.V., Kreynina Yu.M., Shevchenko L.N., Kaskulova M.Kh., Titova V.A., Pronkina E.V., Vorobjeva V.O. ¹⁸F-DG PET-CT significance for post-treatment monitoring in cervical and uterine cancer patients with suspected recurrence in previously irradiated zones. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 99–109. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1177>

Received: 16.04.2022.

Accepted for publication: 03.03.2023.

Published online: 15.05.2023.



Введение

Опухоли шейки и тела матки на протяжении многих десятилетий преобладают в структуре заболеваемости онкогинекологической патологией как в РФ, так и во всем мире и характеризуются одним из самых высоких коэффициентов накопления контингента. В 2021 г. в РФ было впервые выявлено 14 468 новых случаев рака шейки (РШМ), 22 951 – тела матки (РТМ); на момент окончания 2021 г. в РФ на учете состояло более 450 тыс. больных РШМ и РТМ (185 507 и 280 608 больных соответственно), из них 5 лет и более – более 300 тыс. больных (125 247 больных РШМ, 183 041 – РТМ соответственно) [1]. В РФ контингент больных РШМ и РТМ характеризуется одним из самых высоких коэффициентов накопления среди опухолей всех локализаций – 12,2 и 12,8 соответственно, что делает особенно актуальными вопросы междисциплинарной коммуникации специалистов как в период диагностики и лечения заболевания, так и в период реабилитации и дальнейшего долгосрочного наблюдения пациенток различных возрастных и нозологических групп, излеченных от онкогинекологической патологии.

При этом опухоли шейки и тела матки были и остаются одной из основных “точек приложения” лучевой терапии на всех исторических этапах ее развития и входят в стандарты адъювантного и радикального лечения у 75% больных с данной нозологией [1, 2]. Однако, несмотря на техническую и технологическую революцию в подходах к медицинской визуализации за последние два десятилетия, ранняя объективизированная дифференциальная диагностика прогрессирования опухолей шейки и тела матки и постлучевых изменений в зонах облучения остается непростой задачей.

Внедрение в широкую клиническую практику высокопрецизионных методик конформного дистанционного облучения, визуально-контролируемой брахитерапии, с 30–50% эскалацией локальных доз (по сравнению с конвенциональной гамма-терапией конца 90-х годов прошлого века) в первичной опухоли и зонах регионарного метастазирования, включая метастатически измененные лимфатические узлы таза и брюшной полости [2, 3], необходимость проведения лучевого лечения после обширных хирургических вмешательств, нередко с резекцией мочевого пузыря, мочеточника, тонкой и толстой кишки, с формированием искусственных соустьев и значительным объемом тазовой и поясничной лимфаденэктомии, все более широкое применение в онкогинекологии методик химиоэмболизации приводит к существенным изменениям топографической

и функциональной анатомии таза и брюшной полости. Это затрудняет адекватную трактовку клинических находок при применении рекомендованных рутинных методов динамического наблюдения – гинекологического осмотра, цитологического контроля и ультразвуковой оценки [4–6].

Стандартный для RECIST 1.1 метод визуализации – компьютерная томография (КТ) – при применении в онкогинекологии значительно уступает в чувствительности и специфичности другим методам визуализации, в первую очередь магнитно-резонансной томографии (МРТ) с динамическим контрастным усилением (ДКУ), в связи с ограниченными изначально возможностями рентгеновских методов в отношении мягкотканых образований [2, 7, 8].

Новым этапом и уровнем медицинской визуализации явилось, безусловно, создание и внедрение в практическое здравоохранение методик, основанных на оценке функциональной и метаболической активности тканей [6, 9, 10]. Отчасти подобную задачу способно решать дополнительное получение в ходе МРТ диффузно-взвешенных изображений (ДВИ), обеспечивающих контрастность тканей на основе молекулярной диффузии [4, 10–12]. Так, по данным, приведенным в 2017 г. С.П. Аксеновой и соавт., применение комбинации Т2ВИ, Т1ВИ, ДВИ и ДКУ значительно повышает чувствительность метода в отношении рецидива опухоли шейки/тела матки в тазу до 83,3%, специфичности – до 93,8%, точности – до 93,3% по сравнению со стандартными Т1-, Т2ВИ [4].

С конца же первого десятилетия текущего столетия в практику стремительно ворвался метод, предусматривающий симультанное использование радиоизотопного и традиционного контрастирования – позитронно-эмиссионная томография с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой, совмещенная с компьютерной томографией (^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ). Создание и внедрение ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ, разработка и производство в промышленных масштабах доступных сканеров и технологий исследований изменило не только алгоритмы первичной и уточняющей диагностики большинства онкологических заболеваний, но и позволило оптимизировать программы облучения при интеграции данных ПЭТ-КТ в системы планирования лучевого лечения [6, 9, 11, 13, 14]. Многими исследователями на большом числе наблюдений подтверждено возможное прогностическое значение различных метаболических параметров ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ – SUV_{max} (maximum standardized uptake value, максимальный стандартизованный коэффициент захвата), MTV (metabolic tumor volume, метаболический объем опухоли), TLG (total lesion glycolysis, общий



уровень гликолиза в ткани опухоли) в первичном опухолевом очаге и регионарных лимфатических узлах – для прогноза эффективности радикальной лучевой терапии у больных РШМ [8, 13–18]. Не раз была подтверждена значимость метода для полноты стадирования первичных опухолевых процессов в онкогинекологии, а также – для значимо более раннего установления прогрессирования заболевания с расширением возможностей специального лечения в случае рецидива гинекологического рака [6, 9, 14, 19–21]. Однако, включение ПЭТ-КТ в рутинные алгоритмы первичной диагностики и динамического мониторинга после лечения РШМ и РТМ сопряжено с кратным возрастанием затрат на подобную диагностику, что оказывает негативное влияние на краткосрочные медико-экономические показатели и ложится непосильным бременем на системы здравоохранения даже в экономически развитых странах [17].

Таким образом, определение диагностической значимости и места ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ в алгоритмах дифференциальной диагностики прогрессирования и постлучевых изменений у больных РШМ и РТМ повсеместно остается важной современной медико-социальной проблемой для клиницистов и организаторов здравоохранения, что и явилось **целью настоящего исследования.**

Материал и методы

Основу настоящего исследования составили материалы динамического наблюдения, включая ретроспективный анализ протоколов комплексной МРТ и ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ, за 51 больной РШМ (25 (49%) больных) и РТМ (26 (51%) больных) с подозрением на локорегионарное прогрессирование онкологического заболевания после полимодального лечения, включавшего лучевую терапию, в сроки 4–96 мес после ее окончания. Возраст больных, включенных в анализ, варьировал от 24 до 79 лет, медиана возраста составляла $47,4 \pm 3,3$ года. Распределение больных по стадиям заболе-

вания, определенным в соответствии с существующими клиническими стандартами и данными основных методов медицинской визуализации (комплексного УЗИ, комплексной МРТ таза, включавшей T1-, T2ВИ, ДВИ и ДКУ, МСКТ таза, брюшной и грудной полостей с контрастным усилением), на момент установления диагноза представлено в табл. 1.

Морфологически опухоли имели строение плоскоклеточного рака различной степени дифференцировки у 19 (37,3%) больных, аденокарциномы различного типа и степени дифференцировки – у 32 (62,7%) больных, включенных в анализ.

Противоопухолевое лечение в анализируемой группе было проведено в соответствии с действующими клиническими рекомендациями (стандартами) Минздрава России. Всем 26 (100%) больным РТМ и 8 (32%) из 25 больных РШМ был выполнен хирургический этап лечения в федеральных онкологических учреждениях Москвы или онкологических диспансерах различных регионов России в объеме Piver II–III с выполнением обширной тазовой лимфодиссекции у 26 (78,8%), тазово-поясничной лимфодиссекции до уровня почечных ножек – у 6 (18,2%) из 33 (100%) оперированных. Резекции мочевого пузыря и мочеточников с формированием неоуретероцистоанастомозов и интраоперационным стентированием мочеточников были выполнены в ходе первичного хирургического лечения у 4 (12,1%) из 33 (100%) оперированных больных анализируемой группы. В послеоперационном периоде у 28 (84,8%) из 33 оперированных больных в анализируемой группе отмечалось значительное нарушение нормальной постоперационной топографической анатомии в зоне хирургического вмешательства, в том числе наличие дополнительных объемных образований различной плотности объемом более 30 см^3 в проекции удаленных лимфатических узлов (лимфоцеле, гематомы), неоднородность структуры с участками солидных и жидкостных включений и дефор-

Таблица 1. Распределение пациенток по стадиям заболеваний FIGO-TNM на момент установления диагноза

Table 1. Initial FIGO-TNM disease stage

Стадия заболевания Initial FIGO-TNM disease stage	Заболевание / Disease	
	рак шейки матки, абс. (%) cervical cancer, n (%)	рак тела матки, абс. (%) endometrial cancer, n (%)
I a–b (rT1a–bN0M0)	6 (11,8%)	18 (35,3%)
II a–b (rT2–bN0M0)	7 (13,7%)	3 (5,9%)
III a–c (rT3a–bN0M0) (rT2a–bN1M0)	12 (23,5%)	4 (7,8%)
Всего / In whole	51 (100%)	

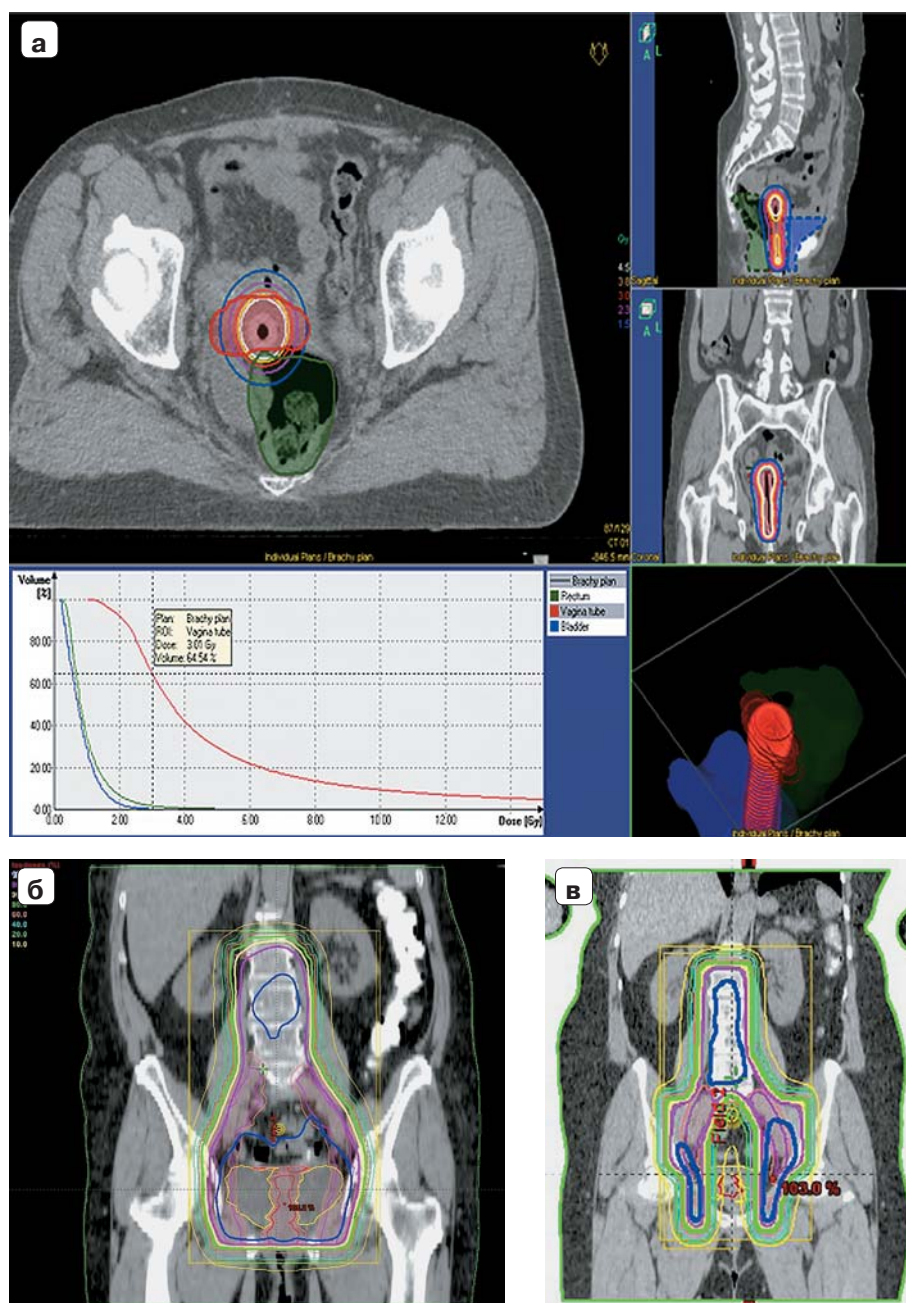
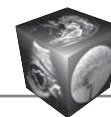


Рисунок. Адъювантная сочетанная лучевая терапия при раке шейки и тела матки: визуально-контролируемая высокодозная внутримолостная лучевая терапия с объемным планированием и оптимизацией параметров облучения (а); конформная дистанционная лучевая терапия расширенного объема на область таза с включением парааортальной области без экранирования (б) и с экранированием (в) зоны влагалища.

Figure. Adjuvant combined radiation therapy for cervical and endometrial cancer patients: image-guided HDR brachytherapy with volumetric planning and optimization of radiation parameters (a); extended-field conformal external beam radiation therapy to the pelvic and para-aortic region without shielding (b) and with shielding (v) of vagina.



мация купола культы влагалища, полностью включенных впоследствии по рекомендациям к оконтуриванию в облучаемый объем.

Лучевая терапия проводилась в 2016–2019 гг. в ФГБУ РНЦРР Минздрава России (Москва) и носила характер адъювантной сочетанной лучевой терапии у всех 33 оперированных ранее больных, дополненной симультанной химиотерапией препаратами платины (цисплатин 40 мг/м² или карбоплатин AUC2 еженедельно) в соответствии с клиническими рекомендациями Минздрава России у 8 (24,2%) из них. Адъювантное облучение предусматривало проведение конформной дистанционной лучевой терапии на линейных ускорителях электронов (ЛУЭ), оснащенных системами портальной визуализации для верификации объемов облучения и многолепестковыми коллиматорами, энергией фотонов 6–18 МэВ в режиме 3D-CRT, IMRT, VMAT, в режиме традиционного для РФ фракционирования 2 Гр, 5 фракций в неделю, на весь объем таза. У больных с верифицированными метастазами в общих подвздошных лимфатических узлах в объем облучения включали нижнюю группу парааортальных лимфатических узлов (примерно на 1 см выше предполагаемой проксимальной границы верифицированного поражения). У 4 (12,1%) из 33 оперированных с подтвержденными метастазами в поясничных лимфатических узлах объем облучения был расширен на парааортальную зону, до почечных ножек. Суммарные дозы дистанционного облучения составляли 44–50 Гр, с экранированием области влагалища, облученного ранее, в ходе внутриполостной лучевой терапии, путем закрытия лепестков коллиматора после СОД_{экв} 28–36 Гр. Внутриполостное облучение проводилось на аппарате Микроселектрон HDR с использованием источника ¹⁹²Ir высокой мощности, одноканальным или многоканальным цилиндрическим аппликатором, соответствовавшим по диаметру размеру влагалищной трубки, с предписанием РОД 3–4 Гр на основание слизистой влагалища, 5–7 сеансов ежедневно в соответствии с индексом вагинального здоровья пациентки до СОД_{экв} 23,3–25 Гр, с эскалацией дозы в области вагинального рубца до СОД_{экв} 32–38 Гр (см. рисунок). Средняя доза на основание влагалищной трубки у оперированных ранее больных анализируемой группы составила $23,7 \pm 1,2$ Гр, на прилежащие отделы влагалищного рубца – $35,5 \pm 3,4$ Гр.

У 18 (35,3%) из 51 больной анализируемой группы (у всех по поводу местнораспространенного РШМ) был проведен курс радикального химиолучевого лечения, также предусматривавший дистанционное облучение всего объема таза

и зон регионарного метастазирования на ЛУЭ энергией фотонов 6–18 МэВ в режиме 3DCRT, IMRT или RapidArc (VMAT), РОД 1,8–2 Гр, ежедневно 5 дней в неделю, до СОД 46–50 Гр, в условиях химиорадиомодификации препаратами платины (цисплатин 40 мг/м² или карбоплатин AUC2 еженедельно) в соответствии с Клиническими рекомендациями Минздрава России, с последующим внутриполостным облучением зоны первичного очага. Также протоколом лечения предусматривалась симультанная или последовательная эскалация локальных доз до 54–60 Гр в зонах увеличенных тазовых и парааортальных лимфатических узлов, расцененных как метастатические, с высоким уровнем накопления контрастных веществ на диагностических КТ-МР-сканах и оконтуренных с применением технологий совмещения изображений.

Радикальное сочетанное лучевое лечение подразумевало подведение более высоких локальных очаговых доз по сравнению с адъювантным облучением: доза от сочетанной лучевой терапии в области первичного очага (HR-CTV D90) соответствовала отечественным и международным рекомендациям GEC-ESTRO, составляла в среднем $81,6 \pm 4,4$ Гр (CI 95% 72,4–93,7 Гр). Суммарные очаговые дозы в параметральных областях и зонах лимфатических узлов составили в среднем $54,6 \pm 3,3$ Гр (CI 95% 48,8–64,2 Гр).

Распределение больных в анализируемой группе по основным методам лечения представлено в табл. 2.

У всех больных анализируемой группы с подозрением на локорегионарный рецидив онкологического заболевания направление на ¹⁸F-ФДГ ПЭТ-КТ явилось следствием сомнительных данных клинического, цитологического обследования, комплексного ультразвукового исследования и неоднозначных данных комплексной мультипараметрической МРТ, включавшей последовательности с T1ВИ, T2ВИ, ДВИ и ДКУ. В подгруппе оперированных больных наибольшие трудности вызывала трактовка обнаруженных в ходе динамического наблюдения изменений в зонах диагностированных до начала лучевой терапии лимфокист и гематом; в подгруппе больных после радикальной лучевой терапии – изменения размеров и структуры метастатически измененных лимфатических узлов, а также полиповидные образования в полости матки на фоне серометры, при полной постлучевой стриктуре цервикального канала с невозможностью его бужирования и получения материала для морфологического исследования.

ПЭТ-КТ проводилась в отделениях ядерной диагностики и ПЭТ-центрах РФ на сертифицированном оборудовании (например, гибридных

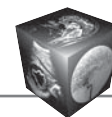


Таблица 2. Распределение пациенток по методам лечения
Table 2. Previous treatment

Вариант лечения Treatment	Заболевание / Disease	
	Рак шейки матки, абс. (%) Cervical cancer, n (%)	Рак тела матки, абс. (%) Endometrial cancer, n (%)
Комбинированный (оп+АЛТ*) Surgery+adjuvant radiotherapy	3 (5,9%)	22 (43,1%)
Комплексный (оп+АХЛТ*) Surgery+adjuvant chemoradiotherapy	5 (9,8%)	3 (5,9%)
Радикальное химиолучевое лечение Radiotherapy with concurrent chemotherapy	18 (35,3%)	–
Всего / In whole	51 (100%)	

* Оп-операция; АЛТ – адъювантная лучевая терапия; АХЛТ – адъювантная химиолучевая терапия.

сканерах Biograph True64, Siemens Medical Solutions USA Inc, Malvern, PA, USA) с внутривенным введением препарата ^{18}F -ФДГ в средней дозе 3,8–4,7 МБк/кг массы тела (общей активностью 169–356 МБк) после определения уровня глюкозы крови, креатинина и общепринятой подготовки. Любые зоны, описанные в протоколе как зоны патологического захвата ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ по сравнению с физиологическим и базовым уровнем, расценивались как позитивные в отношении рецидива онкологического заболевания вне зависимости от соответствующих изменений на КТ-сканах, фиксировались описанные в протоколах показатели SUV_{max} в этих зонах без заведомого уровня cut-off. Описания ПЭТ-КТ сравнивали с описаниями мультипараметрической МРТ. Диагноз прогрессирования заболевания, использованный как “золотой стандарт” в расчетах диагностической ценности ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ, был установлен впоследствии по результатам гистопатоморфологического исследования у 6 (11,8%) больных, у остальных – по данным клинического осмотра и медицинской визуализации в процессе последующего динамического наблюдения в течение 1–6 мес после выполнения ПЭТ-КТ.

Результаты и их обсуждение

Результаты ПЭТ-КТ по данным протоколов исследований представлены в табл. 3. Отсутствие очагов патологической гиперфиксации зафиксировано по данным ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ у 29 (56,9%) больных, очаги патологической гиперфиксации только в зоне первичной опухоли – у 6 (11,8%), только в зоне регионарных лимфатических узлов – у 6 (11,8%), только за пределами зоны облучения – у 5 (9,8%), локорегионарные очаги патологической гиперфиксации одновременно с очагами за пределами зоны облучения – у 1 (4,1%) больной анализируемой группы.

Отсутствие данных о прогрессировании было подтверждено у 32 (62,7%) больных анализируемой группы. Клинико-морфологические и радиологические признаки прогрессирования были получены у 16 (31,3%) больных со значениями SUV_{max} в очагах патологической гиперфиксации 2,86–8,8 в этой подгруппе. Ложноположительными оказались результаты ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ у 6 (11,8%) больных, из них у 2 (3,9%) – с подозрением на локальный рецидив на фоне выраженного некротически-язвенного эпителиита в шейке матки и вагинальном рубце соответственно. После интенсивной санационной и заживляющей терапии в течение 8 и 1,5 мес соответственно данных о прогрессировании не было получено. У 4 (7,8%) больных – у 2 (3,9%) с очагами гиперфиксации в объемных образованиях (лимфоцеле, гематоме) в зоне удаленных тазовых лимфатических узлов, у 1 (2%) – с эскалацией СОД_{экв} до 58 Гр в лимфатическом узле, расцененном как метастатический 1 (2%) – в зоне фрагментированного инфильтрата в брюшной полости и очагах по брюшине через 8 лет после первичного лечения – данные ПЭТ-КТ послужили причиной выполнения диагностической лапароскопии, с биопсией тканей метаболически активных зон. Данных о наличии опухолевого роста получено не было, в дальнейшем не было признаков прогрессирования на протяжении 12 мес ни у одной из этих больных. Ложноотрицательным оказался результат ПЭТ-КТ у больной РШМ молодого возраста, с поверхностно стелющимся рецидивом опухоли в верхней трети влагалища на фоне выраженного внутритазового фиброза и фиброзирования тканей влагалища на протяжении. Прогрессирование, подтвержденное морфологически, диагностировано через 7 лет после комбинированного лечения в региональном онкодиспансере с тяжелыми лучевыми повреждениями, по поводу которых в 2015–2016 гг. в ФГБУ



Таблица 3. Результаты ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ у больных раком шейки и тела матки с подозрением на прогрессирование в зонах предшествовавшего облучения

Table 3. ^{18}F -FDG PET-CT results in suspected recurrent cervical and endometrial cancer patients with suspected lesions in previously irradiated zones

Результаты ПЭТ-КТ ^{18}F -FDG PET-CT results	Число больных, n (%) Patients number, n (%)
Отсутствие очагов патологической гиперфиксации No hypermetabolic lesions	29 (56,9%)
Очаги патологической гиперфиксации только в зоне первичной опухоли Local hypermetabolic lesions only	6 (11,8%)
Очаги патологической гиперфиксации только в зоне регионарных лимфатических узлов Regional lymph nodes zones hypermetabolic lesions only	6 (11,8%)
Очаги патологической гиперфиксации в зоне первичной опухоли и регионарных лимфатических узлов Loco-regional hypermetabolic lesions	4 (7,8%)
Очаги патологической гиперфиксации только за пределами зоны облучения Hypermetabolic lesions out off previously irradiated zones only	5 (9,8%)
Очаги патологической гиперфиксации локорегионарные и за пределами зоны облучения Hypermetabolic lesions loco-regional and out of previously irradiated zones	1 (4,1%)
Всего / In whole	51 (100%)

Таблица 4. Диагностическая ценность ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ у больных раком шейки и тела матки с подозрением на прогрессирование в зонах предшествовавшего облучения

Table 4. ^{18}F -FDG PET-CT diagnostic value in suspected recurrent cervical and endometrial cancer patients with suspected lesions in previously irradiated zones

Параметр	ПЭТ-КТ PET-CT
Истинно положительные / True positive, n	16
Истинно отрицательные / True negative, n	32
Ложноположительные / False positive, n	6
Ложноотрицательные / False negative, n	1
Чувствительность / Sensitivity, %	94,1%
Специфичность / Specificity, %	84,2%
Положительная прогностическая значимость / Positive prognostic value, %	72,7%
Отрицательная прогностическая значимость / Negative prognostic value, %	96,9%

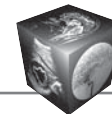
РНЦРР Минздрава России проводились комплексная реабилитация и несколько реконструктивно-пластических вмешательств на мочевых путях, кишечнике, влагалище.

Диагностическая ценность проведенных ПЭТ-КТ-исследований в анализируемой группе приведена в табл.4.

Заключение

Полученные нами данные, согласуясь с данными большинства исследователей, свидетельствуют о несомненном клиническом значении и особом месте ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ в дифференциальной диагностике локорегионарного прогрессирования и постлучевых изменений у больных РШМ и РТМ, подвергнутых лучевой терапии, с высоким уровнем

диагностической ценности метода. Более широкое и систематизированное применение ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ в динамике у одной больной на этапе первичной диагностики, планирования лучевого лечения и динамического мониторинга при РШМ и РТМ, обладая подтвержденной различными исследователями прогностической ценностью, может стать основой более персонализированного подхода к терапии на всех ее этапах. Однако адекватная трактовка получаемой информации требует углубленной комплексной оценки полученных данных междисциплинарной командой клиницистов-онкологов, радиотерапевтов и радиологов с возможностью экспертной оценки изображений в центрах компетенции в рамках развития телекоммуникационных технологий.



Участие авторов

Солодкий В.А. – концепция и дизайн исследования, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Нуднов Н.В. – участие в научном дизайне, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Крейнина Ю.М. – участие в научном дизайне, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Шевченко Л.Н. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Каскулова М.Х. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Титова В.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Пронькина Е.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Воробьева В.О. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Authors' participation

Solodky V.A. – concept and design of the study, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Nudnov N.V. – participation in scientific design, analysis and interpretation of the obtained data, 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.

Kreynina Yu.M. – participation in scientific design, проведение исследования, сбор и обработка данных, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Shevchenko L.N. – conducting research, collection and analysis of data.

Kaskulova M.Kh. – conducting research, collection and analysis of data.

Titova V.A. – 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.

Pronkina E.V. – conducting research, collection and analysis of data.

Vorobjeva V.O. – conducting research, collection and analysis of data.

Список литературы

- Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 239 с. ISBN 978-5-85502-275-9.
- Крейнина Ю.М., Титова В.А., Бурнашкина С.П. Современные подходы к применению магнитно-резонансной томографии в планировании и мониторинге высокомоментной брахитерапии гинекологического рака. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. 2014; 2: 81–82.
- Титова В.А., Паньшин Г.А., Шевченко Л.Н., Крейнина Ю.М., Каскулова М.Х. Послеоперационная конформная лучевая терапия рака шейки и тела матки: роль контактной лучевой терапии. *Трудный пациент*. 2019; 17 (8–9): 33–36. <http://doi.org/10.24411/2074-1995-2019-10060>
- Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Крейнина Ю.М. Магнитно-резонансная визуализация влагалища и малого таза у женщин, перенесших противоопухолевое лечение по поводу рака женских половых органов. *Медицинская визуализация*. 2017; 21 (2): 131–139. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-2-131-139>
- Ашрафян Л.А., Тё С.А., Огрызкова В.Л., Крейнина Ю.М., Алешикова О.И. Трехмерная эхография при раке шейки матки. *Медицинская визуализация*. 2003; 2: 68–73.
- Алимардонов Д.Б. Возможности позитронно-эмиссионной томографии в уточняющей диагностике рака шейки матки Ib-IIIb стадий: Дис. ... канд. мед. наук. М., 2011. 107 с.
- Stojiljkovic M., Sobic Saranovic D., Odalovic S. et al. FDG PET-CT as an important diagnostic tool and prognostic marker in suspected recurrent cervical carcinoma after radiotherapy: comparison with MRI. *Radiol Oncol*. 2022; 56 (4): 453–460. <http://doi.org/10.2478/raon-2022-0042>
- Yoon J.W., Kim S., Kim S.W. et al. PET/CT Response Criteria (European Organization for Research and Treatment of Cancer) Predict Survival Better Than Response Evaluation Criteria in Solid Tumors in Locally Advanced Cervical Cancer Treated With Chemoradiation. *Clin. Nucl. Med*. 2016; 41 (9): 677–682. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000001269>
- Аретинский А.В., Терновой С.К. ПЭТ/КТ с ^{18}F -FDG в уточняющей диагностике рака тела матки. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018; 8 (3): 20–29. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-3-20-29>
- Rockall A.G., Cross S., Flanagan S. et al. The role of FDG-PET/CT in gynaecological cancers. *Cancer Imaging*. 2012. 5; 12 (1): 49–65. <http://doi.org/10.1102/1470-7330.2012.0007>
- Perrone A.M., Dondi G., Coe M. et al. Predictive Role of MRI and ^{18}F FDG PET Response to Concurrent Chemoradiation in T2b Cervical Cancer on Clinical Outcome: A Retrospective Single Center Study. *Cancers (Basel)*. 2020; 12 (3): 659. <http://doi.org/10.3390/cancers12030659>
- Sanei Sistani S., Parooie F., Salarzaei M. Diagnostic Accuracy of ^{18}F -FDG-PET/CT and MRI in Predicting the Tumor Response in Locally Advanced Cervical Carcinoma Treated by Chemoradiotherapy: A Meta-Analysis. *Contrast Media Mol. Imaging*. 2021. 2; 2021: 8874990. <http://doi.org/10.1155/2021/8874990>
- Lima G.M., Matti A., Vara G. et al. Prognostic value of posttreatment ^{18}F -FDG PET/CT and predictors of metabolic response to therapy in patients with locally



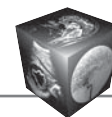
advanced cervical cancer treated with concomitant chemoradiation therapy: an analysis of intensity- and volume-based PET parameters. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2018; 45 (12): 2139–2146.

<http://doi.org/10.1007/s00259-018-4077-1>

- 14 Scher N., Castelli J., Depeursinge A. et al. (^{18}F)-FDG PET/CT parameters to predict survival and recurrence in patients with locally advanced cervical cancer treated with chemoradiotherapy. *Cancer Radiother.* 2018; 22 (3): 229–235. <http://doi.org/10.1016/j.canrad.2017.10.003>
- 15 Han L., Wang Q., Zhao L. et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of the Prognostic Impact of Pretreatment Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography Parameters in Patients with Locally Advanced Cervical Cancer Treated with Concomitant Chemoradiotherapy. *Diagnostics (Basel)*. 2021; 14; 11 (7): 1258. <http://doi.org/10.3390/diagnostics11071258>
- 16 Son S.H., Jeong S.Y., Chong G.O. et al. Prognostic Value of Pretreatment Metabolic PET Parameters in Cervical Cancer Patients With Metabolic Complete Response After Concurrent Chemoradiotherapy. *Clin. Nucl. Med.* 2018; 43 (9): e296–e303. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002188>
- 17 Auguste P., Barton P., Meads C. et al. Evaluating PET-CT in routine surveillance and follow-up after treatment for cervical cancer: a cost-effectiveness analysis. *BJOG*. 2014; 121 (4): 464–476. <http://doi.org/10.1111/1471-0528.12460>
- 18 Albano D., Zizioli V., Odicino F. et al. Clinical and prognostic value of ^{18}F -FDG PET/CT in recurrent endometrial carcinoma. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (English Edition)*. 2019; 38 (2): 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.remnie.2018.10.004>
- 19 Саевец В.В., Важенкин А.В., Чернова Л.Ф., Шимоткина И.Г., Мухин А.А., Таратонов А.В. Возможности позитронно-эмиссионной компьютерной томографии в оценке результатов лечения местно-распространенного рака шейки матки. *Акушерство и гинекология: новости мнения, обучение*. 2019; 7 (1): 46–51. <http://doi.org/10.24411/2303-9698-2019-11006>
- 20 Chung H.H., Jo H., Kang W.J. et al. Clinical impact of integrated PET/CT on the management of suspected cervical cancer recurrence. *Gynecol. Oncol.* 2007; 104 (3): 529–534. <http://doi.org/10.1016/j.ygyno.2006.09.009>
- 21 Dag Z., Yilmaz B., Dogan A.K. et al. Comparison of the prognostic value of F-18 FDG PET/CT metabolic parameters of primary tumors and MRI findings in patients with locally advanced cervical cancer treated with concurrent chemoradiotherapy. *Brachytherapy*. 2019; 18 (2): 154–162. <http://doi.org/10.1016/j.brachy.2018.11.005>
- <http://doi.org/10.24411/2074-1995-2019-10060> (In Russian)
4. Aksenova S.P., Nudnov N.V., Kreynina Yu.M. Magnetic Resonance Imaging of the Vagina and Pelvic Organs in Women who Underwent Antitumor Treatment for Female Genital Cancer. *Medical Visualization*. 2017; 2: 131–139. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-2-131-139> (In Russian)
5. Ashrafyan L.A., Tyo S.A., Ogryzkova V.L., Kreynina Yu.M., Alyoshikova O.I. Three-Dimensional Echography in Cervical Cancer. *Medical Visualization*. 2003; 2: 68–73. (In Russian)
6. Alimardonov D.B. Possibilities of PET in clarifying the diagnosis of cervical cancer Ib-IIIb: Dis. ... Cand. of Sci. (Med.). Moscow, 2011. 107 p. (In Russian)
7. Stojiljkovic M., Sobic Saranovic D., Odalovic S. et al. FDG PET-CT as an important diagnostic tool and prognostic marker in suspected recurrent cervical carcinoma after radiotherapy: comparison with MRI. *Radiol. Oncol.* 2022; 56 (4): 453–460. <http://doi.org/10.2478/raon-2022-0042>
8. Yoon J.W., Kim S., Kim S.W. et al. PET/CT Response Criteria (European Organization for Research and Treatment of Cancer) Predict Survival Better Than Response Evaluation Criteria in Solid Tumors in Locally Advanced Cervical Cancer Treated With Chemoradiation. *Clin. Nucl. Med.* 2016; 41 (9): 677–682. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000001269>
9. Aretinskiy A.V., Ternovoy S.K. ^{18}F -FDG PET/CT in the diagnostics of endometrial cancer. *REJR*. 2018; 8 (3): 20–29. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-3-20-29> (In Russian)
10. Rockall A.G., Cross S., Flanagan S. et al. The role of FDG-PET/CT in gynaecological cancers. *Cancer Imaging*. 2012. 5; 12 (1): 49–65. <http://doi.org/10.1102/1470-7330.2012.0007>
11. Perrone A.M., Dondi G., Coe M. et al. Predictive Role of MRI and ^{18}F FDG PET Response to Concurrent Chemoradiation in T2b Cervical Cancer on Clinical Outcome: A Retrospective Single Center Study. *Cancers (Basel)*. 2020; 12 (3): 659. <http://doi.org/10.3390/cancers12030659>
12. Sanei Sistani S., Parooie F., Salarzaei M. Diagnostic Accuracy of ^{18}F -FDG-PET/CT and MRI in Predicting the Tumor Response in Locally Advanced Cervical Carcinoma Treated by Chemoradiotherapy: A Meta-Analysis. *Contrast Media Mol. Imaging*. 2021. 2; 2021: 8874990. <http://doi.org/10.1155/2021/8874990>
13. Lima G.M., Matti A., Vara G. et al. Prognostic value of posttreatment ^{18}F -FDG PET/CT and predictors of metabolic response to therapy in patients with locally advanced cervical cancer treated with concomitant chemoradiation therapy: an analysis of intensity- and volume-based PET parameters. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2018; 45 (12): 2139–2146. <http://doi.org/10.1007/s00259-018-4077-1>
- 14 Scher N., Castelli J., Depeursinge A. et al. (^{18}F)-FDG PET/CT parameters to predict survival and recurrence in patients with locally advanced cervical cancer treated with chemoradiotherapy. *Cancer Radiother.* 2018; 22 (3): 229–235. <http://doi.org/10.1016/j.canrad.2017.10.003>
- 15 Han L., Wang Q., Zhao L. et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of the Prognostic Impact of Pretreatment Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography Parameters in Patients with Locally Advanced Cervical Cancer Treated with Concomitant Chemoradiotherapy. *Diagnostics (Basel)*. 2021; 14; 11 (7): 1258. <http://doi.org/10.3390/diagnostics11071258>

References

1. Kaprin A.D., Starinsky V.V., Shakhzadova A.O. Oncological care for the population of Russian Federation in 2021. M.: P.A. Herzen – branch of the Federal State Budgetary Institution “NMITS Radiology” of the Ministry of Health of Russia. 2022. 239 p. ISBN 978-5-85502-275-9. (In Russian)
2. Kreynina Y.M., Titova V.A., Burnashkina S.P. Modern approaches to the use of magnetic resonance imaging in the planning and monitoring of high-power brachytherapy for gynecological cancer. *P.A. Herzen Journal of Oncology*. 2014; 3 (2): 81–81. (In Russian)
3. Titova V.A., Panshin G.A., Shevchenko L.N., Kreynina Yu.M., Kaskulova M.Kh. Postoperative conformal radiation therapy for cervical and uterine cancer: the role of contact radiation therapy. *Difficult patient*. 2019; 17 (8–9): 33–36.



- 16 Son S.H., Jeong S.Y., Chong G.O. et al. Prognostic Value of Pretreatment Metabolic PET Parameters in Cervical Cancer Patients With Metabolic Complete Response After Concurrent Chemoradiotherapy. *Clin. Nucl. Med.* 2018; 43 (9): e296–e303. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002188>
- 17 Auguste P., Barton P., Meads C. et al. Evaluating PET-CT in routine surveillance and follow-up after treatment for cervical cancer: a cost-effectiveness analysis. *BJOG.* 2014; 121 (4): 464–476. <http://doi.org/10.1111/1471-0528.12460>
- 18 Albano D., Zizioli V., Odicino F. et al. Clinical and prognostic value of ¹⁸F-FDG PET/CT in recurrent endometrial carcinoma. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (English Edition).* 2019; 38 (2): 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.remnie.2018.10.004>
- 19 Saevets V.V., Vazhenin A.V., Chernova L.F., Shimotkina I.G., Mukhin A.A., Taratonov A.V. Potential of PET-CT in assessing the results of treatment of locally advanced cervical cancer. *Akusherstvo i ginekologiya: novosti, mneniya, obuchenie = Obstetrics and Gynecology: News, Opinions, Training.* 2019; 7 (1): 46–51. <http://doi.org/10.24411/2303-9698-2019-11006> (In Russian)
- 20 Chung H.H., Jo H., Kang W.J. et al. Clinical impact of integrated PET/CT on the management of suspected cervical cancer recurrence. *Gynecol. Oncol.* 2007; 104 (3): 529–534. <http://doi.org/10.1016/j.ygyno.2006.09.009>
- 21 Dag Z., Yilmaz B., Dogan A.K. et al. Comparison of the prognostic value of F-18 FDG PET/CT metabolic parameters of primary tumors and MRI findings in patients with locally advanced cervical cancer treated with concurrent chemoradiotherapy. *Brachytherapy.* 2019; 18 (2): 154–162. <http://doi.org/10.1016/j.brachy.2018.11.005>

Для корреспонденции*: Нуднов Николай Васильевич – 117997 Москва, Профсоюзная ул., д. 86. Российский научный центр рентгено-радиологии Минздрава России. Тел.: +7-985-224-04-68. E-mail: nudnov@rncrr.ru

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, профессор, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгено-радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгено-радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Крейнина Юлия Михайловна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний, врач-онколог и радиотерапевт ФГБУ “Российский научный центр рентгено-радиологии” Минздрава России, Москва; профессор кафедры онкологии, лучевой терапии и лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-7229-594X>

Шевченко Людмила Николаевна – заведующая отделением комплексных методов лечения онкогинекологических заболеваний ФГБУ “Российский научный центр рентгено-радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0032-1747>

Каскулова Мадина Хасановна – врач-радиотерапевт отделения комплексных методов лечения онкогинекологических заболеваний ФГБУ “Российский научный центр рентгено-радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5467-1940>

Титова Вера Алексеевна – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгено-радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9927-7832>

Пронькина Елена Владимировна – врач-рентгенолог ФГБУ поликлиники №1 Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0531-7966>

Воробьева Валентина Олеговна – клинический ординатор по специальности “рентгенология” ФГБУ “Российский научный центр рентгено-радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6704-3676>

Contact*: Nikolay V. Nudnov – 86, Profsoyuznaya str., Moscow 117997, Russian Federation. Russian Scientific Center of Roentgenoradiology. Phone: +7-985-224-04-68. E-mail: nudnov@rncrr.ru

Vladimir A. Solodkiy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>. E-mail: direktor@rncrr.ru

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for scientific work of FSBI, Head of the Research Institute of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: nudnov@rncrr.ru

Yulia M. Kreynina – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Leading researcher at the Laboratory radiation therapy and complex methods of cancer treatment, oncologist and radiotherapist of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow; Privolzhsky Research Medical University, Oncology, Radiation Therapy, Radiation Diagnostics Department, professor, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-7229-594X>

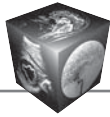
Lyudmila N. Shevchenko – Head of the Department of complex methods of treatment of Oncogynecological Diseases of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0032-1747>

Madina Kh. Kaskulova – Radiotherapist of the Department of complex methods of treatment of Oncogynecological diseases of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5467-1940>

Vera A. Titova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Laboratory radiation therapy and complex methods of cancer treatment of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9927-7832>

Elena V. Pronkina – Radiologist of FSBI polyclinic №1 of the office of the President of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0531-7966>

Valentina O. Vorobjeva – Clinical resident in the specialty “radiology” of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6704-3676>



Малый таз | Small pelvis

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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1144>

Ультразвуковые признаки опухолей яичников по стандартизованному протоколу

© Озерская И.А.^{1*}, Чекалова М.А.¹, Иванов В.А.¹, Казарян Г.Г.²¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация² ООО «Медскан», отделение ультразвуковой диагностики; 119421 Москва, ул. Обручева, д.21А, Российская Федерация

Цель исследования: выявить характерные эхографические признаки доброкачественных опухолей яичников с применением рекомендаций группы IOTA.

Материал и методы. Проанализированы 5 статей, опубликованных в журнале *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology* за 2008–2019 гг. Каждая статья посвящена гистологически верифицированной патологии яичников, представляющих 4 морфологических варианта опухоли яичников: струма, фиброма/фибротеккома, урозепителиальная опухоль (опухоль Бреннера) и цистаденофиброма, а также эндометриоидная киста при беременности. Общее количество составило 380 женщин. При описании патологических образований исследователи использовали единый протокол, рекомендованный группой IOTA. Оценивался 21 параметр, включающий морфологию образования, структуру жидкостных включений и солидного компонента, наличие жидкости в позадаточном пространстве и асцит, а также степень васкуляризации опухоли.

Результаты. Проведенный анализ струмы, фибромы (фибротеккомы), опухоли Бреннера, цистаденофибромы и эндометриоидной кисты беременных свидетельствует о том, что отсутствуют надежные критерии диагностики гистологического строения опухоли как по возрасту больных, размерам образования, так и по ультразвуковым признакам. Единственным маркером среди рассматриваемой патологии могут служить гиперэхогенные включения, которые отмечены только в опухолях Бреннера, как доброкачественных, так и злокачественных.

При исследовании перечисленных доброкачественных новообразований яичников не выявлено особенностей кровоснабжения. Все новообразования имели васкуляризацию от полного отсутствия сосудов (1 балл) до умеренного их количества (3 балла). Гиперваскуляризация (4 балла) встречалась в струме, фиброме (фибротеккоме) и цистаденофиброме.

Заключение. Задачей ультразвукового исследования является своевременное выявление опухоли яичника с предположительным заключением вероятности малигнизации, основанном на стандартизованных протоколах группы IOTA, что важно для правильной маршрутизации пациентки.

Ключевые слова: опухоль яичников, ультразвуковая диагностика, IOTA

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Озерская И.А., Чекалова М.А., Иванов В.А., Казарян Г.Г. Ультразвуковые признаки опухолей яичников по стандартизованному протоколу. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 110–124.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1144>

Поступила в редакцию: 13.02.2022.

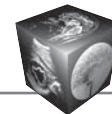
Принята к печати: 01.08.2022.

Опубликована online: 28.12.2022.

Ultrasound signs of ovarian tumors according to a standardized protocol

© Irina A. Ozerskaya^{1*}, Marina A. Chekalova¹, Vladimir A. Ivanov¹, Gayane G. Kazaryan²¹ The Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation² LLC "Medskan"; 21A, Obrucheva str., Moscow 119421, Russian Federation

Objective: to identify the characteristic echographic features of benign ovarian tumors using the recommendations of the IOTA group.



Materials and methods. Five articles published in the journal *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology* for 2008–2019 were analyzed. Each article is devoted to a histologically verified pathology of the ovaries, representing four morphological variants of an ovarian tumor (struma, fibroma/fibrothecoma, uroepithelial tumor (Brenner's tumor) and cystadenofibroma, as well as endometrioma in pregnancy. The total number was 380 women. When describing pathological formations, the researchers used a single protocol recommended by the IOTA group. Evaluated twenty-one parameters, including the morphology of the formation, the structure of fluid inclusions and the solid component, the presence of fluid in the retrouterine space and ascites, as well as the degree of tumor vascularization.

Results. The analysis of the struma, fibroma (fibrothecoma), Brenner tumor, cystadenofibroma and endometrioma of pregnant women indicates that there are no reliable criteria for diagnosing the histological structure of the tumor, both by the age of the patients, the size of the formation, and by ultrasound signs. Hyperechoic inclusions, which are noted only in Brenner tumors, both benign and malignant, can serve as the only marker among the pathology under consideration.

In the study of the listed benign neoplasms of the ovaries, no features of the blood supply were revealed. All neoplasms had vascularization from the complete absence of vessels (1 point) to their moderate number (3 points). Hypervascularization (4 points) occurred in struma, fibroma (fibrothecoma), and cystadenofibroma.

Conclusions. The task of ultrasound examination is the timely detection of an ovarian tumor with a presumptive conclusion of the probability of malignancy, based on standardized protocols of the IOTA group, which is important for the correct routing of the patient.

Keywords: ovarian tumor, ultrasound, IOTA

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

For citation: Ozerskaya I.A., Chekalova M.A., Ivanov V.A., Kazaryan G.G. Ultrasound signs of ovarian tumors according to a standardized protocol. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 110–124.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1144>

Received: 13.02.2022.

Accepted for publication: 01.08.2022.

Published online: 28.12.2022.

Введение

Многие специалисты уделяют большое внимание вопросам, связанным со своевременным и точным определением характера опухоли яичника методами визуализации. В настоящее время эта проблема с разной эффективностью решается с помощью комплексного ультразвукового исследования. До настоящего времени продолжается поиск визуальных критериев, характеризующих степень доброкачественности или злокачественности выявленного новообразования. В связи с этим как отечественные, так и зарубежные исследователи стараются подробно изучать особенности изображения опухолей яичников в зависимости от морфологического варианта. С учетом колоссального морфологического многообразия яичниковых новообразований очевидно предположить, что такое же многообразие свойственно и для ультразвуковой картины, отображающей макроскопическое строение опухоли.

В научной литературе имеются данные о наиболее типичных ультразвуковых признаках целого ряда морфологических вариантов опухоли яичника, как 30-летней давности, так и современных, основанных на применении высокотехнологичного оборудования.

Стремление к усовершенствованию дифференциальной диагностики между злокачественной и доброкачественной опухолью вполне оправдано, особенно в тех случаях, когда актуален вопрос о сохранении репродуктивной функции и проведе-

нии органосохранной операции. Но при этом всегда следует помнить о приоритетном значении патоморфологического исследования, о том, что абсолютно полная картина доброкачественного образования, полученная методом визуализации, может не соответствовать в итоге результатам послеоперационного гистологического исследования.

Эпителиальные опухоли представляют самую многочисленную группу и составляют 70–80% всех опухолей яичников [1, 2]. В их числе описаны редкие гистологические типы – цистаденофибромы и опухоли Бреннера.

Цистаденофибромы яичников представляют собой новообразования, которые происходят как из эпителиальных, так и из стромальных компонентов, при этом классифицируются как эпителиальные неоплазии. Доля этих новообразований среди всех опухолей яичников составляет не более 1,7% [3]. Цистаденофиброма состоит из двух частей – плотной ткани, имеющей характер фибромы, и кистозной, представленной одним или несколькими полостными образованиями. Выделяют серозные, муцинозные, эндометриоидные и смешанные аденофибромы и цистаденофибромы. Данные опухоли могут быть доброкачественными, пограничными и злокачественными; злокачественные опухоли встречаются крайне редко [4].

Уроэпителиальная опухоль (опухоль Бреннера) является редкой, с частотой от 0,6 до 2,6% среди всех яичниковых новообразований, возникает



преимущественно в постменопаузальном периоде жизни женщины (средний возраст 63 года) и обладает эстрогенной активностью [1]. Опухоли представляют собой поверхностные эпителиально-стромальные новообразования яичника и большинство (99%) из них – доброкачественные [5, 6]. Опухоль Бреннера может обнаруживаться в составе других эпителиальных неоплазий, в том числе возможно сочетание опухоли Бреннера и муцинозной цистаденомы [6, 7].

Среди женщин репродуктивного возраста герминогенные опухоли регистрируются в 10–15% от всех новообразований яичников [1]. Группа включает тератому (зрелую и незрелую), в том числе струму и другие морфологические типы новообразований.

Зрелые тератомы составляют большинство герминогенных опухолей яичников и около 20% всех новообразований яичников у молодых женщин; струма встречается примерно с частотой 3% среди всех тератом яичников, 2% герминогенных опухолей яичников и 0,5% всех опухолей яичников [8, 9]. Злокачественная трансформация струмы встречается редко [10].

Внутренняя структура тератом отличается большим разнообразием, которое обусловлено содержанием в разных пропорциях волос, жировой, хрящевой, костной ткани, нейроглии, элементов щитовидной железы и кишечной трубки [11]. К редким вариантам солидного строения зрелой тератомы относятся струма, внутреннее содержимое которой полностью или более 50% представлено тканью щитовидной железы.

К опухолям стромы полового тяжа относят такие доброкачественные опухоли, как текома и фиброма [12]. Фибромы являются наиболее часто встречающимся подтипом стромальных опухолей. На их долю приходится почти 2/3 новообразований этой группы и до 6% всех первичных опухолей яичников [13]. Опухоль может встречаться в любом возрасте: крайне редко у детей, несколько чаще в репродуктивном возрасте, а преимущественно – на пятом и шестом десятилетиях жизни. Фиброма – стромальная опухоль, представленная веретенообразными клетками, продуцирующими коллаген. Злокачественная трансформация наблюдается крайне редко.

Эндометриоидная киста яичника относится к опухолевидным образованиям и во время беременности встречается в 0,2–0,3% случаев [14]. Децидуальная реакция возникает не только в эндометрии, но и в стенке эндометриоидной кисты, внутренняя поверхность которой состоит из эндометриоподобной ткани функционального слоя. Изменения кисты во время беременности, связан-

ные с децидуализацией, требуют дифференциальной диагностики с опухолями яичников, в том числе злокачественными [15].

По данным D. Timmerman и соавт. [16], небольшое количество наблюдений в отдельных клиниках и различная интерпретация данных ультразвукового исследования не позволяют дифференцировать нозологические группы опухолей яичников. Поэтому этими учеными в 1999 г. была начата работа международной группы специалистов по анализу опухолей яичников, называемая The International Ovarian Tumor Analysis (IOTA), целью которой являлось создание правил и разработка моделей для характеристики новообразований яичников. Исследования проводились в 20 центрах разных стран, в специализированных онкологических клиниках. Для решения вопросов стандартизации, определения терминов и процедур авторы сравнивали конечные морфологические результаты с отображением в В-режиме и параметрами васкуляризации с применением ЦДК. Помимо этого, целью исследования явилось сравнение диагностической эффективности врачей различной квалификационной категории, изучение генеза новообразований яичников и роли СА-125 и других онкомаркеров в выявлении патологических изменений придатков матки.

Благодаря постоянной работе специалистов IOTA разработан стандартизованный протокол описания патологических образований придатков матки с правилами измерения, оценки формы, структуры, экзогенности, васкуляризации, а также наличия жидкости в позаиматочном пространстве и асцита [16].

Описание опухолей по единому протоколу позволяет проводить многоцентровые исследования, результаты которых опубликованы в зарубежных журналах.

Цель исследования

Анализ данных и рекомендаций группы IOTA, представленных в научной медицинской литературе, посвященных совершенствованию качества ультразвуковой диагностики опухолей яичников.

Материал и методы

Проанализированы 5 статей, опубликованных в журнале *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology* за 2008–2019 гг. [17–21]. Каждая статья посвящена изучению особенностей ультразвукового изображения достаточно редких морфологических типов доброкачественных опухолей яичников на основании сопоставления с результатами послеоперационного гистологического исследования. Анализируемую группу составили 4 морфоло-

**Таблица 1.** Источники аналитического обзора**Table 1.** Desk review sources

Источник / Sources	Гистологический диагноз / Histological diagnosis	n
Savelli L. et al., 2008 [17]	Струма яичника / Struma ovary	32
Paladini D. et al., 2009 [18]	Фиброма (фибротекома) / Fibroma (fibrothecoma)	68
Dierickx I. et al., 2012 [19]	Опухоль Бреннера / Brenner tumor	29
Mascilini F. et al., 2014 [20]	Эндометриома беременных / Endometrioma of pregnant women	18
Virgilio B.A. et al., 2019 [21]	Цистаденофиброма / Cystadenofibroma	233
Всего		380

гических варианта опухоли яичников, такие как струма, фиброма/фибротекома, урорепителиальная опухоль (опухоль Бреннера) и цистаденофиброма, а также эндометриоидная киста при беременности (табл. 1). Возраст пациенток колебался от 14 до 94 лет.

Результаты, представленные в указанных статьях нашими зарубежными коллегами, были собраны в разных странах: Италии, Бельгии, Швеции, США и Польше.

Всем женщинам выполнили ультразвуковое исследование органов малого таза с использованием как абдоминальных, так и высокочастотных трансвагинальных датчиков. Методика обследования девочек ни в одном источнике не указана.

При описании патологических образований исследователи использовали единый протокол, рекомендованный группой IOTA.

Оценивали 21 параметр, включающий ультразвуковое строение образования, структуру жидкостных включений и солидного компонента, наличие жидкости в позадидматочном пространстве и в верхних этажах брюшной полости, а также степень васкуляризации опухоли. При оценке васкуляризации патологического образования использовалась балльная шкала, включающая от 1 до 4 баллов: 1 балл – аваскуляризация, 2 балла – минимальное количество локусов, 3 балла – умеренное количество локусов, 4 балла – гиперваскуляризация.

Результаты обрабатывались стандартными статистическими методами с использованием ресурсов MS Excel и представлены как среднее (M), минимальное и максимальное значение (min–max).

Результаты и их обсуждение

Доброкачественные цистаденофибромы проанализированы по результатам морфоультразвуковых сопоставлений у 233 пациенток в возрасте 14–89 лет (средний возраст 54 года) [21]. Новообразования имели размеры от 21 до 350 мм (в среднем максимальный диаметр 76 мм). В.Н. Демидов и соавт. отмечают небольшие размеры, преимущественно 2,5–5,5 см [4].

Опухоль характеризовалась многокамерной кистозно-солидной (36,5%) или однокамерно-солидной (28,8%) структурой с пристеночными мелкими кистами и единичными сосочковыми структурами (52,4%). Отсутствие солидного компонента, в том числе папиллярных структур, наблюдали в 13,3% однокамерных и 19,3% многокамерных образований. На часто выявляемые сосочковые структуры указывают Е.С. Taylor и соавт. [22]. По данным В.Н. Демидова и соавт., папиллярные пристеночные разрастания определяются гораздо реже – в 1/4 наблюдений (при этом только в случае серозного варианта опухоли) [4].

Жидкостные включения были анэхогенными (63,5%) или имели низкую эхогенность (26,2%). Акустическая тень за солидным компонентом выявлена в 9,9%, что, вероятно, связано с плотной фиброзной тканью [4, 22].

Жидкость в позадидматочном пространстве наблюдалась у 15,0% больных с глубиной кармана от 1 до 31 мм (в среднем 16 мм), асцит встречался редко, в 0,9% случаев.

Васкуляризация цистаденофибромы низкая: аваскуляризация отмечается в 41,2% случаев, гиповаскуляризация – в 42,5%. Наличие единичных зон васкуляризации, преимущественно в перигородках, отмечено также В.Н. Демидовым и соавт. [4].

По результатам ультразвукового изображения врачи определяли принадлежность каждого образования к доброкачественному или злокачественному, а также предполагали гистологический диагноз. Доброкачественной оценили 183 (78,5%) опухоли, злокачественной – 50 (21,5%). В статье [21] имеются данные морфологического типа 211 новообразований. Ультразвуковой и гистологический диагнозы цистаденофибромы совпали в 106 (50,2%) случаях. Другими диагнозами были следующие: зрелая тератома – 6 (2,8%); простая киста/параовариальная киста – 13 (6,2%); функциональная киста – 6 (2,8%); гидросальпинкс – 5 (2,4%); перитонеальная киста – 2 (0,9%); абсцесс – 1 (0,5%); фиброма/фибротекома – 4 (1,9%); цистаденома – 7 (3,3%); первичная инвазивная



опухоль – 7 (3,3%); пограничная опухоль – 34 (16,1%); другие злокачественные опухоли – 3 (1,4%) и не смогли определить морфологический тип в 17 (8,1%).

Опухоль Бреннера

В анализируемой статье [19] описаны 29 опухолей Бреннера, из которых 24 (82,8%) были доброкачественными и 5 (17,2%) – пограничными или злокачественными. Возраст больных оказался примерно одинаковым: при доброкачественных – от 33 до 79 (среднее 56,7) лет, при злокачественных – от 34 до 94 (в среднем 59,3) лет. Максимальный диаметр опухолей также был сопоставимым: доброкачественная – от 20 до 278 мм (в среднем 69 мм), злокачественная – от 16 до 143 мм (среднее значение 66 мм).

Неровный контур отмечался в 3 (12,5%) доброкачественных и 3 (60,0%) злокачественных опухолях Бреннера. Существенно отличалась структура новообразования. Так, если доброкачественные формы были преимущественно солидными (50,0%) или однокамерными (20,8%), то среди злокачественных встречалась многокамерная кистозно-солидная структура (40,0%), а однокамерная, многокамерная и солидная зафиксированы с одинаковой частотой, составляющей по 20,0%. Сольный компонент в доброкачественных опухолях описан без жидкостных включений в 5 (41,7%) случаях, в то время как в злокачественных в солидной структуре всегда присутствовали жидкостные полости. М.А. Чекалова описывает эти новообразования как овальной или округлой формы, преимущественно солидной структуры, которые характеризуются однородностью, изо- и гиперэхогенностью с возможными мелкокистозными включениями [23]. В других источниках литературы также указывается, что опухоли Бреннера чаще всего представляют собой солидные неоплазии, при этом разнообразие внутренней структуры с преобладанием многокамерности нередко обусловлено сочетанием нескольких морфологических типов в одной опухоли. [22, 24].

Гиперэхогенные включения визуализировались вне зависимости от морфологической структуры опухоли: в доброкачественных с частотой 54,2%, в злокачественных – 60,0%. Акустические тени определялись в 58,3% доброкачественных новообразований и в 40,0% злокачественных. Вероятно, низкая звукопроводимость ткани связана с плотной фиброзной стромой опухоли Бреннера, в связи с чем имеется сходство с фибромой [25, 26]. Папиллярные разрастания отсутствовали в доброкачественных опухолях, в злокачественных описаны только в 1 случае.

Жидкость в позадиматочном пространстве редко отмечалась при доброкачественных неоплазиях, частота составила 8,3%, при злокачественных – в 1 наблюдении из 5. Асцит сопровождал доброкачественную опухоль в 1 (4,2%) случае и ни разу не встретился при злокачественной.

Аваскуляризация отмечалась только среди доброкачественных опухолей Бреннера с частотой 29,2%, а при гипervasкуляризации, соответствующей 4 баллам, описана одна злокачественная. Васкуляризация в виде единичных сосудов (2 балла) оказалась самой частой при доброкачественных формах (50,0%), умеренная васкуляризация (3 балла) отмечена с частотой 20,8%. В злокачественных опухолях васкуляризация 2 и 3 балла встречалась с одинаковой частотой в двух новообразованиях.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что надежные эхографические признаки в В-режиме, характерные для доброкачественных или злокачественных опухолей Бреннера отсутствуют, что, возможно, связано с небольшим количеством наблюдений. Вероятно, мелкие гиперэхогенные включения являются типичными для этого типа опухоли без указания на форму заболевания, однако необходимы дальнейшие исследования. Анализ показал, что выявление признаков васкуляризации не характерно для опухоли Бреннера. Почти треть доброкачественных опухолей оказалась аваскулярными, а большая часть – с единичными сосудистыми локусами.

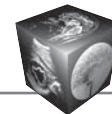
Врачи, проводившие исследования [19], классифицировали опухоль как доброкачественную у 20 (69,0%) больных, как злокачественную – у 7 (24,1%) и в 2 (6,9%) случаях не смогли отнести новообразование к какому-либо типу.

Зрелая тератома (струма яичника)

Коллегами [17] проанализированы результаты сопоставления ультразвуковых и послеоперационных данных у 32 пациенток со струмой яичника в возрасте от 18 до 80 лет (в среднем 40 лет).

Опухоли представляли собой образования максимальным диаметром 25–198 мм (в среднем 94 мм), преобладала смешанная структура с солидным компонентом, который в 50,0% представлен структурами, имеющими сходство с папиллярными разрастаниями. Меньшее число наблюдений составили опухоли однокамерного (3,1%), однокамерно-солидного (9,4%) или солидного (9,4%) строения. Жидкостные включения были анэхогенные (59,4%) или низкой эхогенности (21,9%).

Сольный компонент характеризовали однородность и средняя эхогенность; акустические тени (40,6%) отмечены в случаях смешанного



строения струмы, в то время как при “чистых” формах встречались крайне редко. Авторы исследования солидный компонент предложили называть “жемчужинами струмы” [17].

Жидкость в дугласовом пространстве имела в 12,5% и асцит – в 9,4%. В источниках литературы есть сведения, что более чем у 30% женщин при струме яичника определяется жидкость в малом тазу [27].

При цветовом картировании встречали все варианты васкуляризации. Чаще всего выявлены единичные цветовые локусы в солидном компоненте (40,6%), аваскуляризация – у 37,5% женщин, умеренная васкуляризация – у 18,8% и гиперваскуляризация – у 3,1%. Наличие сосудов в центральных отделах солидного компонента может быть дифференциально-диагностическим критерием струмы от других форм зрелой тератомы [28]. Особого внимания заслуживают пациентки с обильной васкуляризацией солидного компонента, так как это может оказаться единственным ультразвуковым признаком злокачественного течения заболевания [29].

По результатам ультразвукового изображения врачи, проводившие исследования, определяли принадлежность каждого образования к доброкачественному или злокачественному, а в последующем предполагали гистологический диагноз [17].

Предварительно классифицировали новообразование как доброкачественное у 20 (62,5%) пациенток, как злокачественное – у 7 (21,9%) и у 5 (15,6%) не смогли определить.

Заслуживающим внимания является тот факт, что ни в одном случае не диагностировали струму яичника. Из 18 опухолей, которые были оценены, определили зрелую тератому у 10 (55,6%) больных, цистаденому (цистаденофибром) – у 7 (38,9%) и гидросальпинкс – у 1 (5,6%). На большие трудности, связанные с определением морфологического типа этой опухоли, указывают и другие авторы [30, 31].

Фиброма (фибротекома)

Фибротекома описана на примере 68 наблюдений больных в возрасте от 18 до 80 лет (средний возраст 54 года) [18]. Размеры опухоли 19–258 мм (среднее значение максимального диаметра составляет 78 мм), с четким и ровным контуром. В 75,0% случаев структура солидная, без жидкостных включений. Исследователями отмечено снижение звукопроводимости вплоть до образования акустической тени (32,4%), в то время как гиперэхогенные включения отсутствовали. На гипоехогенную структуру фибромы с образованием акустической тени указывают также отечественные

и китайские коллеги [13, 32]. И.Б. Антонова и соавт. описывают очаги обызвествления и полости вследствие лизиса ткани [13].

Фиброму сопровождало выявление жидкости в перитонеальной полости: в позадимааточном пространстве обнаружена в 50,0%, асцит – в 16,2%. Как сообщается, асцит в единичных наблюдениях может быть объемом до 30 л [13]. Следует отметить, что нередко сопровождающий эти опухоли синдром Мейгса, при котором наблюдается также скопление жидкости в плевральной и перикардальной полостях, может имитировать кардиологическую патологию, при этом новообразование яичника диагностируется случайно [33].

В исследовании [18] васкуляризация опухоли оценивалась в виде единичных сосудов (42,6%) или умеренной (32,4%), в то время как аваскуляризация отмечена у 13,2% больных, а гиперваскуляризация – у 10,3%. Н. Chen и соавт. проанализировали 61 случай фибромы (фибротекомы) и сообщают, что преимущественно встречались аваскуляризация (67,2%) и минимальное количество сосудов (23,0%) [32]. Скудное кровоснабжение приводит к дистрофическим изменениям в фибромах, что обнаруживается у 28% больных и, как правило, при больших размерах образований [13].

Оценка опухоли врачом ультразвуковой диагностики [18] соответствовала доброкачественной в 42 (61,8%) случаях, злокачественной – в 12 (17,6%) и не смогли определить – в 12 (17,6%). Правильно диагностировали фиброму или фибротекому у 37 (54,4%) больных. В остальных случаях новообразование расценивали как цистаденому – 2 (2,9%); тератому – 1 (1,5%); серозную кисту – 1 (1,5%); tuboовариальный абсцесс – 1 (1,5%); синдром Мейгса – 1 (1,5%); первичный рак яичника – 3 (4,4%); метастатический рак – 3 (4,4%); пограничную опухоль – 1 (1,5%); саркому – 1 (1,5%) и не смогли идентифицировать – 17 (25,0%).

Эндометриоидная киста беременных

Изучены и представлены особенности ультразвукового изображения эндометриоидной кисты во время беременности в сопоставлении с послеоперационными морфологическими данными в 18 наблюдениях [20]. Средний возраст беременных составил 34 (20–43) года. У 3 (16,6%) женщин эндометриоидная киста диагностирована до беременности. Срок беременности на момент последнего ультразвукового исследования перед операцией составлял 14 нед с диапазоном от 11 до 39 нед. Между обнаружением поражения во время беременности и хирургическим вмешательством в среднем прошло 2,5 (от 1 до 26) нед.



Оперативное лечение проведено в сроке от 11 до 41 нед, что в среднем составило 18 нед.

Размеры кисты колебались от 41 до 121 (в среднем 66) мм, наружный контур был ровный. Структура образования отмечена как однокамерно-солидная (55,6%), многокамерно-солидная (38,9%), а типичная однокамерная зафиксирована только в 5,6%. Мелкодисперсная взвесь типа “матового стекла” обнаружена в 66,7% внутреннего содержимого кист, низкая эхогенность – в 22,2% и анэхогенная – в 11,1%.

Почти во всех случаях (94,4%) описаны структуры, идентичные папиллярным разрастаниям на внутренней поверхности кисты. На характерный вид вегетаций, представляющий собой округлые образования с ровным контуром, обращают внимание М.Н. Буланов и Р.Н. Горта [15].

Пристеночные солидные структуры, стенка и перегородки в случаях многокамерных кист имели умеренную васкуляризацию (72,2%); аваскулярными оказались 16,7%; единичные сосуды отмечались в 11,1% из них.

М.Н. Буланов и Р.Н. Горта описали ультразвуковой признак, специфический для децидуализированных эндометриоидных кист, обнаруженный ими в 71% наблюдений: пристеночные аваскулярные аморфные массы, под которыми в подлежащей стенке регистрируются сосуды [15]. Авторы назвали этот признак “эффект сэндвич-васкуляризации”.

Как в анализируемой работе [20], так и в других литературных источниках отмечается отсутствие жидкости в позадматочном пространстве, а также асцита.

Правильно интерпретировать новообразование у беременных оказалось сложной задачей для врачей, проводивших ультразвуковое исследование [20]. Эндометриоидную кисту расценили как доброкачественное образование в 9 (50,0%) случаях, как пограничную опухоль – в 8 (44,4%) и как злокачественную опухоль – в 1 (5,6%). Соответственно гистологическому диагнозу распределение было следующим: эндометриоидная киста с децидуализацией – 9 (50,0%); пограничная опухоль – 8 (44,4%) и первичный рак яичника – 1 (5,6%).

Неровные наружные контуры, утолщенные стенки, многокамерное строение, богато васкуляризованные сосочковоподобные структуры являются следствием децидуализации эндометриоидной кисты, что имитирует опухоль. В некоторой степени помощь в диагностике может оказать обнаружение эндометриоидной кисты до беременности.

Онконастороженность приводит к тому, что проводится хирургическое лечение, которое не-

благоприятно отражается на плоде и течении беременности в целом в отсутствие признаков апоплексии или перекрута кисты. По данным литературы, цистэктомии подвергались как беременные во II–III триместре, так и во время оперативного родоразрешения, а также после родов с различным интервалом [15, 34, 35]. Корректная и своевременная диагностика эндометриоидной кисты позволит избежать неоправданно агрессивной тактики ведения беременных и отсрочить хирургическое вмешательство, совместив его с оперативными родами, или перенести на более позднее время.

Проведенный анализ ряда доброкачественных новообразований яичников свидетельствует о том, что в настоящее время отсутствуют надежные критерии диагностики, свойственные вариантам гистологического строения опухоли как по размерам образования, так и по ультразвуковым характеристикам. Среди рассматриваемой группы новообразований выявлен единственный специфический признак – гиперэхогенные включения, которые отмечены только в опухолях Бреннера. При этом не следует забывать, что подобные включения встречаются также в других, не рассматриваемых в этой статье, новообразованиях, например серозных цистаденомах и опухолях эпидермального синуса злокачественного течения.

При исследовании струмы, фибромы (фибротекомы), опухоли Бреннера, цистаденофибромы и эндометриоидной кисты беременных не выявлено особенностей кровоснабжения. Все перечисленные новообразования имели васкуляризацию от полного отсутствия сосудов (1 балл) до умеренного их количества (3 балла). Вместе с тем встречалась и гиперваскуляризация (4 балла) в струме, фиброме (фибротекоте) и цистаденофиброме (табл. 2).

В каждой из проанализированных статей [17–21] имелись результаты оценки врачами принадлежности выявленной опухоли к доброкачественному или злокачественному процессу. Следует обратить внимание на гипердиагностику злокачественности доброкачественных опухолей, признаки которых врачи оценили в струме в 21,9%, фиброме/фибротекоте – в 17,6%, в цистаденофиброме – в 21,5%, а в эндометриоидной кисте с децидуализацией – в 50,0%. Среди опухолей Бреннера было 3 злокачественных и 2 – пограничных, из которых правильно идентифицировали 3 новообразования, а 2 – отнесли к доброкачественным. В то же время доброкачественные уроэпителиальные опухоли в 16,7% были расценены как злокачественные, что подтвердило общую тенденцию гипердиагностики (табл. 3).

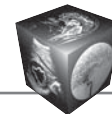
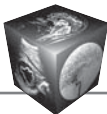


Таблица 2. Сопоставление частоты встречаемости признаков, рекомендованных группой IOTA, для описания новообразований яичников
Table 2. Comparison of the frequency of occurrence of features recommended by the IOTA group to describe ovarian neoplasms

Критерий Variable	Струма Struma n (%)	Фиброма Fibroma n (%)	Доброкачественная опухоль Бреннера Benign Brenner's tumor n (%)	Цистаденофиброма Cystadenofibromas n (%)	Эндометриома Endometriomas n (%)
Количество, n Quantity, n	32	68	24	233	18
Возраст, годы, M (min-max) Age, years, M (min-max)	40 (18-80)	54 (17-80)	56,5 (33-94)	54 (14-89)	34 (20-43)
Максимальный диаметр, мм M (min-max) Maximum diameter, mm M (min-max)	94 (25-198)	78 (19-258)	69 (20-278)	76 (21-350)	66 (41-121)
Неровный контур, n (%) Irregular wall, n (%)	8 (25,0%)	10 (14,7%)	3 (12,5%)	0	0
Однокамерная, n (%) Unilocular, n (%)	1 (3,1%)	0	5 (20,8%)	31 (13,3%)	1 (5,6%)
Многокамерная, n (%) Multilocular, n (%)	6 (18,8%)	2 (2,9%)	2 (8,3%)	45 (19,3%)	0
Однокамерно-солидная, n (%) Unilocular-solid, n (%)	3 (9,4%)	4 (5,9%)	1 (4,2%)	67 (28,8%)	10 (55,6%)
Многокамерная кистозно-солидная, n (%) Multilocular-solid, n (%)	19 (59,4%)	11 (16,2%)	3 (12,5%)	85 (36,5%)	7 (38,9%)
Солидная, n (%) Solid, n (%)	3 (9,4%)	51 (75,0%)	12 (50,0%)	5 (2,1%)	0
Структура жидкостного компонента кистозных полостей / Structure of the fluid component of cystic cavities					
Анэхогенная, n (%) Anechoic, n (%)	19 (59,4%)	11 (16,2%)	4 (16,7%)	148 (63,5%)	2 (11,1%)
Низкая эхогенность, n (%) Low-level, n (%)	7 (21,9%)	6 (8,8%)	6 (25,0%)	61 (26,2%)	4 (22,2%)
Мелкодисперсная взвесь («матовое стекло»), n (%) Ground-glass, n (%)	0	1 (1,5%)	1 (4,2%)	5 (2,1%)	12 (66,7%)
Геморрагическая, n (%) Haemorrhagic, n (%)	4 (12,5%)	0	0	0	0
Смешанная, n (%) Mixed, n (%)	0	5 (7,4%)	4 (16,7%)	14 (6,0%)	0

Таблица 2 (окончание)
Table 2 (end)

Критерий Variable	Струма Struma n (%)	Фиброма Fibroma n (%)	Доброкачественная опухоль Бреннера Benign Brenner's tumor n (%)	Цистаденофиброма Cystadenofibromas n (%)	Эндометриома Endometriomas n (%)
Структура солидного компонента / Solid component structure					
Папиллярные разрастания, n (%) Papillary projections, n (%)	16 (50,0%)	4 (5,9%)	0	122 (52,4%)	17 (94,4%)
Гиперэхогенные включения, n (%) Calcifications, n (%)	0	0	13 (54,2%)	0	0
Акустические тени, n (%) Shadowing, n (%)	13 (40,6%)	22 (32,4%)	14 (58,3%)	23 (9,9%)	0
Перитонеальная полость / Peritoneal cavity					
Жидкость в дугласовом кармане, n (%) Fluid in pouch of Douglas, n (%)	4 (12,5%)	34 (50,0%)	2 (8,3%)	35 (15,0%)	0
Асцит / Ascites, n (%)	3 (9,4%)	11 (16,2%)	1 (4,2%)	2 (0,9%)	0
Васкуляризация / Vascularization					
1 балл, n (%) No color, n (%)	12 (37,5%)	9 (13,2%)	7 (29,2%)	96 (41,2%)	3 (16,7%)
2 балла, n (%) Minimal, n (%)	13 (40,6%)	29 (42,6%)	12 (50,0%)	99 (42,5%)	2 (11,1%)
3 балла, n (%) Moderate, n (%)	6 (18,8%)	22 (32,4%)	5 (20,8%)	37 (15,9%)	13 (72,2%)
4 балла, n (%) Abundant, n (%)	1 (3,1%)	7 (10,3%)	0	1 (0,4%)	0



Таблица 3. Результаты ультразвуковых исследований по принадлежности к доброкачественным или злокачественным новообразованиям яичников и совпадение с гистологическим диагнозом

Критерий Variable	Струма Struma n (%)	Фиброма Fibroma n (%)	Опухоль Бреннера Brenner's tumor n (%)	Цистаденофиброма Cystadenofibromas n (%)	Эндометриома Endometriomas n (%)
Количество, n Quantity, n	32	68	29	211	18
Доброкачественное, n (%) Benign, n (%)	20 (62,5%)	44 (64,7%)	20 (69,0%)	183 (78,5%)	9 (50,0%)
Злокачественное (пограничное), n (%) Malignant (borderline), n (%)	7 (21,9%)	12 (17,6%)	7 (24,1%)	50 (21,5%)	9 (50,0%)
Неопределенное, n (%) Uncertain, n (%)	5 (15,6%)	12 (17,6%)	2 (6,9%)	-	-
Совпадение с гистологическим диагнозом, n (%) Coincidence with histological diagnosis, n (%)	0	37 (54,4%)	Нет данных / No data	106 (50,2%)	9 (50,0%)



Также следует отметить, что данные, полученные экспертами при определении предположительного морфологического варианта выявленных новообразований, совпали с результатами послеоперационного гистологического исследования максимально только в половине наблюдений, например при фиброме/фибротекOME – 54,4%, в то время как при струме – 0%.

Заключение

Отобранные статьи зарубежных коллег посвящены анализу ультразвукового изображения редких новообразований яичников в сопоставлении с результатами послеоперационного гистологического исследования. Полученные данные не противоречат имеющимся в отечественной и мировой литературе.

Определение характера опухолей яичников является одним из наиболее сложных аспектов применения ультразвуковой диагностики в гинекологии. Несмотря на имеющиеся в научной источниках описания некоторых характерных эхографических признаков отдельных морфологических типов новообразований яичников, вопросы своевременной диагностики опухолей остаются нерешенными.

Очевидно, что задачей ультразвукового исследования является не определение гистологической принадлежности опухоли, а своевременное выявление ее и предположительное заключение о вероятности малигнизации, что важно для правильной маршрутизации пациентки. Действительно, не всегда при использовании эхографии удается отличить фолликулярную кисту от гладкостенной серозной цистаденомы или гидросальпинкса, параовариальную кисту – от гидатиды маточной трубы, эндометриоидные кисты с неравномерным распределением взвеси – от некоторых опухолей. А заподозрить или исключить злокачественное новообразование тем более сложно. Поэтому ряд исследователей расценивают современные модели стандартизации как полезный инструмент для стратификации рисков при выявлении опухолей яичников. Так, стандартизованное описание патологического образования, предложенное группой IOTA [16], а в последующем поддержанное исследователями группы O-RADS [36], способствует его комплексной оценке, уделяя внимание каждому признаку. Особенно это полезно специалистам, работающим в лечебных учреждениях общей сети, для постановки и прогнозирования правильного диагноза, а также врачам, не имеющим большого опыта. Применение стандартизованного описания позволяет проводить анализ результатов, полученных разными иссле-

дователями в разных лечебных учреждениях, что продемонстрировано в данной статье.

Использование “пяти простых правил”, также предложенных группой IOTA [37], дает возможность оценить опухоль как доброкачественную, злокачественную или неопределенную и на основании шкалы O-RADS [38] определить дальнейшую маршрутизацию пациентки.

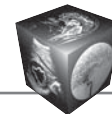
В связи с этим в алгоритме обследования женщин с объемным процессом в области придатков матки возможно выделить 3 этапа:

I этап проводится в лечебном учреждении общего профиля врачом ультразвуковой диагностики, имеющим подготовку в диагностике гинекологической патологии, с использованием рекомендаций группы IOTA. Задачей I этапа является дифференциальная диагностика опухоли и опухолевидного образования яичника.

II этап, в случае обнаружения опухоли яичника, следует непосредственно за I этапом и осуществляется тем же врачом ультразвуковой диагностики. Задачей II этапа является условная дифференциальная диагностика доброкачественной и злокачественной опухоли яичника. При подозрении на злокачественную опухоль пациентка направляется к онкогинекологу.

III этап проводится в лечебном учреждении, специализирующемся на обследовании и лечении онкологических больных, врачом ультразвуковой диагностики, имеющим опыт работы в онкогинекологии. Задачей III этапа является определение характера опухоли, степени ее распространения, что осуществляется в соответствии с рекомендациями международных консенсусов. На основании комплексного обследования по совокупности данных всех методов исследования (анамнестических, пальпаторных, иммунологических, лабораторных, визуализации) вырабатывается адекватная тактика ведения больной.

Безусловно, постоянное обращение к морфологическим данным, изучение морфоультразвуковых сопоставлений, анализ особенностей изображения разных гистологических типов опухолей яичников способствуют более эффективной дифференциальной диагностике, которую целесообразно проводить в онкологической клинике. Как показывают исследования, точность предоперационного определения гистологического строения опухоли, основанного на субъективной оценке врача-эксперта, имеющего большой опыт в онкогинекологии, соответствует или превышает вывод, основанный на “пяти простых правилах” группы IOTA [39–41], особенно в сомнительных случаях [42]. Однако и эти результаты не отличаются высокой информативностью. Следовательно, данные



эхографии ни в коей мере не могут заменить интраоперационного гистологического анализа и по-прежнему приоритетное значение в этой области принадлежит патоморфологическому исследованию.

Участие авторов

Озерская И.А. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Чекалова М.А. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Иванов В.А. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Казарян Г.Г. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Ozerskaya I.A. – concept and design of the study, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Chekalova M.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.

Ivanov V.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.

Kazaryan G.G. – collection and analysis of data, statistical analysis, writing text, approval of the final version of the article.

Список литературы

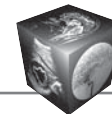
1. Бохман Я.В. Руководство по онкогинекологии. СПб.: Фолиант, 2002. 542 с.
2. Клиническая онкогинекология: Руководство для врачей / Под ред. В.П. Козаченко. М.: Изд-во "Медицина", 2005. 376 с.
3. Сыркашев Е.М., Солопова А.Е., Асатурова А.В. Сочетание серозной папиллярной цистаденофибромы яичника с распространенным наружным генитальным эндометриозом. *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2020; 14 (6): 694–703. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2020.190>
4. Демидов В.Н., Гус А.И., Адамян Л.В., Липатенкова Ю.И. Эхография органов малого таза у женщин. Пограничные опухоли, рак и редкие опухоли яичников. Практическое пособие. М.: Бином, 2017. 180 с.
5. Hermanns B., Faridi A., Rath W. et al. Differential diagnosis, prognostic factors, and clinical treatment of proliferative Brenner tumor of the ovary. *Ultrastruct Pathol*. 2000; 24: 191–196. <https://doi.org/10.1080/01913120050132930>
6. Turgay B., Koyuncu K., Taşkın S., Ortaç U.F. Features of ovarian Brenner tumors: Experience of a single tertiary center. *Turk. J. Obstet Gynecol*. 2017; 14: 133–137. <https://doi.org/10.4274/tjod.98216>
7. Nazari F., Dehghani Z. Coexistence of Benign Brenner Tumor with Mucinous Cystadenoma in an Ovarian Mass. *Iran J. Pathol*. 2020; 15 (4): 334–337. <https://doi.org/10.30699/IJP.2020.104017.2052>
8. Talerman A. Germ cell tumors of the ovary. In Blaustein's Pathology of the Female Genital Tract (3rd ed.) / R.J. Kurman (ed.). New York: Springer Verlag, 2001: 967–1033.
9. Огнерубов Н.А., Улитина Е.Д. Струма яичника: случай из практики. *Вестник ТГУ*. 2013; 18 (5): 2855–2859.
10. Rockson O., Kora Ch., Ramdani A. et al. Struma ovarii: two case reports of a rare teratoma of the ovary. *J. Surg. Case Rep*. 2020; 12: 1–4. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjaa493>
11. Демидов В.Н., Адамян Л.В., Липатенкова Ю.И., Гус А.И., Могиревская А.О. Эхография при струме и стромальном карциноиде яичника. *Ультразвуковая диагностика*. 1997; 4: 53–56.
12. Франк Г.А., Москвина Л.В., Андреева Ю.Ю. Новая классификация опухолей яичника. *Архив патологии*. 2015; 4: 40–50. <https://doi.org/10.17116/patol201577440-50>
13. Антонова И.Б., Бабаева Н.А., Алешикова О.И., Мельникова Н.В., Болотина Н.А., Лазукина И.А., Люстик А.В., Моцкобили Т.А., Рустамова Ф.Ш. Гигантская фиброма яичника с синдромом Мейгса. Клиническое наблюдение. *Трудный пациент*. 2020; 8–9 (18): 31–35. <https://doi.org/10.24411/2074-1995-2020-10057>
14. Condous G., Khalid A., Okaro E., Bourne T. Should we be examining the ovaries in pregnancy? Prevalence and natural history of adnexal pathology detected at first-trimester sonography. *Ultrasound Obstet. Gynecol*. 2004; 24 (1): 62–66. <https://doi.org/10.1002/uog.1083>
15. Буланов М.Н., Горта Р.Н. Ультразвуковое исследование эндометриоидных кист яичников во время беременности. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2015; 1: 55–71.
16. Timmerman D., Valentin L., Bourne T.H. et al. Terms, definitions and measurements to describe the sonographic features of adnexal tumors: a consensus opinion from the International Ovarian Tumor Analysis (IOTA) Group. *Ultrasound Obstet. Gynecol*. 2000; 16 (5): 500–505.
17. Savelli L., Testa A.C., Timmerman D. et al. Imaging of gynecological disease (4): clinical and ultrasound characteristics of struma ovarii. *Ultrasound Obstet. Gynecol*. 2008; 32: 210–219. <https://doi.org/10.1002/uog.5396>
18. Paladini D., Testa A., Van Holsbeke C. et al. Imaging in gynecological disease (5): clinical and ultrasound characteristics in fibroma and fibrothecoma of the ovary. *Ultrasound Obstet. Gynecol*. 2009; 34: 188–195. <https://doi.org/10.1002/uog.6394>
19. Dierckx I., Valentin L., Van Holsbeke C. et al. Imaging in gynecological disease (7): clinical and ultrasound features of Brenner tumors of the ovary. *Ultrasound Obstet. Gynecol*. 2012; 40: 706–713. <https://doi.org/10.1002/uog.11149>



20. Mascilini F., Moruzzi C., Giansiracusa C. et al. Imaging in gynecological disease (10): clinical and ultrasound characteristics of decidualized endometriomas surgically removed during pregnancy. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2014; 44: 354–360. <https://doi.org/10.1002/uog.13323>
21. Virgilio B.A., De Blasis I., Sladkevicius P. et al. Imaging in gynecological disease (16): clinical and ultrasound characteristics of serous cystadenofibromas in adnexa. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2019; 54: 823–830. <https://doi.org/10.1002/uog.20277>
22. Taylor E.C., Irshaid L., Mathur M. Multimodality Imaging Approach to Ovarian Neoplasms with Pathologic Correlation. *RadioGraphics.* 2021; 41: 289–315. <https://doi.org/10.1148/rg.2021200086>
23. Чекалова М.А. Ультразвуковая томография в диагностике патологических объемных образований придатков матки: Ультразвуковая диагностика. Нормативные материалы и методические рекомендации / Под ред. С.А. Бальтера. М.: Интерпракс, 1990: 338–400.
24. Green G.E., Morteale K.J., Glickman J.N., Benson C.B. Brenner tumors of the ovary: sonographic and computed tomographic imaging features. *J. Ultrasound Med.* 2006; 25 (10): 1245–1251. <https://doi.org/10.7863/jum.2006.25.10.1245>
25. Буланов М.Н. Ультразвуковая гинекология: курс лекций: в двух частях. Ч. II, гл. 14–25. 4-е изд. М.: Издательский дом Видар-М, 2017. 512 с.
26. Wilson M.P., Katlariwala P., Hwang J., Low G. Radiographic features of a benign mixed brenner tumor and mucinous cystadenoma: A rarely identified ovarian neoplasm on imaging. *J. Clin. Imaging Sci.* 2020; 10: 22. https://doi.org/10.25259/JCIS_1_2020
27. Weerakkody Y., Stanislavsky A. Struma ovarii tumor. Reference article, Radiopaedia.org. (accessed on 07 Jan 2022). <https://doi.org/10.53347/rID-14478>
28. Zalel Y., Seidman D.S., Oren M. et al. Sonographic and clinical characteristics of struma ovarii. *J. Ultrasound Med.* 2000; 19 (12): 857–861. <https://doi.org/10.7863/jum.2000.19.12.857>
29. Антонова И.Б., Фомин Д.К., Бабаева Н.А., Галушко Д.А., Ходорович О.С., Пятницкий И.А., Алешикова О.И., Ашрафян Л.А. Злокачественная струма яичника. Обзор литературы и собственное наблюдение редкого варианта опухоли. *Трудный пациент.* 2018; 8–9 (16): 16–22. <https://doi.org/10.24411/2074-1995-2018-10003>
30. Weinberger V., Kadlecova J., Minář L. et al. Struma ovarii – ultrasound features of a rare tumor mimicking ovarian cancer. *Med. Ultrason.* 2018; 20 (3): 355–361. <https://doi.org/10.11152/mu-1526>
31. Rockson O., Kora Ch., Ramdani A. et al. Struma ovarii: two case reports of a rare teratoma of the ovary. *J. Surg. Case Rep.* 2020; 2020 (12): rjaa493. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjaa493>
32. Chen H., Liu Y., Shen L. et al. Ovarian thecoma-fibroma groups: clinical and sonographic features with pathological comparison. *J. Ovarian Res.* 2016; 9: 81. <https://doi.org/10.1186/s13048-016-0291-2>
33. Тарловская Е.И., Камардина Н.А., Мазалов К.В. Трудный случай дифференциального диагноза кардиомиопатии и синдрома Демона–Мейгса. *Кардиология.* 2019; 59 (12S): 64–68. <https://doi.org/10.18087/cardio.n447>
34. Bailleux M., Bernard J.P., Benachi A., Deffieux X. Ovarian endometriosis during pregnancy: a series of 53 endometriomas. *Eur. J. Obstet Gynecol. Reprod. Biol.* 2017; 209: 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2015.09.037>
35. Калашник А.А., Щербакова Л.Н., Алексеенкова М.В., Панина О.Б. Течение беременности и родов у пациенток с доброкачественными образованиями яичников. *Хирургическая практика.* 2020; 1 (41): 64–71. <https://doi.org/10.38181/2223-2427-2020-1-64-71>
36. Andreotti R.F., Timmerman D., Benacerraf B.R. et al. Ovarian-Adnexal Reporting Lexicon for Ultrasound: A White Paper of the ACR Ovarian-Adnexal Reporting and Data System Committee. *J. Am. Coll. Radiol.* 2018; 15: 1415–1429. <https://doi.org/10.1016/J.JACR.2018.07.004>
37. Timmerman D., Testa A.C., Bourne T. et al. Simple ultrasound-based rules for the diagnosis of ovarian cancer. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 31: 681–690. <https://doi.org/10.1002/uog.5365>
38. Andreotti R.F., Timmerman D., Strachowski L.M. et al. O-RADS US Risk Stratification and Management System: A Consensus Guideline from the ACR Ovarian-Adnexal Reporting and Data System Committee. *Radiology.* 2020; 294 (1): 168–185. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019191150>
39. Stukan M., Dudziak M., Ratajczak K., Grabowski J.P. Usefulness of diagnostic indices comprising clinical, sonographic, and biomarker data for discriminating benign from malignant ovarian masses. *J. Ultrasound Med.* 2015; 34 (2): 207–217. <https://doi.org/10.7863/ultra.34.2.207>
40. Jeong S.Y., Park B.K., Lee Y.Y., Kim T.-J. Validation of IOTA-ADNEX Model in Discriminating Characteristics of Adnexal Masses: A Comparison with Subjective Assessment. *J. Clin. Med.* 2020; 9: 2010. <https://doi.org/10.3390/jcm9062010>
41. Tavoraitel I., Kronlachner L., Opolskiene G., Bartkeviciene D. Ultrasound Assessment of Adnexal Pathology: Standardized Methods and Different Levels of Experience. *Medicina.* 2021; 57: 708–716. <https://doi.org/10.3390/medicina57070708>
42. Tongsong T., Tinnangwattana D., Vichak-Ururto L. et al. Comparison of Effectiveness in Differentiating Benign from Malignant Ovarian Masses between IOTA Simple Rules and Subjective Sonographic Assessment. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 2016; 17 (9): 4377–4380. PMID: 27797247

References

1. Bohman Ya.V. Guide to oncogynecology. St. Petersburg: Folio, 2002. 542 p. (In Russian)
2. Clinical oncogynecology: A guide for doctors / Ed. V.P. Kozachenko. M.: Medicine publishing house, 2005. 376 p. (In Russian)
3. Syrkashev E.M., Solopova A.E., Asaturova A.V. The combination of serous papillary cystadenofibroma of the ovary with widespread external genital endometriosis. *Akusherstvo, Ginekologiya i Reproduktsiya = Obstetrics, Gynecology and Reproduction.* 2020; 14 (6): 694–703. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2020.190> (In Russian)
4. Demidov V.N., Gus A.I., Adamyan L.V., Lipatenkova Yu.I. Sonography of the pelvic organs in women. Borderline tumors, cancer and rare ovarian tumors. Practical guide. Moscow: Binom, 2017. 180 p. (In Russian)
5. Hermanns B., Faridi A., Rath W. et al. Differential diagnosis, prognostic factors, and clinical treatment of proliferative Brenner tumor of the ovary. *Ultrastruct Pathol.* 2000; 24: 191–196. <https://doi.org/10.1080/01913120050132930>



6. Turgay B., Koyuncu K., Taşkın S., Ortaç U.F. Features of ovarian Brenner tumors: Experience of a single tertiary center. *Turk. J. Obstet Gynecol.* 2017; 14: 133–137. <https://doi.org/10.4274/tjod.98216>
7. Nazari F., Dehghani Z. Coexistence of Benign Brenner Tumor with Mucinous Cystadenoma in an Ovarian Mass. *Iran J. Pathol.* 2020; 15 (4): 334–337. <https://doi.org/10.30699/IJP.2020.104017.2052>
8. Talerma A. Germ cell tumors of the ovary. In Blaustein's Pathology of the Female Genital Tract (3rd ed.) / R.J. Kurman (ed.). New York: Springer Verlag, 2001: 967–1033.
9. Ognerubov N.A., Ulitina E.D. Struma of the ovary: a case report. *Vestnik TGU = Bulletin of TSU.* 2013; 18 (5): 2855–2859. (In Russian)
10. Rockson O., Kora Ch., Ramdani A. et al. Struma ovarii: two case reports of a rare teratoma of the ovary. *J. Surg. Case Rep.* 2020; 12: 1–4. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjaa493>
11. Demidov V.N., Adamyan L.V., Lipatenkova Yu.I., Gus A.I., Mogirevskaya A.O. Echography in struma and strum carcinoid of the ovary. *Ul'trazvukovaya diagnostika = Ultrasound diagnostics.* 1997; 4: 53–56. (In Russian)
12. Frank G.A., Moskvina L.V., Andreeva Yu.Yu. New classification of ovarian tumors. *Arkhiv patologii = Archive of pathology.* 2015; 4: 40–50. <https://doi.org/10.17116/patol201577440-50> (In Russian)
13. Antonova I.B., Babaeva N.A., Alosheikova O.I., Melnikova N.V., Bolotina N.A., Lazukina I.A., Lyustik A.V., Motskobili T.A., Rustamova F.Sh. Giant ovarian fibroma with Meigs syndrome. clinical observation. *Trudnyy patsiyent = Difficult patient.* 2020; 8–9 (18): 31–35. <https://doi.org/10.24411/2074-1995-2020-10057> (In Russian)
14. Condous G., Khalid A., Okaro E., Bourne T. Should we be examining the ovaries in pregnancy? Prevalence and natural history of adnexal pathology detected at first-trimester sonography. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2004; 24 (1): 62–66. <https://doi.org/10.1002/uog.1083>
15. Bulanov M.N., Gorta R.N. Ultrasound examination of endometrioid ovarian cysts during pregnancy. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika = Ultrasonic and functional diagnostics.* 2015; 1: 55–71. (In Russian)
16. Timmerman D., Valentin L., Bourne T.H. et al. Terms, definitions and measurements to describe the sonographic features of adnexal tumors: a consensus opinion from the International Ovarian Tumor Analysis (IOTA) Group. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2000; 16 (5): 500–505.
17. Savelli L., Testa A.C., Timmerman D. et al. Imaging of gynecological disease (4): clinical and ultrasound characteristics of struma ovarii. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 32: 210–219. <https://doi.org/10.1002/uog.5396>
18. Paladini D., Testa A., Van Holsbeke C. et al. Imaging in gynecological disease (5): clinical and ultrasound characteristics in fibroma and fibrothecoma of the ovary. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34: 188–195. <https://doi.org/10.1002/uog.6394>
19. Dierickx I., Valentin L., Van Holsbeke C. et al. Imaging in gynecological disease (7): clinical and ultrasound features of Brenner tumors of the ovary. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2012; 40: 706–713. <https://doi.org/10.1002/uog.11149>
20. Mascilini F., Moruzzi C., Giansiracusa C. et al. Imaging in gynecological disease (10): clinical and ultrasound characteristics of decidualized endometriomas surgically removed during pregnancy. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2014; 44: 354–360. <https://doi.org/10.1002/uog.13323>
21. Virgilio B.A., De Blasis I., Sladkevicius P. et al. Imaging in gynecological disease (16): clinical and ultrasound characteristics of serous cystadenofibromas in adnexa. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2019; 54: 823–830. <https://doi.org/10.1002/uog.20277>
22. Taylor E.C., Irshaid L., Mathur M. Multimodality Imaging Approach to Ovarian Neoplasms with Pathologic Correlation. *RadioGraphics.* 2021; 41: 289–315. <https://doi.org/10.1148/rg.2021200086>
23. Chekalova M.A. Ultrasonic tomography in the diagnosis of pathological volumetric formations of the uterine appendages: Ultrasound diagnostics. Normative materials and methodical recommendations / Ed. S.A. Balter. M.: Interpraks, 1990: 338–400 (In Russian)
24. Green G.E., Morteale K.J., Glickman J.N., Benson C.B. Brenner tumors of the ovary: sonographic and computed tomographic imaging features. *J. Ultrasound Med.* 2006; 25 (10): 1245–1251. <https://doi.org/10.7863/jum.2006.25.10.1245>
25. Bulanov M.N. Ultrasonic gynecology: a course of lectures: in two parts. Part II, Ch. 14–25. 4th ed. M.: Vidar-M Publishing House, 2017. 512 p. (In Russian)
26. Wilson M.P., Katlariwala P., Hwang J., Low G. Radiographic features of a benign mixed brenner tumor and mucinous cystadenoma: A rarely identified ovarian neoplasm on imaging. *J. Clin. Imaging Sci.* 2020; 10: 22. https://doi.org/10.25259/JCIS_1_2020
27. Weerakkody Y., Stanislavsky A. Struma ovarii tumor. Reference article, Radiopaedia.org. (accessed on 07 Jan 2022). <https://doi.org/10.53347/rID-14478>
28. Zalel Y., Seidman D.S., Oren M. et al. Sonographic and clinical characteristics of struma ovarii. *J. Ultrasound Med.* 2000; 19 (12): 857–861. <https://doi.org/10.7863/jum.2000.19.12.857>
29. Antonova I.B., Fomin D.K., Babaeva N.A., Galushko D.A., Khodorovich O.S., Pyatnitsky I.A., Alosheikova O.I., Ashrafyan L.A. Malignant struma of the ovary. Literature review and own observation of a rare tumor variant. *Trudnyy patsiyent = Difficult patient.* 2018; 8–9 (16): 16–22. <https://doi.org/10.24411/2074-1995-2018-10003> (In Russian)
30. Weinberger V., Kadlecova J., Minář L. et al. Struma ovarii – ultrasound features of a rare tumor mimicking ovarian cancer. *Med. Ultrason.* 2018; 20 (3): 355–361. <https://doi.org/10.11152/mu-1526>
31. Rockson O., Kora Ch., Ramdani A. et al. Struma ovarii: two case reports of a rare teratoma of the ovary. *J. Surg. Case Rep.* 2020; 2020 (12): rjaa493. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjaa493>
32. Chen H., Liu Y., Shen L. et al. Ovarian thecoma-fibroma groups: clinical and sonographic features with pathological comparison. *J. Ovarian Res.* 2016; 9: 81. <https://doi.org/10.1186/s13048-016-0291-2>
33. Tarlovskaya E.I., Kamardina N.A., Mazalov K.V. Difficult case of differential diagnosis of cardiomyopathy and Demon-Meigs syndrome. *Kardiologiya = Cardiology.* 2019; 59 (12S): 64–68. <https://doi.org/10.18087/cardio.n447> (In Russian)
34. Bailleux M., Bernard J.P., Benachi A., Deffieux X. Ovarian endometriosis during pregnancy: a series of 53 endometriomas. *Eur. J. Obstet Gynecol. Reprod. Biol.* 2017; 209: 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2015.09.037>



35. Kalashnik A.A., Shcherbakova L.N., Alekseenkova M.V., Panina O.B. The course of pregnancy and childbirth in patients with benign ovarian tumors. *Khirurgicheskaya praktika = Surgical practice*. 2020; 1 (41): 64–71. <https://doi.org/10.38181/2223-2427-2020-1-64-71> (In Russian)
36. Andreotti R.F., Timmerman D., Benacerraf B.R. et al. Ovarian-Adnexal Reporting Lexicon for Ultrasound: A White Paper of the ACR Ovarian-Adnexal Reporting and Data System Committee. *J. Am. Coll. Radiol.* 2018; 15: 1415–1429. <https://doi.org/10.1016/J.JACR.2018.07.004>
37. Timmerman D., Testa A.C., Bourne T. et al. Simple ultrasound-based rules for the diagnosis of ovarian cancer. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 31: 681–690. <https://doi.org/10.1002/uog.5365>
38. Andreotti R.F., Timmerman D., Strachowski L.M. et al. O-RADS US Risk Stratification and Management System: A Consensus Guideline from the ACR Ovarian-Adnexal Reporting and Data System Committee. *Radiology*. 2020; 294 (1): 168–185. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019191150>
39. Stukan M., Dudziak M., Ratajczak K., Grabowski J.P. Usefulness of diagnostic indices comprising clinical, sonographic, and biomarker data for discriminating benign from malignant ovarian masses. *J. Ultrasound Med.* 2015; 34 (2): 207–217. <https://doi.org/10.7863/ultra.34.2.207>
40. Jeong S.Y., Park B.K., Lee Y.Y., Kim T.-J. Validation of IOTA-ADNEX Model in Discriminating Characteristics of Adnexal Masses: A Comparison with Subjective Assessment. *J. Clin. Med.* 2020; 9: 2010. <https://doi.org/10.3390/jcm9062010>
41. Tavoraitė I., Kronlachner L., Opolskiene G., Bartkeviciene D. Ultrasound Assessment of Adnexal Pathology: Standardized Methods and Different Levels of Experience. *Medicina*. 2021; 57: 708–716. <https://doi.org/10.3390/medicina57070708>
42. Tongsong T., Tinnangwattana D., Vichak-Ururrote L. et al. Comparison of Effectiveness in Differentiating Benign from Malignant Ovarian Masses between IOTA Simple Rules and Subjective Sonographic Assessment. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 2016; 17 (9): 4377–4380. PMID: 27797247

Для корреспонденции*: Озерская Ирина Аркадиевна – 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. Тел.: +7-926-606-09-05.
E-mail: ozerskaya_usd@mail.ru

Озерская Ирина Аркадиевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры ультразвуковой диагностики факультета непрерывного медицинского образования медицинского института Российского университета дружбы народов, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Чекалова Марина Альбертовна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры ультразвуковой диагностики факультета непрерывного медицинского образования медицинского института Российского университета дружбы народов, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5565-2511>

Иванов Владимир Александрович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики факультета непрерывного медицинского образования медицинского института Российского университета дружбы народов, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7208-3560>

Казарян Гаяне Геворковна – канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики ООО “Медскан”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>

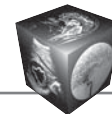
Contact*: Irina A. Ozerskaya – 6, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russian Federation.

Irina A. Ozerskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics of the Faculty of Continuing Medical Education of the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Marina A. Chekalova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics of the Faculty of Continuing Medical Education of the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5565-2511>

Vladimir A. Ivanov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Ultrasound Diagnostics of the Faculty of Continuous Medical Education of the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7208-3560>

Gayane G. Kazaryan – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of ultrasound, LLC “Medskan”, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1257>

Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии

© Артюкова З.Р.¹, Кудрявцев Н.Д.¹, Петряйкин А.В.^{1*}, Абуладзе Л.Р.¹,
Сморчкова А.К.¹, Ахмад Е.С.¹, Семенов Д.С.¹, Беляев М.Г.², Белая Ж.Е.³,
Владимирский А.В.^{1,4}, Васильев Ю.А.¹

¹ ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”; 127051 Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1, Российская Федерация

² ООО “АЙРА Лабс”, 121205 Москва, территория Инновационного центра Сколково, Большой бульвар, д. 30, стр. 1, Российская Федерация

³ ФГБУ “НМИЦ эндокринологии” Минздрава России; 117292 Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11, Российская Федерация

⁴ ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)”; 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация

Цель исследования: разработать методику автоматизированной оценки объемной минеральной плотности кости (МПК) тел позвонков с помощью алгоритма искусственного интеллекта (ИИ) и метода фантомного моделирования.

Материал и методы. Для оценки эффективности алгоритма ИИ, проводящего измерение МПК тел позвонков по данным КТ органов грудной клетки (ОГК), подготовлен набор данных: 100 пациентов старше 50 лет и отношением с/без компрессионных переломов (КП) 48/52. Из них у 83 алгоритмом ИИ и экспертами была измерена рентгеновская плотность (РП) тел позвонков на уровне $Th_{x1}-L_{III}$ (205 позвонков). Для перевода РП (НУ) в МПК применялась разработанная ранее методика ККТ ФК (Количественная компьютерная томография фантом калибровый) с построением калибровочных прямых для 7 64-срезовых КТ-сканеров. После проведения калибровки были выполнены и обработаны алгоритмом ИИ компьютерные томограммы ОГК 1853 пациентов, соотношение мужчин и женщин составило 718/1135.

Результаты. В ходе оценки эффективности алгоритма ИИ получено хорошее соответствие при сравнении измерений МПК по данным экспертов и алгоритма ИИ. Коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,945$ для отдельных позвонков ($Th_{x1}-L_{III}$) и $0,943$ для пациентов ($p = 0,000$). При разделении пациентов из тестовой выборки на группы с/без КП по данным РП были получены сходные показатели ROC AUC для экспертной разметки $0,880$ и по данным алгоритма ИИ $0,875$. При калибровке КТ-сканеров с помощью фантома, содержащего образцы МПК на основе гидрофосфата калия, получена усредненная формула зависимости $МПК = 0,77 \cdot НУ - 1,343$. С учетом критериев American College Radiology для остеопороза граничное значение $МПК < 80$ мг/мл составило $105,6$ НУ, для остеопении $МПК < 120$ мг/мл – $157,6$ НУ. При оппортунистическом определении МПК у пациентов старше 50 лет по данным алгоритма ИИ было установлено, что остеопороз выявлен у $31,72\%$ женщин и $18,66\%$ мужчин.

Заключение. Продемонстрирована хорошая сопоставимость результатов определения РП тел позвонков по данным морфометрического алгоритма ИИ и при экспертной разметке. Предложена методика и продемонстрирована эффективность оппортунистического определения МПК тел позвонков по данным КТ с помощью алгоритма ИИ и использования фантомного моделирования.

Ключевые слова: минеральная плотность кости, искусственный интеллект, количественная компьютерная томография, остеопороз, КТ-денситометрия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Артюкова З.Р., Кудрявцев Н.Д., Петряйкин А.В., Абуладзе Л.Р., Сморгчкова А.К., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Беляев М.Г., Белая Ж.Е., Владимирский А.В., Васильев Ю.А. Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 125–137. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1257>

Поступила в редакцию: 21.09.2022.

Принята к печати: 22.12.2022.

Опубликована online: 15.05.2023.



Using an artificial intelligence algorithm to assess the bone mineral density of the vertebral bodies based on computed tomography data

© Zlata R. Artyukova¹, Nikita D. Kudryavtsev¹, Alexey V. Petraikin^{1*}, Liya R. Abuladze¹, Anastasia K. Smorchkova¹, Ekaterina S. Akhmad¹, Dmitry S. Semenov¹, Mikhail G. Belyaev², Zhanna E. Belaya³, Anton V. Vladzimirskyy^{1, 4}, Yuri A. Vasiliev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Health Care Department; 24, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation

² IRA Labs, Inc., Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech); 30-1, Bolshoy Boulevard, Moscow 121205, Russian Federation

³ National Medical Research Center of Endocrinology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 11b, Dmitry Ulyanov str., Moscow 117292, Russian Federation

⁴ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow 119991, Russian Federation

Goal: To develop a method for automated assessment of the volumetric bone mineral density (BMD) of the vertebral bodies using an artificial intelligence (AI) algorithm and a phantom modeling method.

Materials and methods. Evaluation of the effectiveness of the AI algorithm designed to assess BMD of the vertebral bodies based on chest CT data. The test data set contains 100 patients aged over 50 y.o.; the ratio between the subjects with/without compression fractures (Cfr) is 48/52. The X-ray density (XRD) of vertebral bodies at T₁₁–L₃ was measured by experts and the AI algorithm for 83 patients (205 vertebrae). We used a recently developed QCT PK (Quantitative Computed Tomography Phantom Kalium) method to convert XRD into BMD followed by building calibration lines for seven 64-slice CT scanners. Images were taken from 1853 patients and then processed by the AI algorithm after the calibration. The male to female ratio was 718/1135.

Results. The experts and the AI algorithm reached a strong agreement when comparing the measurements of the XRD. The coefficient of determination was $R^2 = 0.945$ for individual vertebrae (T₁₁–L₃) and 0.943 for patients ($p = 0.000$). Once the subjects from the test sample had been separated into groups with/without Cfr, the XRD data yielded similar ROC AUC values for both the experts – 0.880, and the AI algorithm – 0.875. When calibrating CT scanners using a phantom containing BMD samples made of potassium hydrogen phosphate, the following averaged dependence formula $BMD = 0.77 \cdot HU - 1.343$ was obtained. Taking into account the American College Radiology criteria for osteoporosis, the cut-off value of BMD < 80 mg/ml was 105.6HU; for osteopenia BMD < 120 mg/ml was 157.6HU. During the opportunistic assessment of BMD in patients aged above 50 years using the AI algorithm, osteoporosis was detected in 31.72% of female and 18.66% of male subjects.

Conclusions. This paper demonstrates good comparability for the measurements of the vertebral bodies' XRD performed by the AI morphometric algorithm and the experts. We presented a method and demonstrated great effectiveness of opportunistic assessment of vertebral bodies' BMD based on computed tomography data using the AI algorithm and the phantom modeling.

Keywords: bone mineral density, artificial intelligence, quantitative computed tomography, osteoporosis, CT densitometry

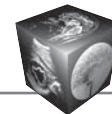
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Artyukova Z.R., Kudryavtsev N.D., Petraikin A.V., Abuladze L.R., Smorchkova A.K., Akhmad E.S., Semenov D.S., Belyaev M.G., Belaya Zh.E., Vladzimirskyy A.V., Vasiliev Yu.A. Using an artificial intelligence algorithm to assess the bone mineral density of the vertebral bodies based on computed tomography data. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 125–137. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1257>

Received: 21.09.2022.

Accepted for publication: 22.12.2022.

Published online: 15.05.2023.



Введение

Проявлением остеопороза (ОП), как метаболического заболевания, является нарушение прочности костной ткани и, как следствие, возникновение патологических переломов, в том числе компрессионных переломов (КП) тел позвонков. В качестве количественного параметра, применяемого для оценки механической прочности кости, рассматривается минеральная плотность кости (МПК) [1]. Асинхронная количественная компьютерная томография (ККТ) является передовым методом определения МПК, ее преимущество – определение МПК без сканирования калибровочного фантома с пациентом (фантом сканируется отдельно (асинхронно) один раз в месяц) [2–4]. Возможности метода – определение МПК в метаболически активном трабекулярном слое тела позвонков, что делает возможным диагностику ОП, оценку возрастных изменений МПК, терапевтической эффективности противоостеопоротических препаратов [3, 4]. Немаловажное преимущество – возможность оппортунистических исследований (по данным КТ-исследований, выполненных с другими целями). Несмотря на очевидные плюсы данной методики, имеются ограничения, связанные с необходимостью проводить регулярные калибровки томографа, необходимость приобретения специального программного обеспечения для анализа результата и формирования заключения, а также дополнительные временные затраты [2–4]. Привлекательно определение МПК тел позвонков с помощью автоматизированных алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ). Разработаны модели для изолированного определения НУ с диагностикой ОП по определенным граничным значениям, так и алгоритмы, определяющие МПК после асинхронной калибровки [5–11].

Следует отметить, что разработаны алгоритмы ИИ, изолированно определяющие КП по данным КТ-сканирования с целью оппортунистического скрининга ОП [12–14]. Однако обоснованность определения МПК с целью оппортунистического скрининга ОП по данным КТ обусловлена большим количеством состояний сниженной МПК (28,99% женщин и 13,53% мужчин старше 50 лет) по сравнению с встречаемостью КП для данной возрастной группы (7% для мужчин и женщин) [15, 16].

Таким образом, организация оппортунистического скрининга ОП с использованием алгоритмов ИИ, которые выполняют автоматический анализ КТ-изображений на наличие КП и измеряют МПК тел позвонков, является перспективным направлением. При этом для измерения МПК необходимо выполнять периодическую калибровку КТ-сканеров. Для данных целей используются фанто-

мы, содержащие образцы с минеральной плотностью [2]. В данном исследовании применялся разработанный ранее фантом на основе образцов, содержащих гидрофосфат калия [17].

Цель исследования: разработать методику автоматизированной оценки объемной МПК тел позвонков с помощью алгоритма ИИ и метода фантомного моделирования.

Материал и методы

1. Общее описание исследования

С 2020 г. проводится “эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы” ([URL://mosmed.ai](http://mosmed.ai)). За 2 года в эксперименте приняли участие 52 сервиса от 17 компаний, которыми были проанализировано 6,4 млн исследований. В рамках данного эксперимента в 2021 г. введено направление “Остеопороз” [18]. Для оценки эффективности алгоритмов ИИ, а также для допуска их к участию в данном эксперименте с целью обработки клинических КТ-изображений была разработана методология тестирования сервисов ИИ по данному направлению [19]. Клинической задачей являлось определение наличия, локализации тел позвонков с деформацией более 25%, а также их дифференцировка по степени выраженности деформации согласно классификации, предложенной Н.К. Genant [1, 20]. Дополнительно выявляется снижение МПК тел позвонков ($Th_{x1}-L_{III}$) и диагностика ОП в соответствии с критериями International Society for Clinical Densitometry (ISCD 2020) и American College of Radiology 2018 revision (ACR 2018) и [4, 21].

Сформирован и представлен дизайн исследования (рис. 1). Высокая эффективность алгоритма ИИ для определения рентгеновской плотности (РП) тел позвонков была подтверждена для 83 пациентов из набора данных (100 пациентов), подготовленного для определения точности автоматического определения КП.

Количественные измерения МПК по КТ-изображениям требуют выполнения асинхронной калибровки. Для этого использовалась методология на основе применения фантома РСК-ФК2 (Разработка средств контроля – фантом калиевый) [22]. После калибровки 7 сканеров расчет МПК выполнялся по данным автоматического измерения НУ алгоритмом ИИ, а диагностика ОП выполнялась по критериям ACR (МПК тел позвонков менее 80 мг/мл). Были проанализированы результаты 1 мес работы алгоритма ИИ в режиме оппортунистического скрининга по данным КТ органов грудной клетки (ОГК).

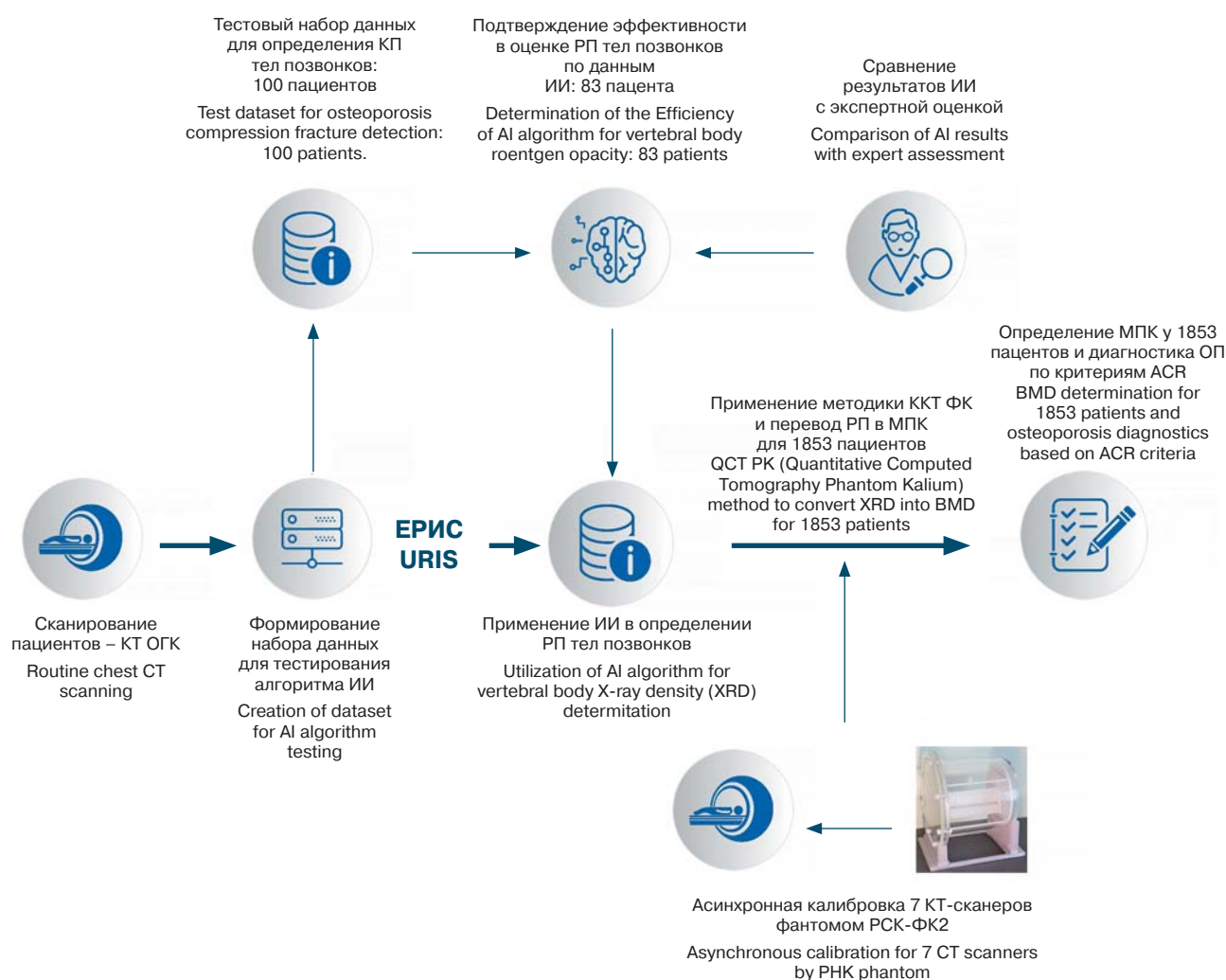


Рис. 1. Дизайн исследования. ЕРИС – Единый радиологический информационный сервис; ИИ – искусственный интеллект; ККТ ФК – количественная компьютерная томография фантом калиевый; КП – компрессионные переломы; КТ ОГК – компьютерная томография органов грудной клетки; МПК – минеральная плотность кости; ОП – остеопороз; РП – рентгеновская плотность; РСК-ФК2 – разработка средств контроля – фантом калиевый; АCR – American College of Radiology.

Fig. 1. Study design. URIS – Unified Radiological Information Service; ACR – American College of Radiology; AI – artificial intelligence; BMD – bone mineral density; Cfr – compression fractures; Chest CT – computed tomography of the chest; OP – osteoporosis; PHK – Phantom Kalium; QCT PK – Quantitative Computed Tomography Phantom Kalium; XRD – X-ray density.

2. Формирование наборов данных для тестирования алгоритма ИИ

Используя данные из Единого радиологического информационного сервиса (ЕРИС), группой экспертов были отобраны и анонимизированы исследования компьютерных томограмм ОГК для формирования тестового набора данных. Экспертная группа состояла из 4 врачей-рентгенологов, валидация проводилась 2 экспертами с опытом работы более 10 лет [23].

Критерием включения являлось: пациенты старше 50 лет, мужчины и женщины, у которых бы-

ла выполнена КТ ОГК с толщиной среза не менее 2 мм, фильтром реконструкции для мягких тканей. Экспертами определялось наличие или отсутствие КП с деформацией тел позвонков более 25%, а также проводилась оценка РП костной ткани позвонков в единицах HU. В тестовый набор данных вошло 100 исследований пациентов, из них 48 имели КП и 52 были без КП. Подбор пациентов происходил таким образом, чтобы при возрастном распределении и при распределении по полу отношение пациентов с и без КП составляло примерно 1 : 1 (рис. 2).

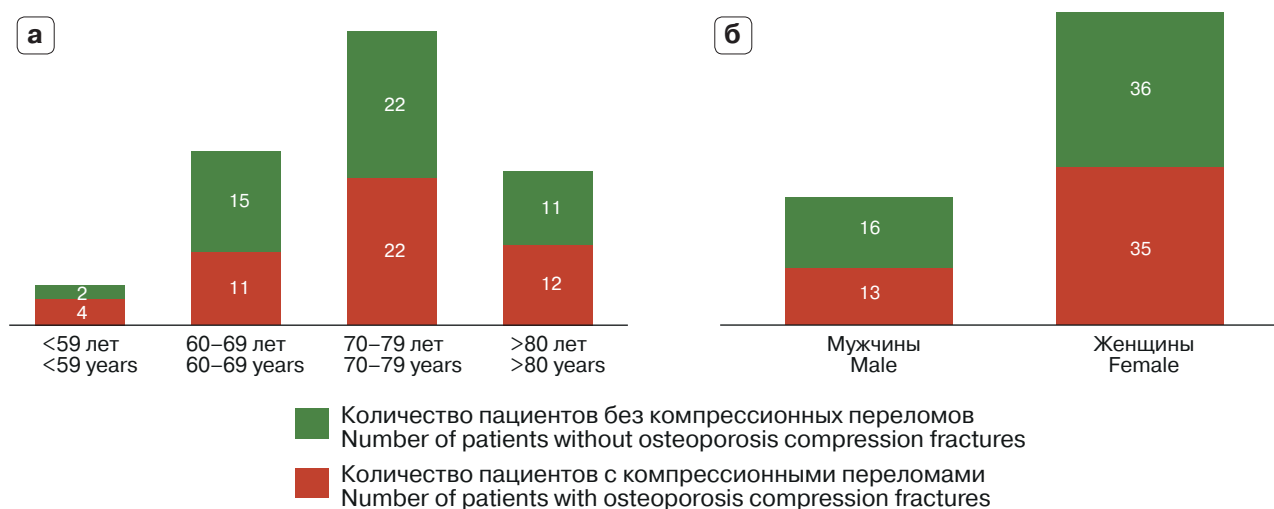
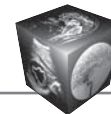


Рис. 2. Распределение пациентов с и без компрессионных переломов относительно возраста (а) и пола (б).

Fig. 2. Distribution of patients with and without compression fractures, by age (а) and gender (б).

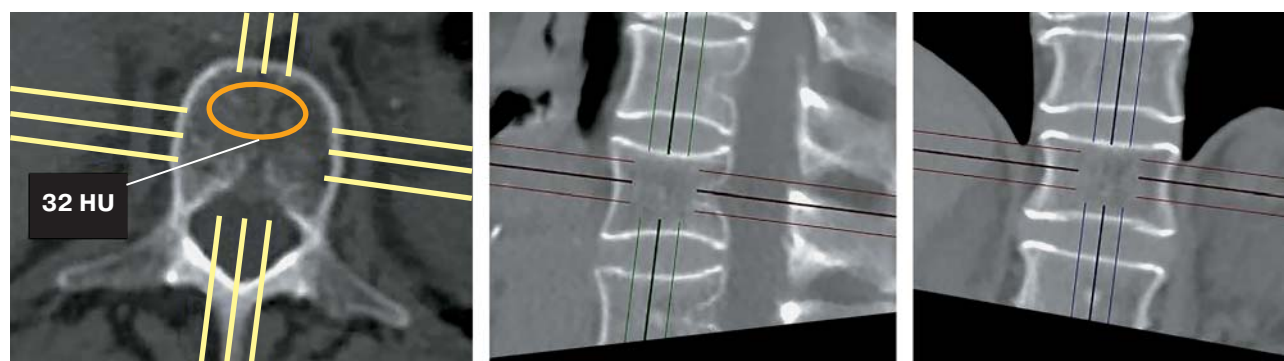


Рис. 3. Пример измерения рентгеновской плотности тела позвонка (L_1) экспертной группой.

Fig. 3. Example to measure the X-ray density (XRD) of vertebra (L_1) by the experts.

С целью тестирования функции определения РП алгоритмом ИИ было проведено измерение HU по исследованиям, включенным в набор данных. Были исключены пациенты с металлоконструкциями и метастазами, не проводились измерения единиц HU для позвонков с КП. Окончательная выборка составила 83 пациента (205 позвонков): 57 женщин и 26 мужчин. В область интереса (ROI) вошли позвонки: Th_{XI} (96%); Th_{XII} (87%); L_1 (59%); L_{II} (23%); L_{III} (4%). Измерение РП для тел позвонков проводилось экспертами в единицах HU по реконструированным аксиальным срезам толщиной 10 мм, ROI тела позвонка – максимальная площадь губчатого слоя без захвата позвоночной вены, а также каудальной и краниальной замыкательной пластины (рис. 3) [3, 22]. Согласно рекомендациям ISCD 2020, измерения наиболее корректны для тел позвонков L_1 и L_{II} , однако с учетом вышеотмеченной встречаемости позвонков на компьютер-

ных томограммах ОГК измерения проводились с усреднением для диапазона Th_{XI} – L_{III} на уровне пациентов и отдельно для данных сегментов на уровне позвонков [4]. Алгоритм ИИ проводил автоматические измерения в сагиттальной плоскости. Затем результаты были сопоставлены.

3. Фантом РСК-ФК2 и методика ККТ

Для автоматической оценки МПК по HU необходима асинхронная калибровка КТ-сканеров [4, 21]. Для калибровки применялся фантом РСК-ФК2 (рис. 4) [17]. Фантом представляет собой полый цилиндр диаметром 20 см из полиметилметакрилата, заполненного водой. В центре по оси расположены полые герметичные цилиндры и параллелепипеды из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, которые имитируют тела “позвонков”, которые заполнены раствором гидрофосфата калия (K_2HPO_4) с моделированием объемной МПК:

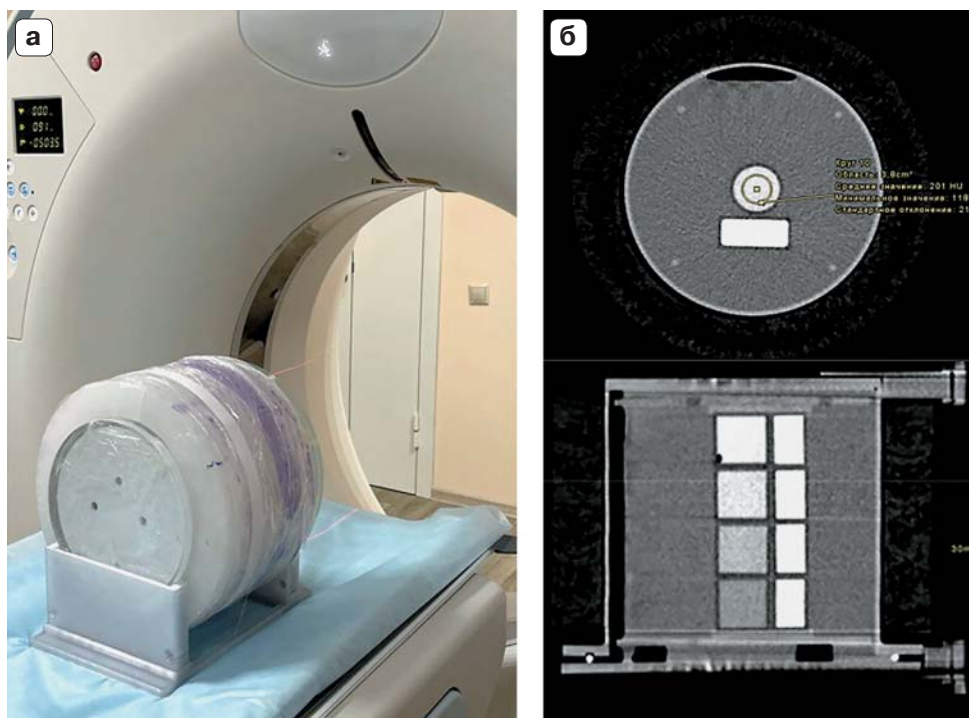
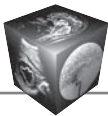


Рис. 4. Изображение фантома РСК-ФК2. **а** – внешний вид фантома при КТ; **б** – КТ-изображения фантома в аксиальной и сагиттальной проекциях.

Fig. 4. Phantom Kalium. **a** – exterior of the phantom during CT imaging; **b** – a CT image of the phantom in axial and sagittal planes.

50, 100, 150, 200 мг/мл. В конструкцию фантома входят также две парафиновые накладки с толщиной 38 мм, имитирующие жировую ткань. Калибровка была выполнена непосредственно перед исследованием. После пересчета HU в МПК оценка производилась в соответствии с критериями ACR 2018: распределение по группам “остеопороз” (МПК < 80 мг/мл), “остеопения” ($80 \leq \text{МПК} \leq 120$ мг/мл), “норма” (МПК > 120 мг/мл). Методика определения объемной МПК с помощью данного фантома обозначена как ККТ ФК (Количественная компьютерная томография фантом калиевый) и представлена ранее [22].

4. КТ-сканирование

Данные были получены для 7 КТ-сканеров Canon Aquilion 64, размещенных в разных медицинских организациях: 4 – в стационарах, 3 – в поликлиниках. КТ-исследования выполнялись в стандартном режиме сканирования ОГК: 120 кВ; ток задавался автоматически, Sure Exposure 3D (80–500 мА, стандартное отклонение шума = 10 HU); толщина срезов 1,0 мм; питч 0,828; фильтры реконструкции для мягких тканей с коррекцией эффекта усиления жесткости рентгеновского пучка (FC08), фильтр для визуализации паренхи-

мы легких. Алгоритмы итеративной реконструкции не использовались. Для обработки алгоритмом ИИ использовалась серия с фильтром FC08.

5. Принцип работы алгоритма ИИ и его применение в оценке РП

Для автоматической оценки использовался алгоритм ИИ Genant-IRA, разработанный российской компанией Айра Лабс. Алгоритм основан на сверточных нейронных сетях (convolutional neuronal networks – CNN) [14]. На первом этапе работы алгоритма происходило нахождение центров тел позвонков и “выпрямление” позвоночника. Для идентификации позвоночного столба на 3D-изображениях использовался подход, основанный на soft-argmax. После этого формировалось 2D-изображение – реконструированный сагиттальный срез толщиной 1 см в виде криволинейной реконструкции вдоль позвоночного столба для компенсации сколиотической деформации. На втором этапе проводился морфометрический анализ тел позвонков. Алгоритм автоматически детектировал тела позвонков на срезе, используя архитектуру YOLOv3. Затем находил 6 точек тела позвонка, которые соответствовали вентральному, срединному и дорсальному размеру тел

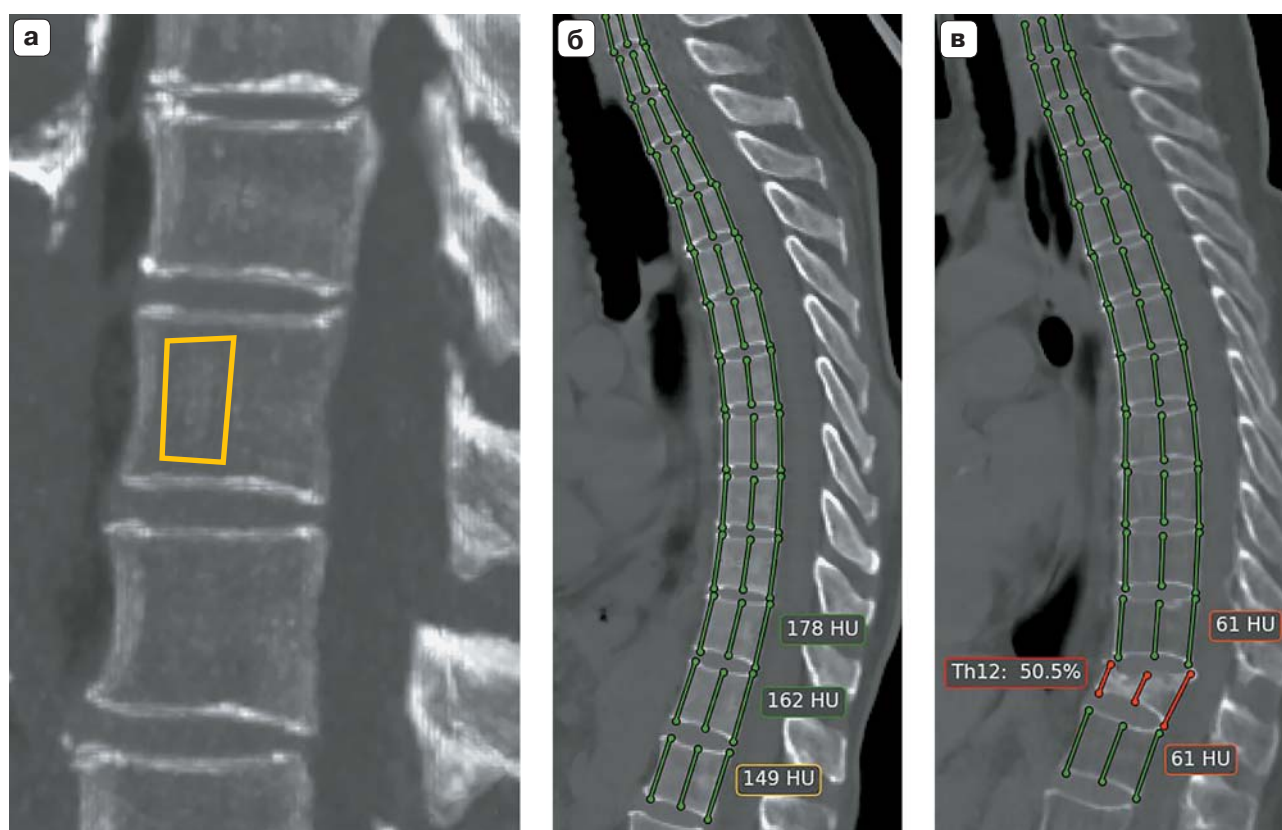
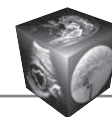


Рис. 5. Результаты обработки алгоритмом искусственного интеллекта компьютерных томограмм ОГК: реконструированные сагиттальные срезы. **а** – определение алгоритмом области интереса для измерения РП одного позвонка; **б** – пациентка 64 лет без компрессионной деформации тел позвонков более 25%; МПК соответствует норме: среднее значение 124 мг/мл (РП >150 HU); **в** – пациентка 66 лет, компрессионная деформация тела Th_{XII}-позвонка более 40%, Genant 2; МПК соответствует остеопорозу: среднее значение 46 мг/мл (РП <100 HU).

Fig. 5. Chest CT images processed by the AI (artificial intelligence) algorithm: reconstructed sagittal slices. **a** – the algorithm determined the region of interest to measure the X-ray density (XRD) of a single vertebra; **б** – a female patient, 64 years old, the loss of height of the vertebral bodies is less than 25%; bone mineral density (BMD) is normal: mean value is 124 mg/ml (XRD>150 HU); **в** – a female patient, 66 years old, loss of height of the Th_{XII} vertebral body is over 40%, Genant 2; BMD corresponds to osteoporosis: mean value is 46 mg/ml (XRD < 100 HU).

позвонков. После этого производился расчет степени компрессионной деформации по классификации Genant, где Genant 1 – деформация до 25%; Genant 2 – деформация 25–40%; Genant 3 – деформация от 40% [14, 20, 24]. Степень деформации отмечена: красным – выраженная (более 40%), оранжевым – умеренная (от 25 до 40%), зеленым – слабая или без деформации (менее 25%) (рис. 5б,в).

Автоматическое измерение РП губчатого вещества алгоритмом ИИ проводится без захвата замыкательных пластинок и кортикального слоя в вентральном отделе тел позвонков на уровне Th_{XI}–L_{III}. Алгоритм устанавливает ROI толщиной 1 см в виде трапеции на сагиттальном реконструированном срезе толщиной 1 см (рис. 5а) на расстоянии граней трапеции на 3 мм от кортикально-

го слоя. Измерение не проводится для позвонков с деформацией более 25%.

Полученные данные работы алгоритма ИИ передаются в ЕРИС как отдельная серия анализируемого пациента в виде изображения и текста в формате DICOM SR. Платформа ЕРИС представлена на основе Agfa Healthcare Enterprise Imaging, IMPAX Agility 8.1.2 SP5.6.

6. Контингент пациентов

После проведения асинхронной калибровки на 7 КТ-сканерах в течение месяца было выполнено определение МПК у пациентов в оппортунистическом режиме при проведении КТ ОГК. Число пациентов старше 50 лет составило 1910. Были исключены: 31 (1,6%) пациент из-за ошибок передачи данных, 17 (0,8%) вследствие артефактов движе-

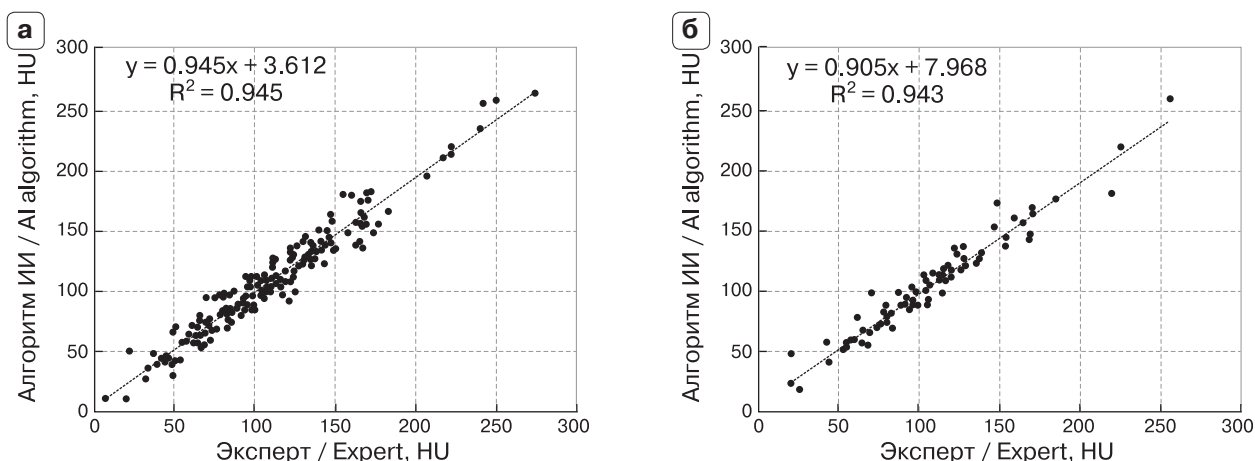


Рис. 6. Сопоставление оценки рентгеновской плотности тел позвонков в единицах HU с помощью сервиса искусственного интеллекта и экспертной разметки на уровне позвонков (а) и на уровне пациентов (б).

Fig. 6. Assessments of X-ray density of the vertebral bodies in HU performed by the artificial intelligence service and the experts both at the vertebral (a) and patient (b) levels.

ния, 9 (0,3%) из-за ошибки обработки алгоритмом. В окончательный анализ включено 1853 пациента, средний возраст составил 66,3 года со стандартным отклонением $\pm 10,8$ года. Соотношение мужчин и женщин составило 718/1135.

Уровень значимости принят $p = 0,05$.

Результаты

При выполнении исследования была оценена эффективность алгоритма ИИ по определению РП в сравнении с экспертной разметкой и проведена калибровка КТ-сканеров с целью автоматизированной оценки плотности костной ткани. Показан высокий коэффициент детерминации при сравнении РП между измерениями алгоритмом ИИ и при экспертной разметке $R^2 = 0,945$ ($p = 0,000$) на уровне позвонков ($Th_{XI}-L_{III}$) (рис. 6а) и $0,943$ ($p = 0,000$) на уровне пациентов (рис. 6б). Вместе с тем отмечается небольшое завышение измерений, выполненных экспертами на 2,4 HU (средне-квадратичное отклонение (СКО) 10,37; 95% доверительный интервал (ДИ) 1,41) для отдельных позвонков и на 2,2 HU (СКО 10,51; 95% ДИ 2,26) для пациентов. Методом парного t-критерия Стьюдента показано, что данные различия достоверны на уровне принятого уровня значимости для позвонков ($p = 0,001$) и недостоверны для пациентов ($p = 0,053$). Исследование установило, что средние показатели РП достоверно ($p = 0,000$ по данным t-критерия Стьюдента) выше в группе пациентов без КП при экспертной разметке 132,0 HU (СКО 40,10; 95% ДИ 12,27) по сравнению с группой пациентов с переломами 79,6 HU (СКО 28,49; 95% ДИ 8,94). При разделении пациентов на группы с/без переломов показатель ROC AUC для РП

тел позвонков в единицах HU по данным экспертной разметки составил 0,880 (95% ДИ 0,075), а для алгоритма ИИ 0,875 (95% ДИ 0,0795) (рис. 7), ход кривых совпадал по форме с перекрытием доверительных интервалов.

По данным калибровки 7 КТ-сканеров с фантомом РСК-ФК2, выполненной в 5 медицинских ор-

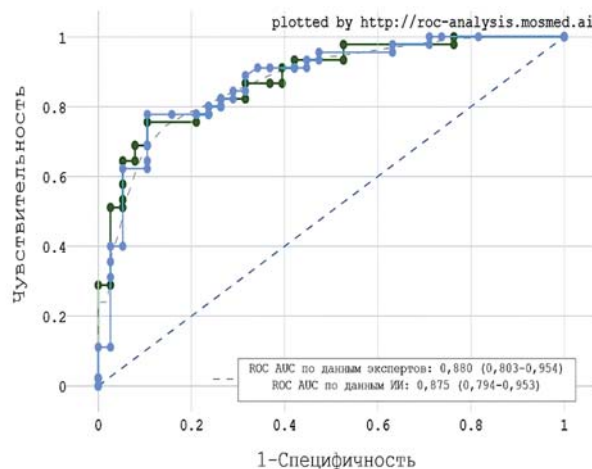
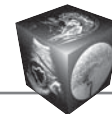


Рис. 7. Сопоставление ROC-кривых, полученных при определении HU тел позвонков (сравниваются средние по $Th_{XI}-L_{III}$) с/без компрессионных переломов: зеленая кривая – экспертный анализ, синяя кривая – алгоритм искусственного интеллекта.

Fig. 7. ROC-curves obtained by determining HU of the vertebral bodies (averages for $Th_{XI}-L_{III}$ are compared) with/without compression fractures: green curve – expert analysis, blue curve – artificial intelligence algorithm. Horizontal line: 1-Specificity, vertical line – Sensitivity. ROC AUC according to expert 0.880 (0.803–0.954) s. ROC AUC according to AI 0.875 (0.794–0.953).



ганизациях, были получены достаточно сопоставимые результаты калибровочных зависимостей, учитывая идентичность типов 64-срезовых сканеров и режимов исследований. Калибровочная прямая со средним значением коэффициента угла наклона и коэффициентом смещения угла для всех компьютерных томографов имела вид (на примере одного из сканеров): $МПК = 0,77 \cdot НУ - 1,343$. СКО для коэффициента угла наклона составило 0,005 (95% ДИ: [0,767; 0,774]), а для коэффициента смещения СКО – 1,137 (95% ДИ: [-2,18; -0,501]). Эти калибровки могут быть использованы как ориентировочные для данных типов 64-срезовых сканеров. Для данной работы расчеты выполнялись для каждого сканера отдельно. При использовании калибровочных коэффициентов были рассчитаны значения РП в единицах НУ, соответствующие граничным значения МПК для ОП (80 мг/мл), что составило 105,6 НУ (95% ДИ: [104,9; 106,4]), и для остеопении (120 мг/мл), что составило 157,6 (95%: [155,6; 159,3]).

При оппортунистическом определении МПК у пациентов старше 50 лет по данным алгоритма ИИ было определено, что средние показатели МПК у женщин составили 95,52 мг/мл (СКО 34,52; 95% ДИ 2,01), у мужчин – 105,29 мг/мл (СКО 29,88; 95% ДИ 2,19); различия средних показателей достоверны ($p = 0,000$, по данным t -критерия Стьюдента). Распределения пациентов по группам: остеопороз/osteопении/норма составили для женщин: 360/244/531, или 31,72%/21,50%/46,78%, для мужчин 134/203/381, или 18,66%/28,27%/53,06%.

Обсуждение

В ходе работы показана хорошая сопоставимость результатов определения РП тел позвонков по данным морфометрического алгоритма ИИ и при экспертной разметке. Для тестовой выборки (83 пациента) коэффициенты детерминации составили $R^2 = 0,945$ для измерения РП отдельных позвонков (см. рис. 6а) и $R^2 = 0,943$ для пациентов (см. рис. 6б). Несколько меньшие коэффициенты детерминации $R^2 = 0,80$ для экспертного и автоматического определения РП для L_1 позвонка отмечены в работе [9].

Нами показано, что при экспертной разметке происходит завышение РП тел позвонков по сравнению с измерением с помощью алгоритма ИИ в среднем на 2,4 НУ для отдельных позвонков и на 2,2 НУ для пациентов. Это можно объяснить тем, что эксперты проводили измерения в аксиальной плоскости параллельно замыкательным пластинкам в срединных отделах позвонка, алгоритм же проводил измерения на сагиттальном срезе.

Повышение плотности в центральной части тела позвонка обусловлено анатомическими особенностями. Ранее отмечено подобное достоверное завышение на 3,6 НУ при измерении РП тел позвонков L_1 в аксиальной проекции по сравнению с сагиттальной по данным экспертной разметки, в другом исследовании было показано повышение на 5 НУ [9, 25].

При разделении пациентов тестовой выборки на группы с/без КП по данным РП получена хорошая сопоставимость форм ROC-кривых и показателя ROC AUC для экспертной разметки 0,880; для алгоритма 0,875 с перекрытием 95% ДИ как для ROC-кривых, так и для ROC AUC (см. рис. 7). Эти данные хорошо сопоставимы с результатами: ROC AUC 0,885 для автоматического определения МПК и 0,894 для экспертного, а также соответствуют ROC AUC 0,88 для аналогичной задачи с применением МПК и текстурного анализа тел позвонков [10, 11].

Определение РП в НУ позволяет диагностировать состояние ОП, однако данные о граничных значениях неоднозначные. Примененный нами алгоритм ИИ имеет границы 150 НУ для определения остеопении и 100 НУ для диагностики ОП, в то время как проведенные расчеты на основе фантомного моделирования демонстрируют значения 157,6 НУ для остеопении и 105,6 НУ для ОП. Другими авторами приводятся данные о диагностике ОП с 90% чувствительностью для порога 160 НУ и 90% специфичностью для порога 110 НУ, в другой публикации проводятся соответствующие верхний 160 НУ и нижний 73 НУ [5, 26].

Более универсален подход, основанный на калибровке сканеров с помощью фантома с образцами МПК, при этом состояния ОП и остеопении были определены в соответствии с критериями ACR 2018 [21]. В нашем исследовании была использована разработанная ранее методика асинхронной ККТ ФК для перевода НУ в МПК с использованием фантома РСК ФК 2 [17, 22]. Были выполнены калибровки 7 сканеров и получены соответствующие линейные зависимости между данными величинами.

Хорошее соответствие результатов определения РП тел позвонков в НУ по данным экспертов и алгоритма ИИ, наличие асинхронной калибровки сканеров позволили выполнить автоматическое определение МПК при сканировании компьютерных томограмм ОГК у пациентов оппортунистически с помощью алгоритма ИИ. Состояние ОП у 1853 пациентов старше 50 было определено у 31,72% женщин и 18,66% мужчин. Эти данные несколько превышают показатели, полученных методом асинхронной ККТ (28,99% женщин



и 13,53% мужчин старше 50 лет), а также соответствуют распространенности ОП по данным двух-энергетической рентгеновской абсорбциометрии у женщин 30,3% [16, 27].

Заключение

Продемонстрирована хорошая сопоставимость результатов определения рентгеновской плотности тел позвонков по данным морфометрического алгоритма ИИ и при экспертной разметке. Предложена методика оппортунистического определения минеральной плотности тел позвонков по данным КТ с помощью алгоритма искусственного интеллекта и проведения асинхронной калибровки КТ-сканеров с использованием ранее разработанного фантома РСК-ФК2.

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР “Разработка и создание аппаратно-программного комплекса для оппортунистического скрининга остеопороза” (№ ЕГИСУ: 123031400007-7).

Участие авторов

Артюкова З.Р. – сбор и обработка данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Кудрявцев Н.Д. – сбор и обработка данных, проведение исследования.

Петрайкин А.В. – анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных.

Абуладзе Л.Р. – сбор и обработка данных, обзор публикации по теме статьи.

Сморчкова А.К. – проведение исследования, подготовка, создание опубликованной работы.

Ахмад Е.С. – обзор публикаций по теме статьи.

Семенов Д.С. – подготовка и редактирование текста.

Беляев М.Г. – подготовка и редактирование текста, статистическая обработка данных.

Белая Ж.Е. – участие в научном дизайне, концепция и дизайн исследования.

Владимирский А.В. – написание текста, подготовка и редактирование текста.

Васильев Ю.А. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Artyukova Z.R. – collection and analysis of data preparation and creation of the published work.

Kudryavtsev N.D. – collection and analysis of data, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data.

Petraikin A.V. – analysis and interpretation of the obtained data, statistical analysis.

Abuladze L.R. – collection and analysis of data, review of publications.

Smorchkova A.K. – conducting research, preparation and creation of the published work.

Akhmad E.S. – review of publications.

Semenov D.S. – text preparation and editing.

Belyaev M.G. – text preparation and editing, statistical analysis.

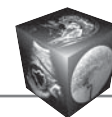
Belaya Zh.E. – participation in scientific design, concept and design of the study.

Vladimirsky A.V. – writing text, text preparation and editing.

Vasiliev Yu.A. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Белая Ж.Е., Белова К.Ю., Бирюкова Е.В. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза. *Остеопороз и остеопатии*. 2021; 24 (2): 4–47. <https://doi.org/10.14341/osteo12930>
2. Brown J.K., Timm W., Bodeen G. et al. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
3. Петрайкин А.В., Скрипникова И.А. Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 134–146. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1049>
4. 2019 ISCD Official Positions – Adult – International Society for Clinical Densitometry. Available at <https://iscd.org/wp-content/uploads/2021/09/2019-Official-Positions-Adult-1.pdf> Accessed August 20, 2022
5. Alacreu E., Moratal D., Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe. *Osteoporos. Int.* 2017; 28 (3): 983–990. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3804-3>
6. Jang S., Graffy P.M., Ziemlewicz T. J. et al. Opportunistic osteoporosis screening at routine abdominal and Thoracic CT: Normative L1 trabecular attenuation values in more than 20 000 adults. *Radiology*. 2019; 291 (2): 360–367. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019181648>
7. Savage R.H., van Assen M., Martin S.S. et al. Utilizing Artificial Intelligence to Determine Bone Mineral Density Via Chest Computed Tomography. *J. Thorac. Imaging*. 2020; 35 (1): S35–S39. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000484>
8. Tang C. Zhang, W., Li, H. et al. CNN-based qualitative detection of bone mineral density via diagnostic CT slices for osteoporosis screening. *Osteoporos. Int.* 2021; 32: 971–979. <https://doi.org/10.1007/s00198-020-05673-w>
9. Pickhardt P.J., Lee S.J., Liu J. et al. Population-based opportunistic osteoporosis screening: Validation of a fully automated CT tool for assessing longitudinal BMD changes. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1094): 20180726. <https://doi.org/10.1259/bjr.20180726>
10. Löffler M.T., Jacob A., Scharf A. et al. Automatic opportunistic osteoporosis screening in routine CT: improved prediction of patients with prevalent vertebral fractures compared to DXA. *Eur. Radiol.* 2021; 31: 6069–6077. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07655-2>



11. Valentinitsch A., Trebeschi S., Kaesmacher J. et al. Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images via local classification of textures. *Osteoporos. Int.* 2019; 30: 1275–1285. <https://doi.org/10.1007/s00198-019-04910-1>
12. Bar A., Wolf L., Amitai O. B. et al. Compression fractures detection on CT. *Medical Imaging 2017: Computer-Aided Diagnosis*. SPIE, 2017; 10134: 1013440. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.01671>
13. Tomita N., Cheung Y.Y., Hassanpour S. Deep neural networks for automatic detection of osteoporotic vertebral fractures on CT scans. *Comput. Biol. Med.* 2018; 98: 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.05.011>
14. Zakharov A., PISOV M., Bukharaev A. et al. Interpretable vertebral fracture quantification via anchor-free landmarks localization. *Med. Image Analysis*. 2023; 83: 102646. <https://doi.org/10.1016/j.media.2022.102646>
15. Лесняк О.М., Норой Л. Аудит состояния проблемы остеопороза в странах Восточной Европы и Центральной Азии 2010. 2011. Available at https://www.osteoporosis.foundation/sites/IOFbonehealth/files/201906/2010_Eastern_European_Central_Asian_Audit_Russian.pdf Accessed August 20, 2022
16. Cheng X., Zhao K., Zha X. et al. Opportunistic Screening Using Low-Dose CT and the Prevalence of Osteoporosis in China: A Nationwide, Multicenter Study. *J. Bone Miner. Res.* 2021; 36 (3): 427–435. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4187>
17. Петрайкин А.В., Смолярчук М.Я., Петрайкин Ф.А. и др. Оценка точности денситометрических исследований. Применение фантома РСК ФК2. *Травматология и ортопедия России*. 2019; 25 (3): 124–134. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134>
18. Морозов С. П., Владимировский А.В., Ледихова Н.В. и др. Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов. *Врач и информационные технологии*. 2020; 4, 14–23. <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-4-14-23>
19. Andreychenko A.E., Logunova T.A., Gombolevskiy V.A. et al. A methodology for selection and quality control of the radiological computer vision deployment at the megalopolis scale. *medRxiv*. 2022: 2022.02.12.22270663. <https://doi.org/10.1101/2022.02.12.22270663>
20. Genant H.K., Wu C. Y., Kuijket C.V. al. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *J. Bone Miner.* 1993; 8 (9): 1137–1148. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650080915>
21. The American College of Radiology. ACR–SPR–SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (Qct). Published 2018. <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/QCT.pdf> Accessed August 20, 2022
22. Петрайкин А.В., Сморчкова А.К., Кудрявцев Н.Д. и др. Сравнение двух методик асинхронной КТ-денситометрии. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (4): 108–118. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-108-118>
23. Павлов Н.А., Андрейченко А.Е., Владимировский А.В. и др. Эталонные медицинские датасеты (MosMedData) для независимой внешней оценки алгоритмов на основе искусственного интеллекта в диагностике. *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (1): 49–65. <https://doi.org/10.17816/DD60635>
24. Петрайкин А.В., Белая Ж.Е., Киселева А.Н. и др. Технология искусственного интеллекта для распознавания компрессионных переломов позвонков с помощью модели морфометрического анализа, основанной на сверточных нейронных сетях. *Проблемы эндокринологии*. 2020; 66 (5): 48–60. <https://doi.org/10.14341/probl12605>
25. Lee S.J., Binkley N., Lubner M.G. et al. Opportunistic screening for osteoporosis using the sagittal reconstruction from routine abdominal CT for combined assessment of vertebral fractures and density. *Osteoporos Int.* 2016; 27: 1131–1136. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3318-4>
26. Pickhardt P.J., Pooler B. D., Lauder T. et al. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann. Intern. Med.* 2013; 158 (8): 588–595. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-158-8-201304160-00003>
27. Kanis J.A. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: Synopsis of a WHO report. *Osteoporos. Int.* 1994; 6 (4): 368–381. <https://doi.org/10.1007/BF01622200>

References

1. Belaya Z.E., Belova K.Yu., Biryukova E.V. et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2021; 24 (2): 4–47. <https://doi.org/10.14341/osteo12930> (In Russian)
2. Brown J.K., Timm W., Bodeen G. et al. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
3. Petraiin A.V., Skripnikova I.A. Quantitative Computed Tomography, modern data. Review. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 134–146. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1049> (In Russian)
4. 2019 ISCD Official Positions – Adult – International Society for Clinical Densitometry. Available at <https://iscd.org/wp-content/uploads/2021/09/2019-Official-Positions-Adult-1.pdf> Accessed August 20, 2022
5. Alacreu E., Moratal D., Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe. *Osteoporos. Int.* 2017; 28 (3): 983–990. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3804-3>
6. Jang S., Graffy P.M., Ziemlewicz T. J. et al. Opportunistic osteoporosis screening at routine abdominal and Thoracic CT: Normative L1 trabecular attenuation values in more than 20 000 adults. *Radiology*. 2019; 291 (2): 360–367. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019181648>
7. Savage R.H., van Assen M., Martin S.S. et al. Utilizing Artificial Intelligence to Determine Bone Mineral Density Via Chest Computed Tomography. *J. Thorac. Imaging*. 2020; 35 (1): S35–S39. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000484>
8. Tang C. Zhang, W., Li, H. et al. CNN-based qualitative detection of bone mineral density via diagnostic CT slices for osteoporosis screening. *Osteoporos. Int.* 2021; 32: 971–979. <https://doi.org/10.1007/s00198-020-05673-w>
9. Pickhardt P.J., Lee S.J., Liu J. et al. Population-based opportunistic osteoporosis screening: Validation of a fully automated CT tool for assessing longitudinal BMD changes. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1094): 20180726. <https://doi.org/10.1259/bjr.20180726>



10. Löffler M.T., Jacob A., Scharr A. et al. Automatic opportunistic osteoporosis screening in routine CT: improved prediction of patients with prevalent vertebral fractures compared to DXA. *Eur. Radiol.* 2021; 31: 6069–6077. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07655-2>
11. Valentinič A., Trebeschi S., Kaesmacher J. et al. Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images via local classification of textures. *Osteoporos. Int.* 2019; 30: 1275–1285. <https://doi.org/10.1007/s00198-019-04910-1>
12. Bar A., Wolf L., Amitai O. B. et al. Compression fractures detection on CT. *Medical Imaging 2017: Computer-Aided Diagnosis*. SPIE, 2017; 10134: 1013440. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.01671>
13. Tomita N., Cheung Y.Y., Hassanpour S. Deep neural networks for automatic detection of osteoporotic vertebral fractures on CT scans. *Comput. Biol. Med.* 2018; 98: 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.05.011>
14. Zakharov A., Pisov M., Bukharaev A. et al. Interpretable vertebral fracture quantification via anchor-free landmarks localization. *Med. Image Analysis*. 2023; 83: 102646. <https://doi.org/10.1016/j.media.2022.102646>
15. Lesnyak O.M., Noroi L. The Eastern European & Central Asian Regional Audit Epidemiology, costs & burden of osteoporosis in 2010. 2011. (In Russian). Available at https://www.osteoporosis.foundation/sites/iofbonehealth/files/201906/2010_Eastern_European_Central_Asian_Audit_Russian.pdf Accessed August 20, 2022
16. Cheng X., Zhao K., Zha X. et al. Opportunistic Screening Using Low-Dose CT and the Prevalence of Osteoporosis in China: A Nationwide, Multicenter Study. *J. Bone Miner. Res.* 2021; 36 (3): 427–435. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4187>
17. Petraikin A.V., Smoliarchuk M.Y., Petryaykin F.A., et al. Assessment the Accuracy of Densitometry Measurements Using DMA PP2 Phantom. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019; 25 (3): 124–134. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134> (In Russian)
18. Morozov S.P., Vladzhymsky A.V., Ledikhova N.V. et al. Moscow experiment on computer vision in radiology: involvement and participation of radiologists. *Information technologies for the Physician*. 2020; 4, 14–23. <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-4-14-23> (In Russian)
19. Andreychenko A.E., Logunova T.A., Gombolevskiy V.A. et al. A methodology for selection and quality control of the radiological computer vision deployment at the megalopolis scale. *medRxiv*. 2022; 2022.02.12.22270663. <https://doi.org/10.1101/2022.02.12.22270663>
20. Genant H.K., Wu C. Y., Kuijket C.V. al. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *J. Bone Miner.* 1993; 8 (9): 1137–1148. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650080915>
21. The American College of Radiology. ACR–SPR–SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (Qct). Published 2018. <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/QCT.pdf> Accessed August 20, 2022
22. Petraikin A.V., Smorchkova A.K., Kudryavtsev N.D. et al. Comparison of two asynchronous QCT methods. *Medical Visualization*. 2020; 24 (4): 108–118. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-108-118> (In Russian)
23. Pavlov N.A., Andreychenko A.E., Vladzhymsky A.V. et al. Reference medical datasets (MosMedData) for independent external evaluation of algorithms based on artificial intelligence in diagnostics. *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (1): 49–65. <https://doi.org/10.17816/DD60635> (In Russian)
24. Petraikin A.V., Belaya Z.E., Kiseleva A.N. et al. Artificial intelligence for diagnosis of vertebral compression fractures using a morphometric analysis model, based on convolutional neural networks. *Problems of Endocrinology*. 2020; 66 (5): 48–60. <https://doi.org/10.14341/probl12605> (In Russian)
25. Lee S.J., Binkley N., Lubner M.G. et al. Opportunistic screening for osteoporosis using the sagittal reconstruction from routine abdominal CT for combined assessment of vertebral fractures and density. *Osteoporos Int.* 2016; 27: 1131–1136. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3318-4>
26. Pickhardt P.J., Pooler B. D., Lauder T. et al. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann. Intern. Med.* 2013; 158 (8): 588–595. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-158-8-201304160-00003>
27. Kanis J.A. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: Synopsis of a WHO report. *Osteoporos. Int.* 1994; 6 (4): 368–381. <https://doi.org/10.1007/BF01622200>

Для корреспонденции*: Петрайкин Алексей Владимирович – 127051 Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1. Тел.: +7-926-575-4602.
E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Артюкова Злата Романовна – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2960-9787>

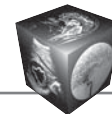
Кудрявцев Никита Дмитриевич – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4203-0630>

Петрайкин Алексей Владимирович – доктор мед. наук, доцент, главный научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>

Абуладзе Лия Руслановна – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>

Сморчкова Анастасия Кирилловна – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9766-3390>

Ахмад Екатерина Сергеевна – научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8235-9361>



Семенов Дмитрий Сергеевич – начальник сектора стандартизации и контроля качества отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>

Беляев Михаил Геннадьевич – канд. физ.-мат. наук, профессор, генеральный директор ООО “АЙРА Лабс”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9906-6453>

Белая Жанна Евгеньевна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник, заведующая отделением нейроэндокринологии и остеопатий ФГБУ “НМИЦ эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6674-6441>

Владимирский Антон Вячеславович – доктор мед. наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ; профессор кафедры информационных и интернет-технологий, ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Contact*: Alexey V. Petraikin – 24/1, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation. Phone: +7-926-575-4602.

E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Zlata R. Artyukova – Junior Researcher of the Department of Innovation Technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2960-9787>

Nikita D. Kudryavtsev – Junior Researcher of the Department of Innovation Technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4203-0630>

Alexey V. Petraikin – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Chief Researcher of the Department of Innovation Technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>

Liya R. Abuladze – Junior Researcher of the Department of Innovation Technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>

Anastasia K. Smorchkova – Junior Researcher of the Department of Innovation Technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9766-3390>

Ekaterina S. Akhmad – Researcher of the Department of Innovation Technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8235-9361>

Dmitry S. Semenov – Head of the Sector Standardization and Quality Control of the Department of Innovation Technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>

Mikhail G. Belyaev – Doct. of Sci. (Phys.-Math.), Professor, IRA Labs, Inc. CEO, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9906-6453>

Zhanna E. Belaya – Doct. of Sci. (Med.), Chief Researcher, Head of Department of Neuroendocrinology and Bone Disease, The National Medical Research Centre for Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6674-6441>

Anton V. Vladzimirskyy – Doct. of Sci. (Med.), Associate director of Science, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; Professor at Information and Internet Technologies Chair, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Yuri A. Vasiliev – Cand. of Sci. (Med.), CEO, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1151>

Оценка перспектив использования технологий искусственного интеллекта для анализа КТ-изображений органов грудной клетки с целью выявления признаков злокачественных новообразований в легких

© Пилюс П.С.^{1*}, Дрокин И.С.¹, Баженова Д.А.^{1, 2},
Маковская Л.А.^{1, 2}, Сеницын В.Е.^{1, 2}

¹ ООО «Интеллоджик», 121205 Москва, Сколково, Большой Бульвар 42/1, Российская Федерация

² Медицинский научно-образовательный центр ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; 119192 Москва, Ломоносовский проспект, 27, к. 10, Российская Федерация

³ ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России; 125367 Москва, Ивановское шоссе, д. 3, Российская Федерация

Цель исследования: проанализировать возможность применения технологий искусственного интеллекта в качестве системы поддержки принятия решения врачей-рентгенологов для выявления узлов в легких при КТ органов грудной клетки в обычное время и в условиях пандемии COVID-19 на примере системы Botkin.AI.

Материал и методы. Были выделены две группы исследований компьютерных томограмм органов грудной клетки: выполненные до (1-я группа) и во время пандемии COVID-19 (2-я группа). Каждая группа содержала анонимизированные данные КТ-исследований 150 пациентов. При исследовании компьютерных томограмм органов грудной клетки 2-й группы были выбраны те, на которых объем изменений, вызванных коронавирусом SARS-CoV2, не превышал 25%. Исследования были проанализированы системой искусственного интеллекта Botkin.AI на предмет наличия периферических легочных узлов размером более 6 мм с последующей «слепой» проверкой результатов анализа тремя врачами-рентгенологами.

Результаты. В 1-й группе чувствительность метода составила 1,0, специфичность – 0,88 и AUC – 0,94, во 2-й группе – 0,93, 0,81 и 0,86 соответственно.

Во 2-й группе небольшое снижение специфичности связано преимущественно с увеличением ложноположительных результатов в виде множественных уплотнений легкого, как проявления коронавирусного поражения легких, принятых моделью искусственного интеллекта за легочные узлы.

Заключение. Платформа обладает высокой точностью обнаружения легочных узлов на компьютерных томограммах органов грудной клетки как в исследованиях, проведенных до, так и во время пандемии COVID-19. Ее использование может быть полезным для предотвращения возможных пропусков важных находок в условиях повышенной нагрузки на врачей-рентгенологов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, компьютерная томография, рак легкого, COVID-19

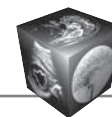
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Пилюс П.С., Дрокин И.С., Баженова Д.А., Маковская Л.А., Сеницын В.Е. Оценка перспектив использования технологий искусственного интеллекта для анализа КТ-изображений органов грудной клетки с целью выявления признаков злокачественных новообразований в легких. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 138–146. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1151>

Поступила в редакцию: 06.03.2022.

Принята к печати: 22.03.2023.

Опубликована online: 15.05.2023.



Evaluation of the prospects for using artificial intelligence technologies to analyze CT scans of the chest organs in order to identify signs of malignant neoplasms in the lungs

© Polina S. Pilius^{1*}, Ivan S. Drokin¹, Daria A. Bazhenova^{1, 2},
Lyudmila A. Makovskaya^{1, 2}, Valentin E. Sinitsyn^{1, 2}

¹ ООО "Intellogic"; 42/1, Bol'shoy Bul'var, Skolkovo, Moscow 143026, Russian Federation

² Medical Research and Education Center of Lomonosov Moscow State University; 27-10, Lomonosovsky prospekt, Moscow 119192, Russian Federation

³ National Medical Research Treatment and Rehabilitation Center of the Ministry of Health of Russia; 3, Ivankovskoye shosse, Moscow 125367, Russian Federation

The purpose of the study. To analyze the possibility of using artificial intelligence as a decision support system for radiologists for pulmonary nodules detection on Chest CT before and during the COVID-19 pandemic on the example of the system Botkin.AI.

Materials and methods. Two groups of Chest CT studies were identified: those performed before (group 1) and during the COVID-19 pandemic (group 2). Each group contains anonymized CT data of 150 patients. Chest CT scans for group 2 were selected based on the percentage of coronavirus lung damage from 0 to 25%. The research was analyzed by the artificial intelligence system Botkin. AI for the presence of peripheral pulmonary nodes up to 6 mm, followed by a "blind" check of the analysis results by three radiologists.

Results. In group 1, the sensitivity of the method was 1.0; specificity – 0.88 and AUC – 0.94. In the 2nd group 0.93; 0.81 and 0.86, respectively.

In group 2, a slight decrease in specificity is mainly associated with an increase in false positive results in the pulmonary opacities, as manifestations of coronavirus lung damage, taken by the AI model for pulmonary nodes.

Conclusion. The platform has a high accuracy of detecting pulmonary nodules on computed tomography of the chest both in studies conducted before and during the COVID-19 pandemic. It can be useful to prevent possible omissions of important findings in conditions of increased workload for radiologists.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, computed tomography, lung cancer, COVID-19

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

For citation: Pilius P.S., Drokin I.S., Bazhenova D.A., Makovskaya L.A., Sinitsyn V.E. Evaluation of the prospects for using artificial intelligence technologies to analyze CT scans of the chest organs in order to identify signs of malignant neoplasms in the lungs. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 138–146.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1151>

Received: 06.03.2022.

Accepted for publication: 22.03.2023.

Published online: 15.05.2023.

Введение

Узловые образования в легких могут быть проявлением рака легкого, вторичных изменений в легких и других неопухолевых заболеваний [1]. Своевременная диагностика и правильная интерпретация изменений являются важной диагностической задачей.

Рак легкого занимает 1-е место среди мужчин и женщин как в России, так и в мире по заболеваемости и смертности [2–4]. При этом его выявляемость на ранних стадиях составляет всего 29,1% по данным издания "Состояние онкологической помощи населению России в 2019 году" [3]. Поэтому внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) для помощи в обнаружении узлов

в легких, подозрительных на злокачественные новообразования (ЗНО), являлось актуальной задачей еще до начала пандемии COVID-19 [5].

Во время пандемии COVID-19 существенно возросла нагрузка на систему здравоохранения. Многие рентгенологи перешли на интерпретацию КТ-изображений легких, даже при минимальном опыте описания КТ-исследований [6]. Меньше времени заложено на расшифровку снимков в связи с приростом исследований, основной целью врачей-рентгенологов является быстрое описание объема и характера коронавирусного поражения в легких. Количество выполненных компьютерных томограмм органов грудной клетки (ОГК) значительно возросло, в том числе у пациентов



с отсутствием или с минимальными изменениями в легких благодаря тому, что изначально КТ ОГК позиционировалась как один из основных диагностических методов для коронавирусной инфекции и многие, даже бессимптомные пациенты без назначений лечащего врача имели возможность выполнять КТ-исследования. Накопленные с начала 2020 г. массивы данных представляют интерес для дополнительного скрининга заболеваний, не связанных с коронавирусной инфекцией.

На сегодняшний день скрининг рака легкого проводится среди пациентов с факторами риска (курение, профессиональные вредности, возраст старше 50 лет) [7]. Однако у молодых и некурящих людей также возможно развитие данного заболевания, что преимущественно связано с мутациями генов рецептора эпидермального фактора роста (EGFR) и киназы апластической лимфомы [8]. А по данным T.E. Strand и соавт., в течение последних десятилетий имеется тенденция к повышению частоты встречаемости рака легкого у молодых людей [9]. По данным, приведенным в European Journal of Radiology (2021), у пациентов, которым было выполнено исследование компьютерных томограмм ОГК с целью оценки коронавирусной пневмонии, в 12% случаев были впервые обнаружены узлы в легких, подозрительные на ЗНО и требующие дообследования [10]. Поэтому проведение дополнительного анализа компьютерных то-

мограмм легких у пациентов без онкоанамнеза во время пандемии COVID-19 может являться уникальной возможностью для скрининга рака легкого в определенных группах населения без дополнительной лучевой нагрузки.

Цель исследования

Проанализировать возможность применения технологий ИИ для снижения вероятности пропуска врачами-рентгенологами периферических узлов в легких на компьютерных томограммах ОГК, выполненных в обычное время (1-я группа) и в условиях пандемии COVID-19 (2-я группа) на примере системы Botkin.AI.

Материал и методы

Набор данных КТ-исследований

Для данного эксперимента ни на одном из этапов анализа не использовалась персональная и клиническая информация по пациентам, все персональные данные в исследованиях были предварительно удалены. Среди исследований имелись компьютерные томограммы, выполненные по стандартному и по низкодозовому протоколу.

Для оценки качества моделей были собраны и размечены два набора данных, в каждом из которых имеется по 150 исследований компьютерных томограмм ОГК (табл. 1).

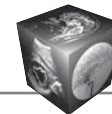
Таблица 1. Описание датасетов для анализа результатов моделей ИИ

Table 1. Description of datasets for analyzing the results of AI models

Параметр датасета Parameters	Dataset I Dataset I	Dataset II Dataset II
Количество исследований Amount of studies	150	150
Дата проведения КТ-исследований Date of studies	2018–2019 гг. (до начала пандемии COVID-19) 2018–2019 гг. (before the COVID-19 pandemic)	2020–2021 гг. 2020–2021 гг.
Источник КТ-исследований Source of CT studies	Центральный архив медицинских изображений Ямало-Ненецкого автономного округа* Central archive of medical images of the Yamal-Nenets Autonomous District*	Медицинские организации Нижнего Новгорода и Санкт-Петербурга* Medical organizations of Nizhny Novgorod and St. Petersburg*
Аппарат для проведения исследования CT Scanner Manufacturers and Models	Siemens Somatom Emotion (16), GE Medical Systems Optima CT660 (64) Siemens Somatom Emotion (16), GE Medical Systems Optima CT660 (64)	Toshiba Aquilion Prime (80), Siemens Somatom Scope (16), GE Healthcare BrightSpeed (16), Toshiba Aquilion Prime (80), Siemens Somatom Scope (16), GE Healthcare BrightSpeed (16)

* Сотрудничество проходило в рамках реализации пилотных проектов.

The cooperation took place within the framework of the implementation of pilot projects.



Описание использования моделей искусственного интеллекта

Для анализа моделями ИИ использовалась одна серия из исследования. Выбор подходящей серии производился автоматически по заданным параметрам. Время обработки одной серии составляло 2–5 мин (в среднем 3,5 мин). Толщина срезов серии для анализа не превышала 1,5 мм. Оценка проводилась в сериях с легочным фильтром на аксиальных срезах.

Для анализа использовались две модели ИИ одинаковой архитектуры, обученные на двух наборах данных: 2500 исследований без признаков COVID-19 (все исследования собраны до 2019 г.) и 3000 исследований, дополнительно содержащих исследования с признаками COVID-19 (дополнительные 500 исследований к 2500 первого дата-сета). Описание архитектуры и методики обучения моделей приведено в работах [11, 12].

Критерии верификации легочных узлов [1]

Решение о наличии или отсутствии узлов в легких принималось на основании анализа изображений тремя врачами-рентгенологами – два рентгенолога с опытом работы в КТ-кабинете до 3 лет и один рентгенолог – 5 лет. Два врача независимо друг от друга фиксировали результаты своей оценки снимков в таблице, третий, более опытный врач, имея доступ к результатам вышеупомянутых врачей, пересматривал исследования и принимал окончательное решение.

Результаты гистологической верификации узлов в исследованиях предоставлены не были.

Перед началом анализа результатов модели ИИ был разработан единый протокол оценки узловых изменений в легких.

Врачами-рентгенологами оценивались узлы в легких размерами от 6 до 35 мм в эффективном диаметре (“эффективный” диаметр – половина суммы двух наибольших линейных размеров узла, перпендикулярных друг другу [13]). Узлы диаметром менее 6 мм не оценивались, поскольку они имеют невысокий риск злокачественности [1, 14]. Также оценивалось количество исследований с наличием узлов размерами более 6 мм.

В 1-й группе пациентов оценивались узлы, которые имели солидный или субсолидный (частично или полностью) характер, во 2-й группе – исключительно солидные узлы. Субсолидные очаги и узлы по типу “матового стекла” в этом случае расценивались как ложноположительные срабатывания системы. Также в обеих группах за истинно положительный результат принималось

детектирование внутрилегочных лимфатических узлов, поскольку модель ИИ не дифференцирует их от остальных солидных узлов. Тотальные кальцификаты в легких считались за ложноположительный результат, однако если кальцификация солидного узла была частичной, то эти узлы также принимались во внимание как истинно положительные, поскольку у них сохраняется риск злокачественности. Если на границе или внутри узла имелась полость, но при этом отчетливо прослеживался мягкотканый компонент – такие изменения были отнесены к истинно положительным. Исследования с внутрилегочными узлами с жировыми включениями в структуре ни в одной из выборок не были обнаружены.

Критерии исключения исследований

Признаки, по которым исследования были исключены из анализа:

- 1) “неисчисляемое” количество легочных узлов;
- 2) микронодулярные изменения в легких: локализованные – по типу “деревя в почках” и диффузные – милиарный паттерн;
- 3) наличие выраженной сочетанной патологии легких или плевры, затрудняющих интерпретацию изображений;
- 4) наличие выраженных артефактов на изображениях, затрудняющих их интерпретацию;
- 5) для 2-й группы были исключены исследования с поражением легких более 25%.

Методология оценки результатов модели искусственного интеллекта

Результаты модели ИИ врачи оценивали во встроенной облачной программе для просмотра BotkinViewer с базовым набором инструментов для визуализации (рис. 1). Каждый узел помечен красным цветом (полупрозрачная заливка области интереса) на всех срезах, где модель обнаружила узел. При необходимости цветовая разметка скрывалась для детальной оценки узлов. Врачи оценивали факт наличия разметки каждого узла в легких по отдельности. Для каждого узла в исследовании системой также рассчитывается объем каждого узла в мм³ и категория по шкале Lung-RADS v.1.1 (по типу узла и его объему) [14]. Однако в рамках данного исследования правильность обозначения объема узлов и категории по шкале Lung-RADS врачами-рентгенологами не оценивалась, в первую очередь, в связи с длительностью референсных расчетов волюметрических показателей врачами-рентгенологами. Оценка соответствия контуров разметки истинным границам узлов также не проводилась.

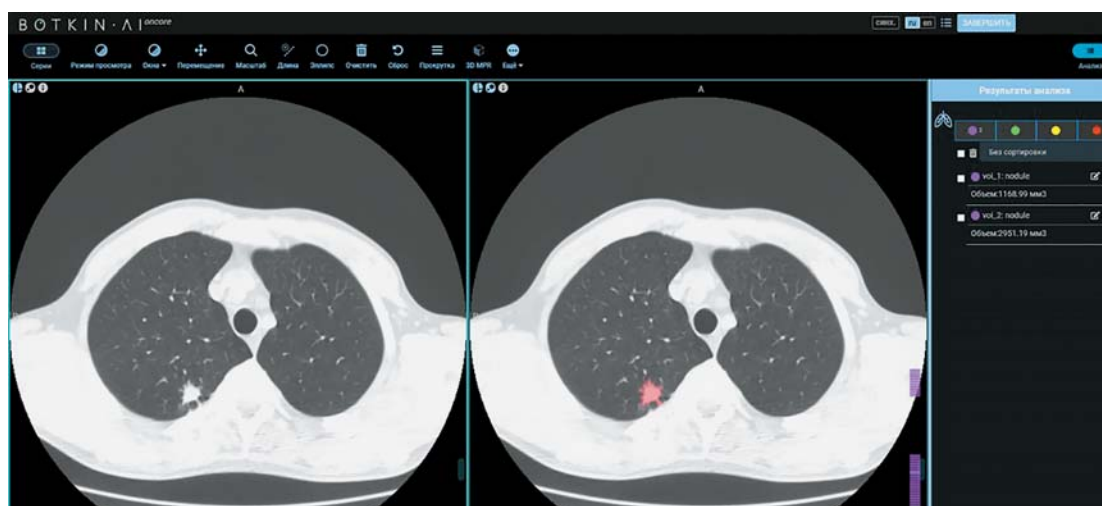


Рис. 1. Результаты анализа искусственного интеллекта в просмотрщике BotkinViewer. На изображении слева в легочном окне показан субплевральный мягкотканый узел правого легкого, выявленный системой искусственного интеллекта и обозначенный красной разметкой. На правом изображении – тот же срез со скрытой цветовой разметкой.

Fig. 1. The results of the analysis of artificial intelligence in the Botkin.AI Viewer. The left image in the lung window shows the subpleural soft tissue nodule of the right lung, identified by the artificial intelligence system and marked with red markup. On the right image is the same slice with hidden color markup.

Результаты

Характеристики обнаруженных узлов

Был проведен анализ количества узлов, выявленных врачами-рентгенологами и моделью ИИ (табл. 2).

Характеристика ложноположительных результатов

Наиболее частые ложные результаты модели ИИ в 1-й группе: участки пневмофиброза, а также кальцинаты; во 2-й группе – инфильтративные изменения, вероятнее всего, ассоциированные с воспалительным процессом.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился в библиотеке scikit-learn для python [15].

Подсчитаны следующие метрики качества модели ИИ для каждой группы датасетов: чувствительность, специфичность и площадь под ROC-кривой (AUC) (рис. 2). Допустимое пороговое значение по каждой из этих метрик для проведения клинической валидации – 0,81, согласно требованиям “Клинических испытаний программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий” [16]. Результаты и этапы анализа исследований 1-й группы (выполненных до пандемии

Таблица 2. Количество выявленных легочных узлов врачами-рентгенологами и моделью ИИ

Table 2. The number of identified lung nodes by radiologists and the AI model

	По данным визуальной оценки рентгенологом According to the visual assessment by radiologists		По данным анализа ИИ According to AI analysis	
	1-я группа group 1	2-я группа group 2	1-я группа group 1	2-я группа group 2
Общее количество исследований в группе Total number of all nodules	150	150	150	150
Количество исследований с наличием легочных узлов 3–6 мм Number of 3–6 mm size nodules	35 (23%)	38 (25%)	28 (18%)	17 (11%)
Количество исследований с наличием легочных узлов 6–35 мм Number of 6–35 mm size nodules	39 (26%)	40 (26%)	39 (26%)	38 (25%)

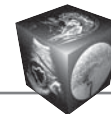
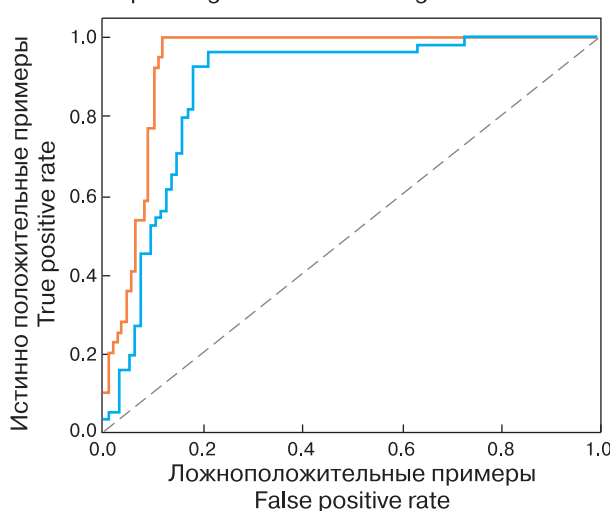


График зависимости чувствительности
от частоты ложноположительных заключений
Receiver operating characteristic lung nodule detection



— До пандемии (area = 0.94)
Before pandemic
— Во время пандемии (area = 0.88)
During pandemic

Рис. 2. Соотношение показателей ROC-кривых для исследований: 1-я группа – оранжевая линия, 2-я группа – синяя линия.

Fig. 2. Ratio of indicators of ROC curves for studies: group 1 – orange line, group 2 – blue line.

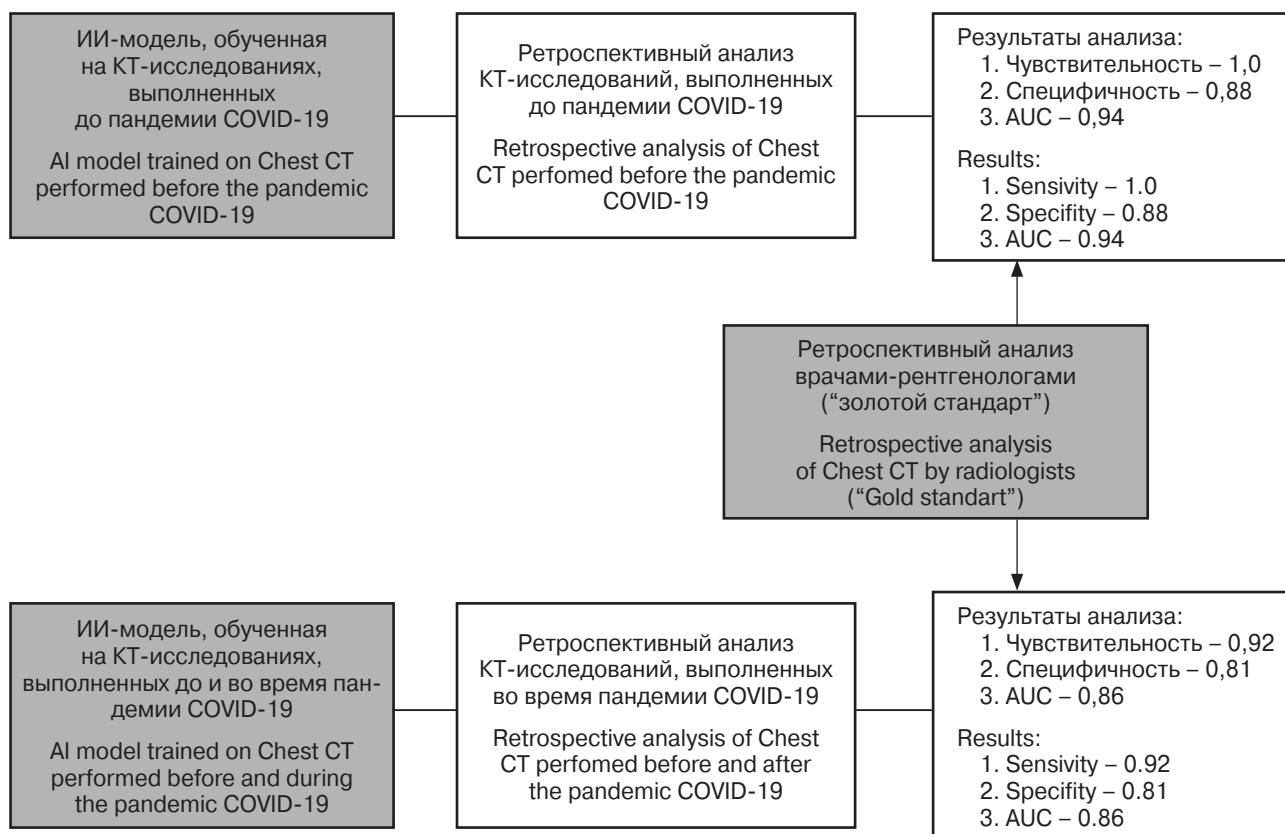


Схема. Схема оценки и результаты анализа КТ-исследований органов грудной клетки, выполненных до и во время пандемии COVID-19.

Scheme. Evaluation scheme and results of analysis of Chest CT studies performed before and during the COVID-19 pandemic.



COVID-19) и 2-й группы (выполненных во время пандемии COVID-19) приведены на схеме.

Обсуждение

Система Botkin.AI имеет метрики качества, которые находятся в диапазоне лучших мировых аналогов, что подтверждает сравнительный анализ результатов тестирования на крупнейшем общедоступном референсном наборе данных для оценки алгоритмов для обнаружения узлов в легких на компьютерных томограммах – LIDC-IDRI (The Lung Image Database Consortium and Image Database Resource Initiative), подготовленного экспертами Североамериканского общества радиологов (RSNA) [17, 18]. Например, на том же наборе данных у автора P. Wu и соавт. алгоритм глубокого обучения при сегментации легочных узлов имеет чувствительность 97,7%, специфичность 98,35%, а у другого автора G.S. Tran и соавт. описываются аналогичные статистические показатели как 96,0 и 97,3% соответственно (цит. по [17]).

Как можно видеть из результатов, полученных в основной статье, метрики качества, которые демонстрируют модели ИИ, зависят от состава данных в наборах, которые используются для тестирования. В исследованиях, выполненных во время пандемии, возрастает вероятность ложноположительных результатов в связи с появлением множественных дополнительных участков уплотнения, порой имеющих схожие характеристики с легочными узлами. Для снижения влияния состава данных на итоговые результаты и повышения универсальности алгоритмов требуется их обучение на качественных и “больших” данных, включающих в себя различные вариации и соотношения патологических изменений [19].

Использование сложных нейросетей для обучения моделей ИИ позволяет улучшить свойства привычных CAD-систем за счет того, что в результате проводится ассоциативный анализ входящих данных и фиксируются наборы признаков, по которым модели самостоятельно определяют патологию, даже если ничего похожего не встречалось в обучающей выборке. Это позволяет снизить долю как ложноположительных, так и ложноотрицательных результатов [19].

Следует отметить, что, помимо задач обнаружения и сегментации патологических изменений в легких и их классификации на “узловые” и “неузловые”, в мире постепенно растет количество разработок, позволяющих проводить классификацию выявленных узлов на “доброкачественные” и “злокачественные” изменения. На сегодняшний день наиболее высокие показатели для такой задачи продемонстрировал I. Ali с точностью 90,91%,

чувствительностью 91,37% и AUC 94,14% на наборе данных LUNGx. Однако при развитии данного направления требования к данным для обучения являются более высокими, что замедляет процесс накопления необходимой информации для машинного обучения (цит. по [17]).

Ограничения исследования

1. Количество исследований с узловой патологией выше среднего популяционного.

2. Не использовались исследования со значением поражения в легких более 25%, что может повлиять на результаты при дополнительном исследовании.

3. Сохраняется риск, что очаги по типу консолидации и “матового стекла” могут иметь злокачественный характер [20, 21].

4. Не оценивались узлы менее 6 мм (по общему диаметру).

5. Для данного эксперимента ни на одном из этапов анализа не использовалась клиническая информация по пациентам, а также нет верифицированных данных, у какого количества пациентов узлы в легких имеют злокачественную природу.

Ограничения модели искусственного интеллекта Botkin.AI:

1. Модель не дифференцирует злокачественные изменения от доброкачественных.

2. Модель не предназначена для оценки других изменений органов грудной клетки, подозрительных на злокачественный процесс.

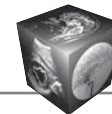
3. Интеграция в контур медицинского учреждения и тестирование платформы занимают время.

4. Из-за анонимизации данных пациентов сложнее сопоставлять и оценивать динамику исследований.

5. Поскольку модель пока не способна дифференцировать лимфатические узлы, жировые образования и т.д., ложноположительные срабатывания неизбежны, однако это вопрос времени.

Заключение

Учитывая достаточно высокие показатели чувствительности и специфичности модели ИИ при анализе компьютерных томограмм ОГК на предмет наличия узлов, подозрительных на ЗНО, возможно ее использование в качестве системы поддержки принятия решения врачом-рентгенологом в рутинной практике, что позволит минимизировать возможность пропуска патологии и снизить влияние человеческого фактора на результат анализа. Также система может быть полезна для повторного пересмотра уже проанализированных врачами данных, в особенности, если известны



условия, при которых повышается вероятность врачебной ошибки, как, например, исследования, выполненные в период пандемии COVID-19.

Наличие ложноположительных и ложноотрицательных результатов делает обязательным условием пересмотр результатов ИИ врачом.

Дальнейшее обучение модели должно быть направлено, в первую очередь, на предотвращение пропуска легочных узлов, требующих дообследования. Также рекомендовано продолжать работу над снижением количества ложных срабатываний, в особенности связанных с наличием воспалительных изменений в легких.

Дополнительная информация

Источник финансирования: Грант на реализацию инновационного проекта “Программная платформа для диагностики и оценки рисков заболеваний с использованием технологий искусственного интеллекта”, соглашение № Г07/20 от 19.06.2020 г.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Благодарности: Авторы выносят благодарность техническому писателю компании Botkin.AI Марии Илларионовой за помощь в оформлении статьи по требованиям журнала “Медицинская визуализация”.

Участие авторов

Пилиус П.С. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Дрокин И.С. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Баженова Д.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Маковская Л.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Синицын В.Е. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Pilius P.S. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Drokin I.S. – concept and design of the study, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, participation in scientific design.

Bazhenova D.A. – conducting research, collection and analysis of data, text preparation and editing, participation in scientific design.

Makovskaya L.A. – conducting research, collection and analysis of data, text preparation and editing, participation in scientific design.

Sinitsyn V.E. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. MacMahon H., Naidich D.P., Goo J.M. et al. Guidelines for Management of Incidental Pulmonary Nodules Detected on CT Images: From the Fleischner Society 2017. *Radiology*. 2017; 284 (1): 228–243. <http://doi.org/10.1148/radiol.2017161659>
2. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2019. 250 с. ISBN 978-5-85502-251-3
3. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Malignant neoplasms in Russia in 2018 (morbidity and mortality). Moscow: MNIIOI im. P.A. Herzen, 2019. 250 p. ISBN 978-5-85502-251-3 (In Russian)
4. Каприн А.Д., Старинский В.В. Состояние онкологической помощи населению России в 2019 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2020. 239 с. ISBN 978-5-85502-255-1
5. Kaprin A.D., Starinsky V.V. The state of oncological care for the population of Russia in 2019. Moscow: MNIIOI im. P.A. Herzen, 2020. 239 p. ISBN 978-5-85502-255-1 (In Russian)
6. 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>
7. Bruno M.A., Walker E.A., Abujudeh H.H. Understanding and Confronting Our Mistakes: The Epidemiology of Error in Radiology and Strategies for Error Reduction. *Radiographics*. 2015; 35 (6): 1668–1676. <http://doi.org/10.1148/rg.2015150023>
8. Shi J., Giess C.S., Martin T. et al. Radiology Workload Changes During the COVID-19 Pandemic: Implications for Staff Redeployment. *Academ. Radiol.* 2021; 28 (1): 1–7. <http://doi.org/10.1016/j.acra.2020.09.008>
9. Pinsky P.F. Lung cancer screening with low-dose CT: a world-wide view. *Translational Lung Cancer Research*. 2018; 7 (3): 234–242. <http://doi.org/10.21037/tlcr.2018.05.12>
10. Liu B., Quan X., Xu C. et al. Lung cancer in young adults aged 35 years or younger: A full-scale analysis and review. *J. Cancer*. 2019; 10 (15): 3553–3559. <http://doi.org/10.7150/jca.27490>
11. Strand T.E., Malayeri C., Eskonsipo P.K. et al. Adolescent smoking and trends in lung cancer incidence among young adults in Norway 1954–1998. *Cancer Causes Control*. 2004; 15 (1): 27–33. <http://doi.org/10.1023/b:caco.0000016575.31651.b0>



10. Kilsdonk I.D., de Roos M.P., Bresser P. et al. Frequency and spectrum of incidental findings when using chest CT as a primary triage tool for COVID-19. *Eur. J. Radiol. Open.* 2021; 8: 100366. <http://doi.org/10.1016/j.ejro.2021.100366>
11. Drokin I., Elicheva E. End-to-End Lung Nodule Detection Framework with Model-Based Feature Projection Block. *Machine Learning Med. Imaging.* 2021; 12966: 91–100. http://doi.org/10.1007/978-3-030-87589-3_10
12. Drokin I., Elicheva E. Deep Learning on Point Clouds for False Positive Reduction at Nodule Detection in Chest CT Scans. *Lecture Notes Comput. Sci.* 2021; 12602: 201–215. http://doi.org/10.1007/978-3-030-72610-2_15
13. Bankier A., MacMahon H., Goo J. et al. Recommendations for Measuring Pulmonary Nodules at CT: A Statement from the Fleischner Society. *Radiology.* 2017; 285 (2): 584–600. <http://doi.org/10.1148/radiol.2017162894>
14. Kazerooni E., Aberle D.R., Black W.C. Lung-RADS v1.1 Assessment Categories. American College of Radiology. 2019.
15. Pedregosa F., Gaël V., Gramfort A. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *J. Mach. Learning Res.* 12 (85): 2825–2830, 2011.
16. Морозов С.П., Владимирский А.В., Кляшторный В.Г. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (по специализации “Лучевая диагностика”). М., 2019.
17. Li R., Xiao C., Huang Y. et al. Deep Learning Applications in Computed Tomography Images for Pulmonary Nodule Detection and Diagnosis: A Review. *Diagnostics (Basel).* 2022; 12 (2): 298. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020298>
18. Setio A.A.A., Traverso A., de Bel T. et al. Validation, comparison, and combination of algorithms for automatic detection of pulmonary nodules in computed tomography images: The LUNA16 challenge. *Med. Image Anal.* 2017; 42: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.06.015>
19. Kooi T., Litjens G., van Ginneken B. et al. Large scale deep learning for computer aided detection of mammographic lesions. *Med. Image Analysis.* 2017; 35: 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.07.007>
20. Zhang Y., Yang W., Dong Liu et al. COVID-19 and early-stage lung cancer both featuring ground-glass opacities: a propensity score-matched study. *Translat. Lung Cancer Res.* 2020; 9 (4): 1516–1527. <https://doi.org/10.21037/tlcr-20-892>
21. Perdigón Martinelli C., Morell C., González C., Nova-Lozano C. Metastatic pulmonary dissemination as differential diagnosis of COVID-19 disease. *BMJ Case Rep.* 2020; 13 (10): e237453. <https://doi.org/10.1136/bcr-2020-237453>

Для корреспонденции*: Пилиус Полина Сергеевна – 197022 Санкт-Петербург, ул. Академика Попова, 23. Тел.: +7-926-70-32-10. E-mail: pilius.polina@botkin.ai

Пилиус Полина Сергеевна – врач-рентгенолог, руководитель группы медицинской экспертизы ООО “Интеллоджик” (Botkin.AI), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7802-2734>

Дрокин Иван Сергеевич – директор по исследованиям и разработкам ООО “Интеллоджик” (Botkin.AI), Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2634-7857>

Баженова Дарья Анатольевна – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики Медицинского научно-образовательного центра МГУ имени М.В. Ломоносова; медицинский консультант компании ООО “Интеллоджик” (Botkin.AI), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7757-6273>

Маковская Людмила Андрияновна – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГАУ “Лечебно-реабилитационный центр” Минздрава России; медицинский консультант компании ООО “Интеллоджик” (Botkin.AI), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9127-7539>

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики Медицинского научно-образовательного центра МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; руководитель научно-медицинского консультативного совета ООО “Интеллоджик” (Botkin.AI), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>

Contact*: Polina S. Pilius – 23, Acad. Popov str., Saint Petersburg 197022, Russian Federation. E-mail: pilius.polina@botkin.ai

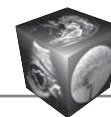
Polina S. Pilius – Radiologist, group lead of medical expertise of “Intellogic LLC” (Botkin.AI), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7802-2734>

Ivan S. Drokin – Chief research officer of “Intellogic LLC” (Botkin.AI), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2634-7857>

Daria A. Bazhenova – Radiologist of Radiology Department of the Lomonosov Moscow State University Medical Research and Educational center; medical consultant of “Intellogic LLC” (Botkin.AI) company, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7757-6273>

Lyudmila A. Makovskaya – Radiologist of Radiology Department of National Medical Research Treatment and Rehabilitation Center of the Ministry of Health of Russia; medical consultant of “Intellogic LLC” (Botkin.AI) company, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9127-7539>

Valentin E. Sinitsyn – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Radiologist of Radiology Department of the Lomonosov Moscow State University Medical Research and Educational center; Head of the Scientific and Medical Advisory Board of “Intellogic LLC” (Botkin.AI) company Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>



Технологии лучевой диагностики | Radiological technologies

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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1167>

Высокотехнологичные лучевые методы в диагностике рака эндометрия – мультипараметрическая МРТ, ультразвуковая томография, 3D-ангиография, энергетическая доплерография

© Нуднов Н.В., Ивашина С.В.*, Аксенова С.П.

ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

Рост заболеваемости раком эндометрия отмечается не только в постменопаузальном периоде, но и в социально активной группе женщин репродуктивного возраста начиная с 25 лет. Ультразвуковое исследование (УЗИ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) являются основными методами неинвазивной диагностики рака эндометрия. В наше исследование было включено 69 пациенток с диагнозом рака эндометрия I–IV стадии в возрасте от 30 до 79 лет. Диагностическая информативность метода МРТ в выявлении инвазии опухоли в миометрий для всех исследуемых групп составила: чувствительность – 82,30%, специфичность – 66,6%, ПЦПР – 93,30%, ПЦОР – 40%. Диагностическая информативность ультразвукового метода по Т-критерию по системе TNM для всех групп составила: чувствительность – 91,3%, специфичность – 88,4%, ПЦПР – 88,7%, ПЦОР – 91,0%. Особенность данного исследования заключалась в оценке возможностей лучевых методов (УЗИ, МРТ) в стадировании рака эндометрия.

Ключевые слова: рак эндометрия, малоинвазивный процесс, метастаз в лимфатические узлы, мультипараметрическая МРТ, ультразвуковая диагностика, МРТ-диагностика, ультразвуковая томография, 3D-ангиография, энергетическая доплерография, М-эхо

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Нуднов Н.В., Ивашина С.В., Аксенова С.П. Высокотехнологичные лучевые методы в диагностике рака эндометрия – мультипараметрическая МРТ, ультразвуковая томография, 3D-ангиография, энергетическая доплерография. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (2): 147–160. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1167>

Поступила в редакцию: 11.04.2022.

Принята к печати: 08.02.2023.

Опубликована online: 06.04.2023.

High-tech radiological methods in the diagnosis of endometrial cancer – multiparametric MRI, ultrasound tomography, 3D angiography, energy dopplerography

© Nikolai V. Nudnov, Svetlana V. Ivashina*, Svetlana P. Aksenova

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

The increase in the incidence of endometrial cancer is noted not only in postmenopausal women, but also in a socially active group of women of reproductive age, starting from 25 years. Ultrasound and magnetic resonance imaging (MRI) are the main methods of non-invasive diagnosis of endometrial cancer. Our study included 69 patients with endometrial cancer stages I–IV aged 30 to 79 years. The diagnostic informativeness of the MRI



method in detecting tumor invasion into the myometrium for all groups was: sensitivity – 82.30%, specificity – 6.6%, PPV – 93.30%, NPV – 40%. The diagnostic informativeness of the ultrasound method in detecting tumor invasion into the myometrium for all groups was: sensitivity – 91.3%, specificity – 88.4%. The peculiarity of this study was to evaluate the possibilities of radiation methods (ultrasound, MRI) in the staging of endometrial cancer.

Keywords: endometrial cancer, microinvasive process, metastasis in lymph nodes, multiparametric MRI, ultrasound diagnostics, MRI diagnostics, ultrasound tomography, 3D angiography, energy dopplerography, M-echo

The authors claim no conflicts of interest / funding.

For citation: Nudnov N.V., Ivashina S.V., Aksenova S.P. High-tech radiological methods in the diagnosis of endometrial cancer – multiparametric MRI, ultrasound tomography, 3D angiography, energy dopplerography. *Medical Visualization*. 2023; 27 (2): 147–160. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1167>

Received: 11.04.2022.

Accepted for publication: 08.02.2023.

Published online: 06.04.2023.

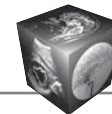
Введение

Рак эндометрия в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями у женского населения России в 2020 г. составил 8,0% [1]. Абсолютное число впервые в жизни установленных диагнозов рака тела матки (С54) в России в 2010 г. составило 19 784, а в 2020 г. – 24 063; абсолютное число заболевших раком эндометрия в возрастной группе 25–29 лет составило 49 пациенток; в возрастной группе 30–34 года – 142 пациентки; в возрастной группе 35–39 лет – 329 пациентки, в возрастной группе 40–44 года – 660 пациенток и в возрастной группе 45–49 лет – 1267 пациенток [1]. Таким образом, рост заболеваемости раком эндометрия отмечается в социально активной группе пациенток с 25–30 лет, что создает необходимость новых подходов к диагностике и лечению этого заболевания. Современный взгляд на проблему консервативной терапии неинвазивного рака эндометрия репродуктивного возраста требует не только оценки срединных структур эндометрия (М-эхо) на фоне проведения гормонального лечения, но и оценки возможного, в дальнейшем, малоинвазивного процесса. Довольно часто при отсутствии изменений в размерах М-эхо при динамическом контроле у пациенток, находящихся на консервативном лечении, тем не менее наблюдается положительный эффект в виде изменения показателей кровотока по данным энергетического доплеровского картирования [2].

Как известно, современные лучевые методы и методики (магнитно-резонансная томография (МРТ), ультразвуковая томография, 3D-ангиография, доплерография) основаны на оценке анатомии и особенностей васкуляризации опухоли – гемодинамических характеристик и, по существующим рекомендациям 2020 г., являются основными лучевыми методами неинвазивной диагностики заболеваний эндометрия [3, 4]. Высокие показатели диагностической ценности ультразвукового исследования (УЗИ) и МРТ по-

зволяют рекомендовать их для диагностики рака эндометрия [3, 4].

МРТ становится все более доступным высокотехнологичным методом. Обладая прекрасным пространственным разрешением, МРТ вкупе с дополнительными методиками: диффузионно-взвешенным изображением (ДВИ), динамическим контрастным усилением (ДКУ) позволяет послойно визуализировать тело, шейку матки, параметральную клетчатку. Возможности МРТ в диагностике инвазии опухоли в миометрий не уступают УЗИ. Так, чувствительность, специфичность, ПЦПР, ПЦОР для МРТ, по данным J.L. Alcázar, составила 83% (95% CI = 76–89%), 82% (95% CI = 72–89%), 4,7 (95% CI = 3,0–7,2), 0,20 (95% CI = 0,14–0,29) соответственно [5, 6]. В то же время в ряде работ подчеркиваются трудности выявления малоинвазивных форм рака эндометрия [5, 6]. С целью выявления инвазии в толщу матки рекомендуется оценка субэндометриального кровотока, визуализируемого в артериальную фазу динамического контрастного усиления. Деформация полости матки при субмукозно расположенных лейомиомах, утолщение переходной-соединительной зоны при аденомиозе ограничивают возможности метода в оценке субэндометриального кровотока. Однако не остается сомнений в преимуществе мультипараметрической МРТ (мпМРТ) в визуализации инвазии опухоли в параметральную клетчатку, связки матки, придатки [7, 8]. Остаются дискуссионными возможности выявления метастатически измененных лимфатических узлов методом МРТ. К сожалению, изменение размера и структуры лимфатического узла, визуализируемое на Т2ВИ, не всегда коррелирует с их вторичным поражением. Измеряемые коэффициенты диффузии, перфузионные характеристики при динамическом контрастном усилении гадолиний-содержащим контрастным препаратом на данный момент не могут достоверно установить наличие опухолевых депозитов в лимфатических узлах [4]. Методом выбора для диагностики



лимфогенного распространения рака эндометрия на сегодня остается проведение ПЭТ/КТ [3]. Возможности МРТ в визуализации рецидивов рака эндометрия в стенке влагалища после проведенного противоопухолевого лечения имеют особое значение, так как проведение УЗИ в данных случаях будет малоинформативно. Детальная визуализация стенки влагалища на всем его протяжении позволяет с высокими диагностическими показателями рекомендовать его при подозрении на опухолевое поражение влагалища [9–11].

Визуализация начала инвазии в миометрий, уточняющая диагностика местного распространения опухолевого процесса, а также регионарное и отдаленное метастазирование рака эндометрия являются основными критериями при постановке правильного диагноза, которые влияют на тактику лечения пациенток [2, 12–14]. Стандартным подходом в лечении рака эндометрия является хирургический метод [12, 13]. Непременным условием радикальности лечения пациенток с раком эндометрия является правильное определение распространения опухолевого процесса. Неудовлетворительные результаты лечения в значительной мере связаны с недооценкой степени распространения опухолевого процесса [2, 15, 16]. Безусловно, коррекция стадии процесса на основании операционных находок и гистологического исследования проводится в послеоперационном периоде, но целесообразно для точного первичного стадирования рака эндометрия подбирать наилучшие диагностические методы [17]. Как известно, точная диагностика достигается путем сравнения дооперационной лучевой диагностики рака эндометрия с результатами морфологического исследования и дальнейшей оценкой расхождений в диагностических методах, если таковые имели место.

Необходимо отметить, что особое значение сегодня приобретают информативность диагностических исследований, изменения алгоритмов диагностики, а также подготовка квалифицированных врачей, владеющих не только современными методами диагностики, но и высоким уровнем знаний по онкологии.

Цель исследования

Выявить диагностические возможности УЗИ и мпМРТ в уточняющей диагностике и стадировании рака эндометрия.

Материал и методы

В исследование было включено 69 пациенток в возрасте от 30 до 79 лет с диагностированным раком эндометрия стадии T1–T4, проходивших

лечение в РНЦРР. Пациентки были разделены на 3 группы в зависимости от глубины инвазии в миометрий по результатам проведенного гистологического исследования: 1-я группа – неинвазивный рак эндометрия – 15 (21,7%) пациенток, 2-я группа – инвазия в миометрий составила до 5 мм – 25 (36,3%) пациенток, 3-я группа – инвазия в миометрий составила более 5 мм – 29 (42%) пациенток. В 3-й группе нами выделены еще 2 подгруппы – инвазия до 1/2 толщины стенки матки и более 1/2 толщины стенки матки.

Пяти пациенткам с неинвазивным раком эндометрия проведено консервативное лечение, 5 пациенткам с местнораспространенным раком эндометрия с инвазией в параметрий проведено химиолучевое лечение, остальным 59 пациенткам с раком эндометрия проведена расширенная экстирпация матки с придатками, объем хирургического лечения был расширен у 1 пациентки с метастазами в яичники до субтотальной резекции большого сальника.

УЗИ органов малого таза выполнены на ультразвуковом аппарате eSaote Pro 69 пациенткам. На первом этапе проводилось трансвагинальное УЗИ органов малого таза в стандартном 2D-режиме, затем выполнялись высокотехнологичные ультразвуковые методики. Для визуализации неоваскуляризации использовались энергетическое доплеровское картирование, ультразвуковая томография, 3D-ангиография. Следуя стандартам диагностики, оценивались: толщина и структура, контуры М-эхо; наличие неоваскуляризации М-эхо и субэндометриальной области, эндоцервикальной, субэндоцервикальной области и яичников.

В дополнение к УЗИ 52 (75%) пациенткам было проведено мультипараметрическое магнитно-резонансное исследование органов малого таза на томографах с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Исследование выполнялось в положении пациентки на спине с использованием гибкой катушки. В протокол мпМРТ включались T1ВИ, T2ВИ, STIR, ДВИ (b 0, 800, 1000), динамическое контрастное усиление (соли гадолиния, МРТ-ДКУ). Все пациентки, прошедшие МР-исследование органов малого таза (n = 52, 75% исследованных), были разделены на 2 большие группы по возможности высказаться о наличии (MPT+) и отсутствию (MPT–) визуализации опухолевого процесса эндометрия по данным мультипараметрического сканирования. Далее проводилось разделение пациенток “MPT+” части на группы, указанные выше (табл. 1).

По гистологической структуре пациентки были распределены следующим образом (табл. 2).


Таблица 1. Распределение пациенток по группам наблюдения

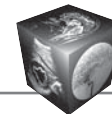
Table 1. Distribution of patients by observation groups

	1-я группа (неинвазивный рак) Group 1 (non-invasive cancer)	2-я группа (T1a инвазия до 5 мм) Group 2 (T1a invasion up to 5 mm)	3а-группа (T1a – от 5 мм до 1/2 толщины миометрия) Group 3a (T1a – from 5 mm to 1/2 thickness)	3б-группа (>1/2 толщины миометрия, T1b+) Group 3b (>1/2 thickness of myometrium, T1b+)
Общие данные (n = 69) Total information	15 (21,7%)	25 (36,3%)	29 (42%)	
УЗИ (n = 69) Ultrasound	15 (21,7%)	25 (36,3%)	10 (15,5%)	19 (26,5%)
MPT (n = 52) MRI	14	16	8	14
“MPT–“ (n = 11) MRI–	8	3	1	–
“MPT+“ (n = 41) MRI+	6	13	7	14
Есть инвазия в миометрий There is invasion into the myometrium	2	7	7	14
Нет инвазии в миометрий There is no invasion into the myometrium	4	6	0	0

Таблица 2. Распределение пациенток с раком эндометрия по гистологической структуре в зависимости от глубины инвазии в миометрий

Table 2. Distribution of patients with endometrial cancer by histological structure depending on the depth of invasion into the myometrium

	1-я группа (неинвазивный рак) Group 1 (non-invasive cancer)	2-я группа (T1a инвазия до 5 мм) Group 2 (T1a invasion up to 5 mm)	3а-группа (T1a – от 5 мм до 1/2 толщины миометрия) Group 3a (T1a – from 5 mm to 1/2 thickness)	3б-группа (>1/2 толщины миометрия, T1b+) Group 3b (>1/2 thickness of myometrium, T1b+)
Низкодифференцированная светлоклеточная аденокарцинома Poorly differentiated clear cell adenocarcinoma	–	–	2	
Умереннодифференцированная аденокарцинома Moderately differentiated adenocarcinoma	–	4	8	
Высокодифференцированная аденокарцинома Highly differentiated adenocarcinoma	15	20	19	
Серозная аденокарцинома Serous adenocarcinoma	–	1	–	



Результаты исследования

Результаты данных УЗИ

В 1-ю группу неинвазивного рака эндометрия включено 15 пациенток, из них 5 пациенток репродуктивного возраста, которым проводилось только консервативное лечение, и 10 пациенток постменопаузального периода, которым выполнено хирургическое лечение. По данным УЗИ толщина М-эхо в этой группе варьировала от 4 до 12 мм, структура М-эхо была неоднородной. У всех пациенток визуализировались как локальные неоднородные очаги, так и на всем протяжении отмечалась диффузная и/или очаговая неоднородность, контуры М-эхо были неровные у 9 пациенток. Установлено, что в 1-й группе (неинвазивного рака эндометрия) интраэндометриальный кровоток выявлен у 12 (80%) пациенток. Значения скорости кровотока (PS) по данным энергетической доплерографии были в пределах от 2 до 12 см/с. Интраэндометриальный кровоток не выявлен у 2 пациенток постменопаузального периода и 1 пациентки репродуктивного периода. Субэндометриальный кровоток – единичный локус низкоскоростного кровотока – выявлен у 1 пациентки репродуктивного возраста, который визуализировался на расстоянии около 3 мм от базального слоя эндометрия. По гистологическому заключению у всех пациенток 1-й группы была установлена высокодифференцированная аденокарцинома эндометрия.

Во 2-ю группу было включено 25 пациенток, у которых глубина инвазии в миометрий не превысила 5 мм, из них 10 пациенток репродуктивного возраста и 15 пациенток постменопаузального возраста. По данным УЗИ толщина М-эхо варьировала в пределах от 5 до 28 мм, структура М-эхо была неоднородной, контуры М-эхо были неровные у всех пациенток. Интраэндометриальный кровоток регистрировался у 17 (68%) пациенток, субэндометриальный кровоток – у 10 (40%) (рис. 1).

Субэндометриальный кровоток не регистрировался при глубине инвазии от 1 до 3 мм у пациенток с ожирением и миомами матки, приводящими к деформации М-эхо. Скорости субэндометриального кровотока (PS) варьировали от 2 до 9 см/с. По гистологическому заключению у 4 пациенток была умереннодифференцированная аденокарцинома, у 1 пациентки – серозная аденокарцинома, у 20 пациенток – высокодифференцированная аденокарцинома.

В 3-ю группу включено 29 пациенток в постменопаузе с глубиной инвазии в миометрий более 5 мм, это пациентки с глубиной инвазии до 1/2 (3а-группа, инвазия составила 6–9 мм) – 10 (34,5%) пациенток и пациентки с глубиной ин-

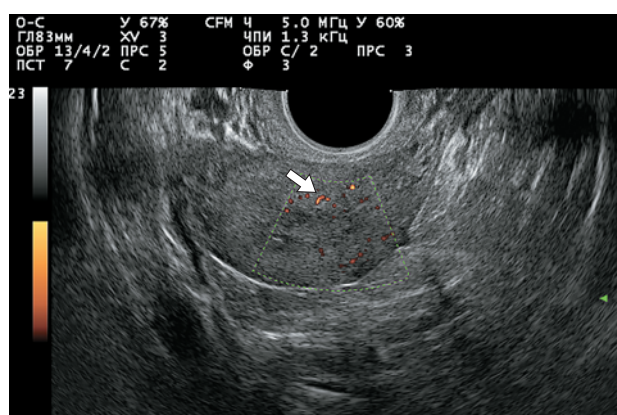


Рис. 1. Допплерограмма в энергетическом режиме. Малоинвазивный процесс рака эндометрия, инвазия миометрия не более 5 мм. Опухоль отмечена стрелкой.

Fig. 1. Ultrasound examination of the uterus. Microinvasive process of endometrial cancer, invasion of myometrium no more than 5 mm (arrow).

вазии более 1/2 (3б-группа) – 19 (65,5%) пациенток. По данным ультразвукового метода толщина М-эхо варьировала в пределах от 8 до 50 мм, структура М-эхо была неоднородной, контуры М-эхо были неровные, нечеткие у всех пациенток. По данным энергетического доплеровского картирования скорости кровотока в субэндометриальной зоне у пациенток с инвазией до 1/2 варьировали от 4 до 12 см/с. По гистологическому заключению у 8 пациенток была диагностирована умереннодифференцированная аденокарцинома, у 2 пациенток – низкодифференцированная светлоклеточная аденокарцинома, у 19 пациенток – высокодифференцированная аденокарцинома.

Чувствительность ультразвукового метода в В-режиме снижается при оценке перехода опухоли эндометрия на цервикальный канал, толщина которого не превышает 5–6 мм. Применение доплерографии в энергетическом режиме, ультразвуковой томографии повышает чувствительность ультразвукового метода до 91,3% (рис. 2). На рис. 2б представлена инвазия рака эндометрия в строуму шейки матки.

Таким образом, диагностическая информативность ультразвукового метода по Т-критерию по системе TNM для всех групп составила: чувствительность – 91,3%, специфичность – 88,4%, ПЦПР – 88,7%, ПЦОР – 91,0%.

В аспекте ультразвуковых критериев инвазивного рака эндометрия рассмотрим трехмерную реконструкцию без ангиорежима у пациентки с раком эндометрия T2N0M0 (рис. 3).

На представленной эхограмме в В-режиме (рис. 4) у пациентки с ожирением нечетко визу-

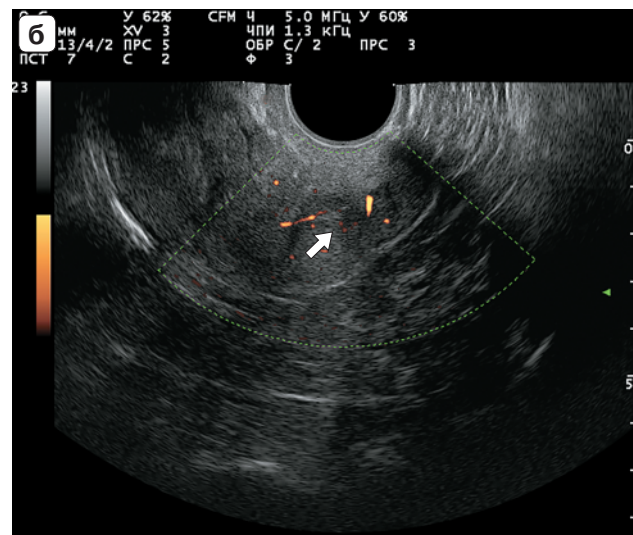
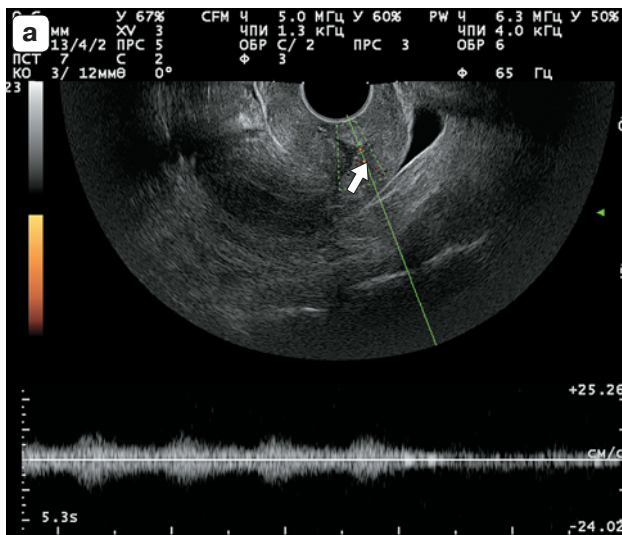


Рис. 2. Допплерограмма в энергетическом режиме. Инвазия рака эндометрия в строму шейки матки. **а** – доплерограмма в энергетическом режиме, определяется распространение опухолевого процесса эндометрия на цервикальный канал (стрелка); **б** – доплерограмма инвазии рака эндометрия в строму шейки матки (стрелка).

Fig. 2. a – dopplergram (in power mode) of a patient with endometrial cancer. The spread of the tumor process of the endometrium to the cervical canal is determined (arrow); **б** – dopplergram of endometrial cancer invasion into the stroma of the cervix (arrow).

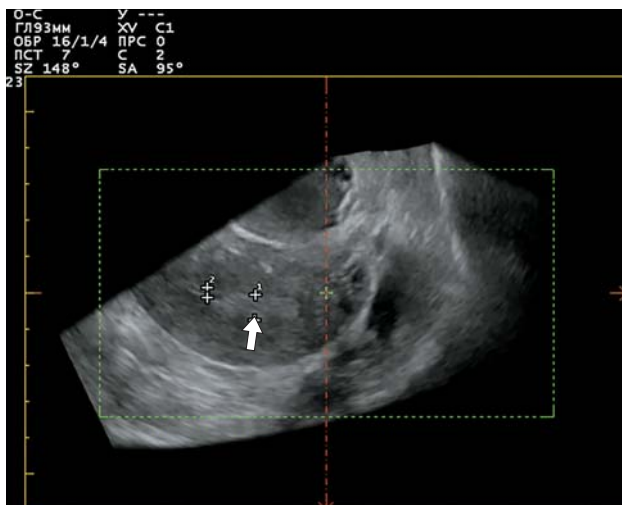


Рис. 3. 3D-эхограмма пациентки с раком эндометрия II стадии. Толщина М-эхо не превышает 7 мм (стрелка).

Fig. 3. 3D reconstruction of a patient with stage II endometrial cancer (arrow).



Рис. 4. 2D-эхограмма подвздошного лимфатического узла у пациентки с распространенным раком эндометрия (стрелка).

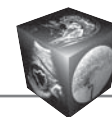
Fig. 4. 2D echogram of the enlarged iliac lymph node in a patient with advanced endometrial cancer (arrow).

лизируется метастатически измененный подвздошный лимфатический узел слева.

Результаты МРТ-исследования

Из 52 пациенток с установленным гистологическим диагнозом рака эндометрия у 11 (21,2%) по данным мпМР-исследования убедительно высказаться о наличии опухолевой ткани в полости матки не представлялось возможным. В первую оче-

редь, это связано с тем, что у 8 пациенток процесс был представлен неинвазивной аденокарциной эндометрия и МР-исследование им было проведено после раздельного диагностического выскабливания (РДВ) полости матки и цервикального канала, в результате которого опухолевые массы были элиминированы. У этих пациенток толщина эндометрия не превышала 3–4 мм, контуры с переходно-соединительным слоем были ровные,



данных о наличии объемного образования выявлено не было. У 4 пациенток стадии T1aN0M0 с толщиной инвазии до $1/2$ толщины миометрия (группа 2 и 3а) по данным постоперационного патоморфологического исследования, несмотря на соблюдение сроков проведения МРТ (через 1 мес после РДВ), однозначно высказаться о наличии опухолевой инвазии также не было возможным. Во-первых, у большинства пациенток 1а-стадии после РДВ толщина эндометрия не превышала пороговые значения. Во-вторых, сопутствующее неоднородное утолщение переходно-соединительной зоны при диффузно-очаговой форме аденомиоза, перистальтика миометрия и прилежащих петель кишок затрудняли адекватную послойную визуализацию стенки матки. Таким образом, в группу “МРТ–” вошли пациентки со стадией T1a из 1, 2, 3а-групп наблюдения.

У 41 (78,8%) пациентки по данным МР-исследования был подтвержден диагноз рака эндометрия стадии T1a–T4 (MPT+). Таким образом, чувствительность метода МРТ в выявлении опухо-

левого поражения эндометрия в нашем исследовании составила 78,8%

У пациенток 1-й группы наблюдения при раке эндометрия на сагиттальных проекциях в T2ВИ визуализировалось неоднородное утолщение эндометрия. У большинства пациенток (60%) опухоль имела средней интенсивности МР-сигнал, чуть ниже интенсивности МР-сигнала эндометрия. При большом объеме опухоли отмечалось расширение полости матки, при этом переходно-соединительная зона, характеризующаяся сниженным относительно прилежащих слоев эндо- и миометрия МР-сигналом, сохраняла свои контуры и интенсивность (рис. 5). Отмечалось сохранение визуализации гиперинтенсивной субэндометриальной зоны при МРТ с ДКУ. В то же время совместные T2ВИ и ДВИ позволили детализировать участки с более выраженным ограничением диффузии и провести тщательный анализ прилежащего миометрия.

Инвазивный процесс рака эндометрия по данным МРТ был выявлен у 28 пациенток, при этом

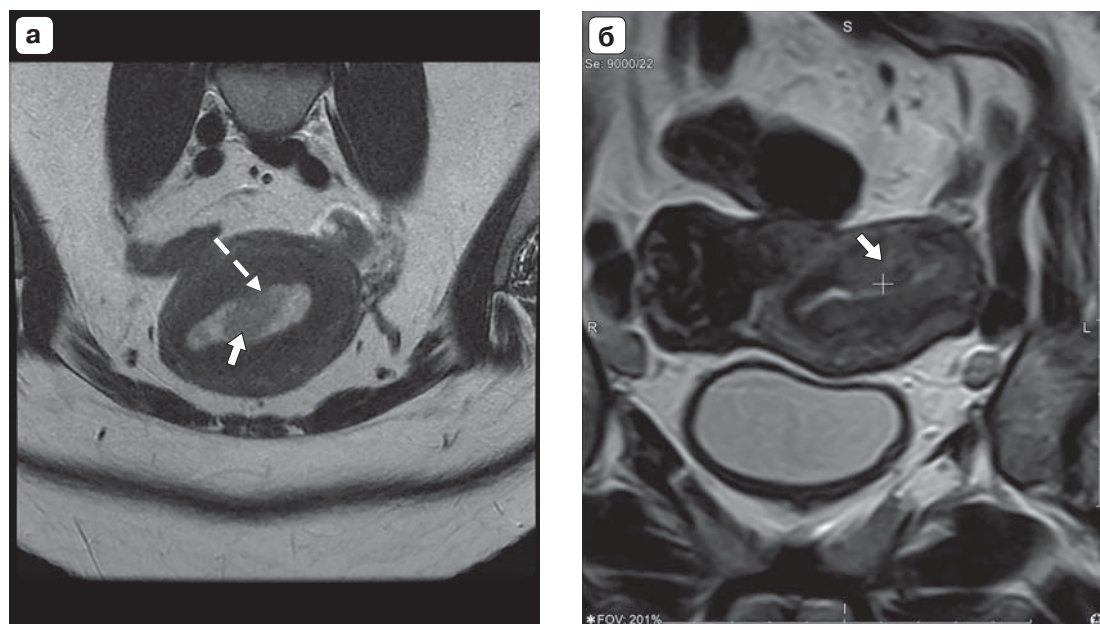


Рис. 5. Магнитно-резонансные томограммы малого таза. **а** – T2ВИ в косой аксиальной проекции, в полости матки визуализируются опухолевые массы (сниженный на T2ВИ МР-сигнал относительно эндометрия) без признаков инвазии в миометрий (сохранный миометрий в зоне прилегания опухоли отмечен пунктирной стрелкой). Контур миометрия ровный, четкий. Опухоль отмечена стрелкой; **б** – T2ВИ, коронарная проекция. Визуализируется инфильтрация миометрия на всю толщу переходно-соединительной зоны в области задней стенки матки и левого маточного угла (опухоль отмечена стрелкой). Обращает на себя внимание отсутствие расширения полости матки.

Fig. 5. Magnetic resonance imaging of the pelvis. **a** – T2WI in oblique axial projection, tumor masses are visualized in the uterine cavity (reduced in T2WI MR signal relative to the endometrium), without signs of invasion into the myometrium (preserved myometrium in the tumor adjacent zone is marked with a dotted arrow). The contour of the myometrium is even, clear. The tumor is marked with an arrow; **б** – T2WI, coronal projection. The infiltration of the myometrium is visualized throughout the entire thickness of the transition zone in the region of the posterior wall of the uterus and the left uterine angle (the tumor is marked with an arrow). Noteworthy is the absence of expansion of the uterine cavity.



Таблица 3. Диагностическая информативность МРТ в выявлении инвазии опухоли в миометрий для 1-й и 2-й групп

Table 3. Diagnostic informativity of MRI in detecting tumor invasion into the myometrium for Groups 1 and 2

Чувствительность / Sensitivity	53.80%
Специфичность / Specificity	66.60%
ПЦПР / Positive predictive value	77.80%
ПЦОР / Negative predictive value	40%

Таблица 4. Диагностическая информативность метода МРТ в выявлении инвазии опухоли в миометрий для всех групп

Table 4. Diagnostic informativeness of the MRI method in detecting tumor invasion into the myometrium for all groups

Чувствительность / Sensitivity	82.30%
Специфичность / Specificity	66.60%
ПЦПР / Positive predictive value	93.30%
ПЦОР / Negative predictive value	40%

высказаться о наличии малой инвазии в миометрий (менее 5 мм) было довольно трудно. Во 2-й группе было наибольшее число расхождений в выявлении наличия/отсутствия инвазии. Так, среди 13 пациенток лишь у 7 была правильно установлена инвазия в миометрий глубиной до 5 мм, что составило чуть больше половины. У 6 пациенток нами было высказано об отсутствии инвазии, что не соответствовало действительности. Ввиду большого количества несоответствия между патоморфологическими и диагностическими данными нами был проведен анализ информативности метода мпМРТ в выявлении инвазии опухоли в миометрий для 1-й и 2-й групп. Данные представлены в табл. 3.

В нашем исследовании по данным МРТ у всех пациенток 3а- и 3б-групп была выявлена инвазия в миометрий около и/или более $\frac{1}{2}$ ее толщины, что составило 22 наблюдения. Для визуализации инвазивного процесса с помощью МРТ требуется обязательно оценка Т2ВИ, ориентированных перпендикулярно и параллельно оси тела матки. На наличие инвазии миометрия указывают неровный контур эндометрия, нарушение дифференцировки слоев эндометрий-миометрий. У всех пациенток с инвазией миометрия определялся гиперинтенсивный МР-сигнал в толще миометрия, замещающий часть переходно-соединительной зоны (см. рис. 5б). Общие показатели информативности МРТ в диагностике инвазии рака эндометрия в миометрий представлены в табл. 4.

Местнораспространенный процесс рака эндометрия по данным МРТ был диагностирован у 14 пациенток (3б-группа).

Обсуждение

Неинвазивный или малоинвазивный процесс эндометрия T1N0M0? Органосохраняющее лечение или хирургическое? Эти вопросы являются крайне важными для онколога и пациента, планирующего реализовать репродуктивную функцию в дальнейшем. Органосохраняющее лечение находится в центре внимания ведущих отечественных и зарубежных онкологов. Как принято, первичная диагностика рака эндометрия сопряжена с использованием ультразвукового метода в серошкальном 2D-режиме. Наши взгляды на показания к консервативному лечению основываются на применении высокотехнологичных ультразвуковых исследований, таких как ультразвуковая томография и 3D-ангиография, доплерография. Общеизвестно, что, используя только В-режим, невозможно оценить наличие малоинвазивного процесса у пациенток репродуктивного возраста с наличием миом матки в субэндометриальном слое ввиду деформации М-эхо, “дорсального ослабления” эхосигнала от кальцинатов и плотных капсул миом, а также эндометриоза в анамнезе [18]. Такие же трудности диагностики малоинвазивного процесса эндометрия возникают у пациенток постменопаузального возраста. Сложность оценки М-эхо и субэндометриальной зоны обусловлена нечеткой визуализацией данных структур у пациенток с ожирением. В то же время снижается чувствительность доплерографии при толщине эндометрия менее 8 мм и при выявлении единичных локусов интраэндометриального кровотока. В таких клинических ситуациях необходимо проводить дифференциальную диагностику с полипами эндометрия, мелкими субмукозными узлами лейомиом, атипической гиперплазией эндометрия как в репродуктивном возрасте, так и в менопаузе. Для оценки возможностей современных ультразвуковых методик (энергетической доплерографии, ультразвуковой томографии, 3D-ангиографии) мы попытались выделить взаимосвязь между глубиной инвазии в миометрий и особенностями кровотока субэндометриальной области у пациенток с установленным диагнозом рака эндометрия. Современные ультразвуковые методики были использованы у 69 пациенток с раком эндометрия.

В нашем исследовании причиной деления пациенток на **группы 2 и 3а** – с глубиной инвазии рака эндометрий в миометрий до 5 мм (малоинвазивный рак) и более 5 мм – послужили научные

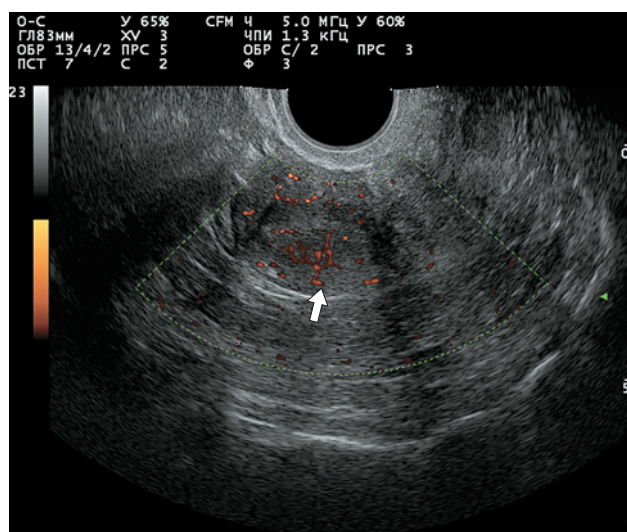
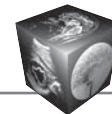


Рис. 6. Допплерограмма в энергетическом режиме. Глубокая инвазия рака эндометрия в миометрий, более 1/2 толщины миометрия. Опухоль отмечена стрелкой.

Fig. 6. Ultrasound examination of the uterus. Deep invasion of endometrial cancer into the myometrium, more than 1/2 according to power Doppler (arrow).

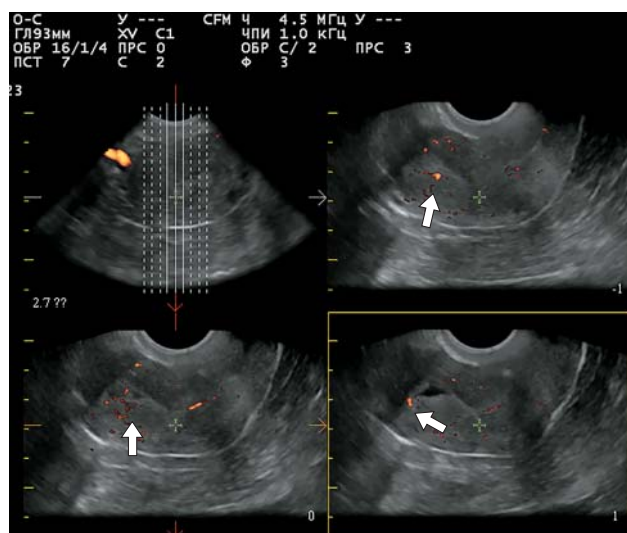


Рис. 7. Ультразвуковые томограммы. Инвазия в миометрий у пациентки с раком эндометрия II стадии (FIGO). Ультразвуковая томография позволяет задать глубину среза и послойно оценивать глубину инвазии. Опухоль эндометрия отмечена стрелкой.

Fig. 7. Ultrasound tomography in a patient with invasive endometrial cancer II stage FIGO. Ultrasonic tomography allows you to set the depth of the cut and layer by layer to assess the depth of invasion. Endometrial tumor is marked with an arrow.

данные, полученные в недавних исследованиях, которые показали зависимость частоты метастазирования опухоли в регионарные лимфатические узлы от глубины инвазии опухоли в миометрий.

При глубине инвазии в миометрий до 5 мм частота метастазов составляет 1,2–2,5%, по мере увеличения инвазии в миометрий (6–10 мм) частота метастазов возрастает до 10,6% [15, 16, 19–21]. В исследованиях доказано, что к прогностическим факторам рака эндометрия, кроме гистологического типа, стадии опухоли, размера опухоли, распространения процесса на шейку матки, относятся глубина инвазии опухоли в миометрий и наличие лимфоваскулярной инвазии [2, 15, 19–24]. Именно глубина инвазии в миометрий до 5 мм является основным критерием благоприятного прогноза [16, 21]. Лимфоваскулярная инвазия, определяемая как присутствие опухолевых клеток в выстланных эндотелием пространствах внутри стенки матки вне основной опухоли, является независимым неблагоприятным прогностическим фактором при ранней стадии рака эндометрия из-за его связи с метастазированием в лимфатические узлы и рецидивом заболевания [15, 19, 21, 22].

Анализируя 3-ю группу пациенток, мы пришли к выводу о том, что нужно разделить этих пациенток по глубине инвазии на 2 подгруппы: инвазия в миометрий до 1/2 от толщины стенки матки и более 1/2. В наших ультразвуковых исследованиях мы сочли возможным в подгруппе пациенток с глубиной инвазии в миометрий до 1/2 еще использовать симптом “субэндометриального кровотока” как патогномоничный симптом инвазивного роста (интра- и субэндометриальный выявлен у всех пациенток); при глубине инвазии более 1/2 процесс выходит за пределы субэндометриальной области, и в данной подгруппе целесообразно рассматривать как патологический кровоток (рис. 6, 7). Что же будет специфичным ультразвуковым признаком инвазии у пациенток 3-й группы? Как показывает наше исследование, по мере распространения процесса возникает асимметричность субэндометриального кровотока и происходит его локальное усиление в области максимального утолщения М-эхо. Таким образом, глубина инвазии в миометрий определялась по толщине сосудистого компонента, идущего от предполагаемой границы базального слоя в миометрий (рис. 8).

Недостаточно изучен вопрос ультразвуковой диагностики интраэндоцервикальной и минимальной субэндоцервикальной инвазии рака эндометрия. Ультразвуковые критерии перехода на цервикальный канал не вызывают трудностей при толщине эндоцервикса более 8 мм и наличии более 5 локусов интраэндоцервикального кровотока. В наших исследованиях при толщине эндоцервикса менее 8 мм и единичных локусах интраэндоцер-



викального кровотока в верхней трети шейки матки в 4 случаях было расхождение диагноза: в двух случаях (по патоморфологическому заключению) была инвазия во внутренний зев 2 мм, в одном случае не было перехода на цервикальный канал, в одном случае был полип эндоцервикса.

В проведенном нами исследовании на фоне наличия среднего размера интрамуральных лейомиом отмечалась асимметрия толщины миометрия в виде его истончения в прилежащих к лейомиоме отделах. В истонченном распластанном миометрии даже малая инвазия толщиной 5 мм уже составляла половину толщины миометрия, что приводило к завышению/занижению стадии заболевания. Вышеописанное наблюдалось у 1 пациентки 3а-группы наблюдения.

Как известно, для улучшения визуализации границ опухоли и для оценки глубины инвазии миометрия необходим анализ динамической МРТ с контрастным усилением, поскольку карцинома матки в отсроченные фазы МРТ-ДКУ будет меньше накапливать парамагнетик, чем прилежащий неизмененный миометрий. Это является установленным на сегодня стандартом диагностики инвазивного рака эндометрия. В схожих исследованиях получено, что динамическое контрастное усиление и Т2ВИ совместно характеризуются точностью до 98% в оценке инвазии миометрия [25]. В условиях сопутствующего аденомиоза или противопоказаний к введению парамагнетика для оценки наличия инвазии в миометрий все чаще используются ДВИ. Недавно проведенный метаанализ показал аналогичную общую чувствительность ДВИ и МРТ с ДКУ в выявлении инвазивного рака эндометрия. Специфичность метода МРТ с ДВИ и МРТ с ДКУ существенно не различалась между собой при оценке глубины инвазии миометрия [25]. Более поздний метаанализ, проведенный L. Deng и соавт., подтвердил аналогичную диагностическую эффективность ДВИ по сравнению с МРТ с ДКУ, а также было обнаружено, что комбинированные Т2ВИ и ДВИ превосходят одиночное ДВИ и МРТ с ДКУ [7, 25, 26].

В нашем исследовании совместный анализ Т2ВИ и МРТ с ДКУ позволял диагностировать инвазию в строму шейки матки у 10 пациенток. Отсутствие гипоинтенсивной в Т2ВИ структуры стромы шейки матки на границе тела и шейки матки совместно со сниженным накоплением парамагнетика относительно неизмененного миометрия являлось семиотическим признаком перехода процесса на строму шейки матки. Полученные нами данные полностью коррелируют с данными проведенного МР-исследования Q. Vi и соавт. (2019) [26]. Отсутствие внутренней части фиброз-

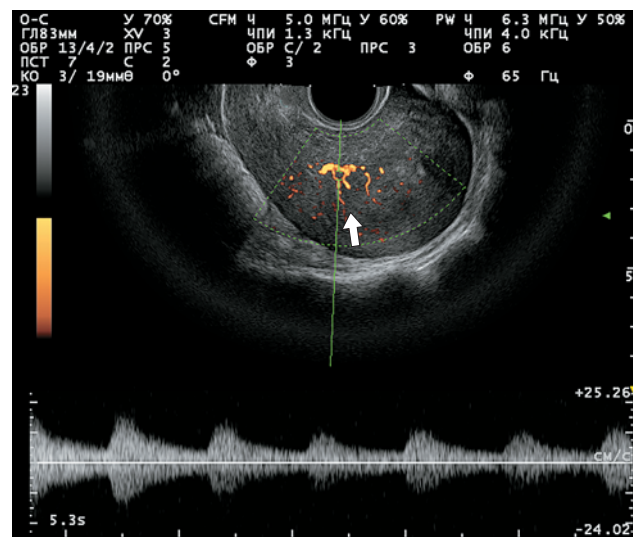


Рис. 8. Допплерограмма в энергетическом режиме. Глубокая инвазия в миометрий более 1/2 толщины миометрия. Максимальная толщина опухоли выявлена в левом маточном углу (до 7 мм), контуры М-эхо в области левого маточного угла неровные, нечеткие; в области правого маточного угла эндометрий линейный (стрелка).

Fig. 8. Ultrasound examination of the uterus. Deep invasion into the myometrium more than 1/2 according to power Doppler. The maximum thickness of the tumor was detected in the left uterine angle (up to 7 mm), the contours of the M-echo in the region of the left uterine angle were uneven and indistinct; in the region of the right uterine angle, the endometrium is linear (arrow).

ного кольца при сохраненной наружной соответствовало изолированному поражению стромы шейки (рис. 9), а отсутствие полной визуализации гипоинтенсивной стромы шейки, потеря ровных контуров на границе с параметральной клетчаткой являлись критериями инвазии процесса за пределы шейки. В целях более детальной визуализации параметральной инвазии использование перпендикулярных к оси шейки матки срезов позволяло детально оценить клетчатку, окружающую орган. Расширенные венозные сосуды параметральной клетчатки, характеризующиеся сниженной скоростью кровотока, имеют среднюю интенсивность МР-сигнала в Т2ВИ, в ряде случаев аналогичную опухолевой ткани, что затрудняло диагностику параметральной инвазии и повышало число ложноположительных результатов. В нашем исследовании распространенный процесс рака эндометрия с вовлечением параметриев был диагностирован у 5 пациенток.

Безусловным преимуществом МРТ являлась возможность визуализации распространения опухоли на рядом расположенные органы. Ключевым аспектом в вопросе инвазии смежных органов

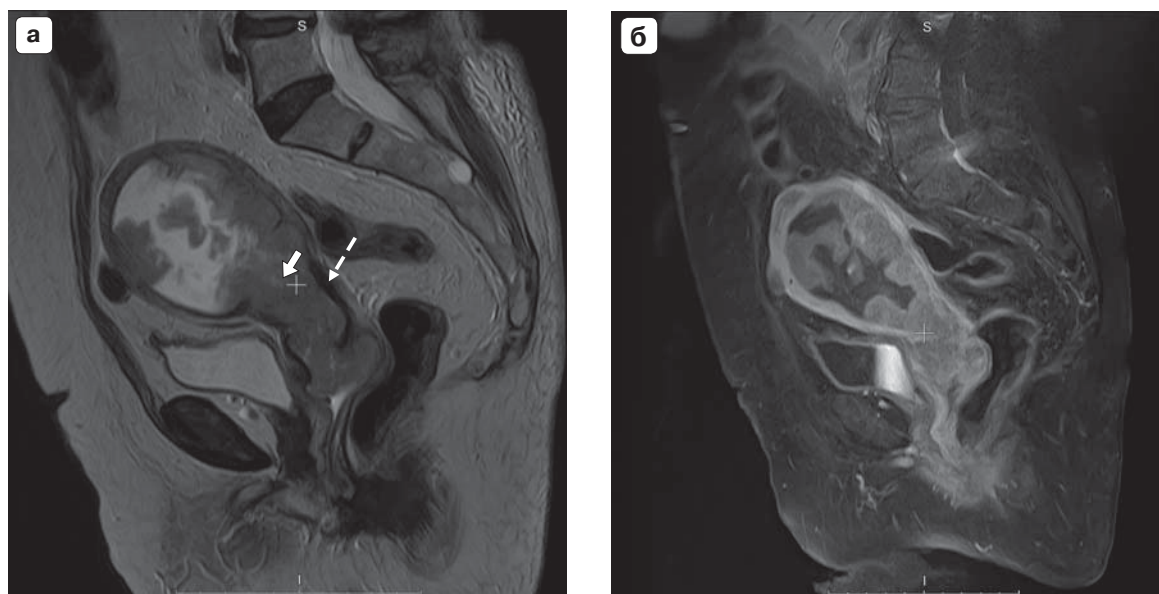
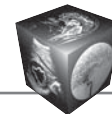


Рис. 9. МРТ малого таза у пациентки с раком эндометрия стадии IIIB по FIGO. **а** – T2ВИ в сагиттальной проекции, опухолевые массы инфильтрируют миометрий и распространяются на шейку матки и своды влагалища (сплошная стрелка); визуализируется сохраненная на большей протяженности часть цервикального кольца (пунктирная стрелка); **б** – T1ВИ с контрастным усилением, опухоль накапливает парамагнетик снижено относительно неизмененного миометрия.

Fig. 9. MRI of the pelvis in a patient with FIGO stage IIIB endometrial cancer. **a** – T2WI in the sagittal projection, tumor masses infiltrate the myometrium and spread to the cervix and vaginal vaults (arrow); the part of the cervical ring preserved for a greater extent is visualized (dotted arrow); **b** – T1WI with contrast enhancement, the tumor accumulates contrast is reduced relative to the unchanged myometrium.

является диагностика вовлечения слизистой оболочки мочевого пузыря, прямой кишки. Нами проанализирована пациентка, у которой определялась инвазия опухоли в мочевой пузырь. При данной патологии отсутствовала визуализация линейного гипоинтенсивного мышечного слоя на T2ВИ и отмечалась неровность, бугристость слизистой оболочки пузыря. Схожая картина наблюдается и при инвазии в стенку прямой кишки, однако в нашем исследовании больных с таким опухолевым поражением не встречалось.

Подводя итоги, можно смело высказаться о том, что диагностировать рак эндометрия с глубиной инвазии $1/2$ толщины миометрия и более, а также установить поражение шейки, параметральной клетчатки, влагалища не вызвало затруднений методом мпМРТ. У всех пациенток 3б-группы была адекватная оценка местного распространения опухолевого процесса. Эти данные позволяют рекомендовать МРТ как метод выбора при раке эндометрия T1b-стадии и выше. В то же время сомнительные результаты диагностических показателей МРТ в диагностике локализованных (неинвазивных) и начальных (малоинвазивных – до 5 мм) форм рака эндометрия особенно после проведенного РДВ ставят под вопрос целесообраз-

ность проведения МРТ на первичном этапе. ПЦОР МРТ в диагностике малоинвазивных форм рака эндометрия составила всего 40%, ПЦПР была гораздо выше – 77,8%. Следовательно, можно сделать вывод: визуализацию врачом-рентгенологом признаков инвазии в миометрий следует считать достоверной, а отсутствие инвазии – может быть ложной информацией. В связи с небольшой выборкой пациенток полученные данные носят больше описательный характер и требуют подтверждения на большей по численности группе больных.

Выводы

1. При неинвазивных процессах эндометрия 3D-реконструкция в ангиорежиме и ультразвуковая томография расширяют возможности В-режима, позволяя визуализировать неоднородные участки и степень выраженности васкуляризации и неоваскуляризации, а также проводить динамический контроль у пациенток с раком эндометрия, находящихся на консервативном лечении.

2. Интраэндометриальный кровоток является значимым показателем для возможного наличия неопластического процесса эндометрия.

3. Субэндометриальный кровоток является важным показателем малоинвазивного процесса



эндометрия только в сочетании с интраэндометриальным кровотоком.

4. Диагностическая информативность ультразвукового метода по Т-критерию по системе TNM для всех групп составила: чувствительность – 91,3%, специфичность – 88,4%, ПЦПР – 88,7%, ПЦОР – 91,0%.

5. Чувствительность, специфичность, ПЦПР и ПЦОР мпМРТ в диагностике инвазивных форм рака эндометрия составила 82,3, 66,6, 93,3, 40% соответственно.

6. Отсутствие инвазии миометрия по данным мпМРТ при раке эндометрия стадии T1a не исключает таковую (ПЦОР – 40%), а утверждение о наличии инвазии в толщу миометрия по данным мпМРТ соответствует таковому в больше чем половине случаев (ПЦПР – 77,8%).

7. Для диагностики местнораспространенных форм рака эндометрия следует отдать предпочтение мпМРТ органов малого таза с целью детальной оценки инвазии рака эндометрия в шейку матки, параметральную клетчатку, влагалище, смежные органы.

Заключение

Одной из наиболее важных проблем качества жизни пациенток с раком эндометрия репродуктивного возраста является сохранение фертильности. Возможность на дооперационном этапе достоверно установить наличие или отсутствие инвазивного процесса при раке эндометрия является ключевым моментом в выборе тактики противоопухолевого лечения. Целью нашего исследования было показать возможности каждого исследуемого метода: УЗИ с дополнительными методиками и мпМРТ. Полученные нами результаты показывают, что в ранней диагностике неинвазивного и малоинвазивного рака эндометрия (до 5 мм) ключевую роль играет интраэндометриальный и субэндометриальный кровоток при УЗИ. Диагностическая информативность метода МРТ в выявлении инвазии опухоли в миометрий для всех исследуемых групп составила: чувствительность – 82,30%, специфичность – 66,6%, ПЦПР – 93,30%, ПЦОР – 40%. Диагностическая информативность ультразвукового метода по Т-критерию по системе TNM для всех групп составила: чувствительность – 91,3%, специфичность – 88,4%, ПЦПР – 88,7%, ПЦОР – 91,0%.

Участие авторов

Нуднов Н.В. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Ивашина С.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Аксенова С.П. – проведение исследования, статистическая обработка данных, написание текста, подготовка и редактирование текста.

Authors' participation

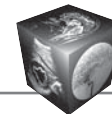
Nudnov N.V. – concept and design of the study, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Ivashina S.V. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Aksenova S.P. – conducting research, statistical analysis, writing text, preparation and creation of the published work.

Список литературы

1. Злокачественные новообразования в России в 2020 г. (Заболееваемость и смертность) / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2021. 252 с.
2. Ашрафян Л.А, Огрызкова В.Л., Харченко Н.В. Ивашина С.В., Саратян А.А. Ультразвуковые критерии оценки миометриальной инвазии рака эндометрия: Материалы научно-практической конференции «Современные подходы к диагностике и лечению гинекологического рака». СПб, 2004: 12.
3. Antonsen S.L., Jensen L.N., Loft A. et al. MRI, PET/CT and ultrasound in the preoperative staging of endometrial cancer – a multicenter prospective comparative study. *Gynecol. Oncol.* 2013; 128 (2): 300–308. <http://doi.org/10.1016/j.ygyno.2012.11.025>
4. Nougaret S., Horta M., Sala E. et al. Endometrial Cancer MRI staging: Updated Guidelines of the European Society of Urogenital Radiology. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (2): 792–805. <http://doi.org/10.1007/s00330-018-5515-y>
5. Alcázar J.L., Gastón B., Navarro B. et al. Transvaginal ultrasound versus magnetic resonance imaging for preoperative assessment of myometrial infiltration in patients with endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. *J. Gynecol. Oncol.* 2017; 28 (6): e86. <https://doi.org/10.3802/jgo.2017.28.e86>
6. Lee Y.J., Moon M.H., Sung C.K. et al. MR assessment of myometrial invasion in women with endometrial cancer: discrepancy between T2-weighted imaging and contrast-enhanced T1-weighted imaging. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2016; 41 (1): 127–135. <http://doi.org/10.1007/s00261-015-0607-5>
7. Deng L., Wang Q.P., Chen X. et al. The Combination of Diffusion- and T2-Weighted Imaging in Predicting Deep Myometrial Invasion of Endometrial Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2015; 39 (5): 661–673. <http://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000280>
8. Andreano A., Rechichi G., Rebora P. et al. MR diffusion imaging for preoperative staging of myometrial invasion in patients with endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (6): 1327–1338. <http://doi.org/10.1007/s00330-014-3139-4>



9. Steiner A., Alban G., Cheng T. et al. Vaginal recurrence of endometrial cancer: MRI characteristics and correlation with patient outcome after salvage radiation therapy. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2020; 45 (4): 1122–1131. <http://doi.org/10.1007/s00261-020-02453-2>
10. Нуднов Н.В., Аксенова С.П., Крейнина Ю.М., Котляров П.М. Магнитно-резонансная томография в диагностике вторичного опухолевого поражения влагалища. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2015; 3: 37–46. PMID: 26302621
11. Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Крейнина Ю.М. Магнитно-резонансная визуализация влагалища и малого таза у женщин, перенесших противоопухолевое лечение по поводу рака женских половых органов. *Медицинская визуализация*. 2017; 21 (2): 131–139. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-2-131-139>
12. Ашрафян Л.А. Стандартизованная диагностика рака эндометрия: Дис... д-ра мед. наук. М., 1989.
13. Бохман Я.В. Особенности клинического течения рака тела матки. Современные проблемы онкологии. Л., 1969: 70–78.
14. Каприн А.Д., Ашрафян Л.А., Стилиди И.С. Онкогинекология: Национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. 384 с.
15. Boothe D., Wolfson A., Christensen M. et al. Lymphovascular Invasion in Endometrial Cancer: Prognostic Value and Implications on Adjuvant Radiation Therapy Use. *Am. J. Clin. Oncol.* 2019; 42 (7): 549–554. <https://doi.org/10.1097/COC.0000000000000559>
16. Ашрафян Л.А., Антонова И.Б., Огрызкова В.Л., Бабаева Н.А., Басова И.О., Моцкобили Т.А., Мягкова А.А. Клинико-морфологическое обоснование микроинвазивного рака эндометрия. *Сибирский онкологический журнал*. 2007; Приложение: 9–15.
17. Otero-García M.M., Mesa-Álvarez A., Nikolic O. et al. Role of MRI in staging and follow-up of endometrial and cervical cancer: pitfalls and mimickers. *Insights. Imaging*. 2019; 10 (1): 19. <http://doi.org/10.1186/s13244-019-0696-8>
18. Naftalin J., Jurkovic D. The endometrial-myometrial junction: a fresh look at a busy crossing. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1002/uog.6432>
19. Moatasim A., Hameed Z., Ahmad I. Assessment of lymphovascular invasion in early stage endometrial carcinoma – a retrospective study. *Surg. Exp. Pathol.* 2021; 4: 9. <https://doi.org/10.1186/s42047-021-00091-6>
20. van der Putten L.J., van de Vijver K., Bartosch C. et al. Reproducibility of measurement of myometrial invasion in endometrial carcinoma. *Virchows Arch.* 2017; 470 (1): 63–68. <https://doi.org/10.1007/s00428-016-2035-5>
21. Kondalsamy-Chennakesavan S., van Vugt S., Sanday K. et al. Evaluation of tumor-free distance and depth of myometrial invasion as prognostic factors for lymph node metastases in endometrial cancer. *Int. J. Gynecol. Cancer.* 2010; 20 (7): 1217–1221. <https://doi.org/10.1111/igc.0b013e3181ef0a31>
22. Veade A.E., Foote J., Ehrisman J. et al. Associations between lymphovascular space invasion, nodal recurrence, and survival in patients with surgical stage I endometrioid endometrial adenocarcinoma. *Wild J. Surg. Oncol.* 2019; 17 (1): 80. <https://doi.org/10.1186/s12957-019-1620-x>
23. Oliver-Perez M.R., Magriña J., Villalain-Gonzalez C. et al. Lymphovascular space invasion in endometrial carcinoma: Tumor size and location matter. *Surg. Oncol.* 2021; 37: 101541. <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2021.101541>
24. Geels Y.P., Pijnenborg J.M., van den Berg-van Erp SH, Snijders MP, Bulten J, Massuger LF. Absolute depth of myometrial invasion in endometrial cancer is superior to the currently used cut-off value of 50%. *Gynecol. Oncol.* 2013; 129 (2): 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2013.02.013>
25. Faria S.C., Devine C.E., Rao B. et al. Imaging and Staging of Endometrial Cancer. *Semin. Ultrasound CT MR.* 2019; 40 (4): 287–294. <http://doi.org/10.1053/j.sult.2019.04.001>
26. Bi Q., Chen Y., Chen J. et al. Predictive value of T2-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced MRI for assessing cervical invasion in patients with endometrial cancer: a meta-analysis. *Clin. Imaging.* 2021; 78: 206–213. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2021.05.014>

References

1. Malignant neoplasms in Russia in 2020 (morbidity and mortality) / Eds A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. M.: MNIOL im. P.A. Herzen – branch of the Federal State Budgetary Institution “NMTs Radiology” of the Ministry of Health of Russia. 2021. 252 p. (In Russian)
2. Ashrafyan L.A., Ogryzkova V.L. Kharchenko N.V. Ivashina S.V., Saratyan A.A. Ultrasound criteria for assessing myometrial invasion of endometrial cancer. Proceedings of the scientific-practical conference “Modern approaches to the diagnosis and treatment of gynecological cancer”. SPb, 2004: 12. (In Russian)
3. Antonsen S.L., Jensen L.N., Loft A. et al. MRI, PET/CT and ultrasound in the preoperative staging of endometrial cancer – a multicenter prospective comparative study. *Gynecol. Oncol.* 2013; 128 (2): 300–308. <http://doi.org/10.1016/j.ygyno.2012.11.025>
4. Nougaret S., Horta M., Sala E. et al. Endometrial Cancer MRI staging: Updated Guidelines of the European Society of Urogenital Radiology. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (2): 792–805. <http://doi.org/10.1007/s00330-018-5515-y>
5. Alcázar J.L., Gastón B., Navarro B. et al. Transvaginal ultrasound versus magnetic resonance imaging for preoperative assessment of myometrial infiltration in patients with endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. *J. Gynecol. Oncol.* 2017; 28 (6): e86. <https://doi.org/10.3802/jgo.2017.28.e86>
6. Lee Y.J., Moon M.H., Sung C.K. et al. MR assessment of myometrial invasion in women with endometrial cancer: discrepancy between T2-weighted imaging and contrast-enhanced T1-weighted imaging. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2016; 41 (1): 127–135. <http://doi.org/10.1007/s00261-015-0607-5>
7. Deng L., Wang Q.P., Chen X. et al. The Combination of Diffusion- and T2-Weighted Imaging in Predicting Deep Myometrial Invasion of Endometrial Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2015; 39 (5): 661–673. <http://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000280>
8. Andreano A., Rechichi G., Rebora P. et al. MR diffusion imaging for preoperative staging of myometrial invasion in patients with endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (6): 1327–1338. <http://doi.org/10.1007/s00330-014-3139-4>
9. Steiner A., Alban G., Cheng T. et al. Vaginal recurrence of endometrial cancer: MRI characteristics and correlation with patient outcome after salvage radiation therapy. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2020; 45 (4): 1122–1131. <http://doi.org/10.1007/s00261-020-02453-2>



10. Nudnov N.V., Aksenova S.P., Kreĭnina Iu.M., Kotliarov P.M. [Magnetic resonance imaging in the diagnosis of secondary vaginal tumor involvement]. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2015; 3: 37–45. PMID: 26302621 (In Russian)
11. Aksenova S.P., Nudnov N.V., Kreinina Yu.M. Magnetic resonance imaging of the vagina and small pelvis in women undergoing antitumor treatment for cancer of the female genital organs. *Medical Visualization*. 2017; 21 (2): 131–139. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-2-131-139> (In Russian)
12. Ashrafyan L.A. Standardized diagnosis of endometrial cancer: Dis... doct. of med. sci. M., 1989. (In Russian)
13. Bohman Ya.V. Features of the clinical course of uterine body cancer. Modern problems of oncology. Leningrad, 1969: 70–78. (In Russian)
14. Kaprin A.D., Ashrafyan L.A., Stilidi I.S. Oncogynecology: National leadership. M.: GEOTAR-Media, 2019. 384 p. (In Russian)
15. Boothe D., Wolfson A., Christensen M. et al. Lymphovascular Invasion in Endometrial Cancer: Prognostic Value and Implications on Adjuvant Radiation Therapy Use. *Am. J. Clin. Oncol.* 2019; 42 (7): 549–554. <https://doi.org/10.1097/COC.0000000000000559>
16. Ashrafjan L.A., Antonova I.B., Ogryzkova V.L., Babaeva N.A., Basova I.O., Mockobili T.A., Mjagkova A.A. Clinical and morphological substantiation of microinvasive endometrial cancer. *Siberian Journal of Oncology*. 2007; Suppl.: 9–15. (In Russian)
17. Otero-García M.M., Mesa-Álvarez A., Nikolic O. et al. Role of MRI in staging and follow-up of endometrial and cervical cancer: pitfalls and mimickers. *Insights. Imaging*. 2019; 10 (1): 19. <http://doi.org/10.1186/s13244-019-0696-8>
18. Naftalin J., Jurkovic D. The endometrial-myometrial junction: a fresh look at a busy crossing. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1002/uog.6432>
19. Moatasim A., Hameed Z., Ahmad I. Assessment of lymphovascular invasion in early stage endometrial carcinoma – a retrospective study. *Surg. Exp. Pathol.* 2021; 4: 9. <https://doi.org/10.1186/s42047-021-00091-6>
20. van der Putten L.J., van de Vijver K., Bartosch C. et al. Reproducibility of measurement of myometrial invasion in endometrial carcinoma. *Virchows Arch.* 2017; 470 (1): 63–68. <https://doi.org/10.1007/s00428-016-2035-5>
21. Kondalsamy-Chennakesavan S., van Vugt S., Sanday K. et al. Evaluation of tumor-free distance and depth of myometrial invasion as prognostic factors for lymph node metastases in endometrial cancer. *Int. J. Gynecol. Cancer*. 2010; 20 (7): 1217–1221. <https://doi.org/10.1111/igc.0b013e3181ef0a31>
22. Veade A.E., Foote J., Ehrisman J. et al. Associations between lymphovascular space invasion, nodal recurrence, and survival in patients with surgical stage I endometrioid endometrial adenocarcinoma. *Wld J. Surg. Oncol.* 2019; 17 (1): 80. <https://doi.org/10.1186/s12957-019-1620-x>
23. Oliver-Perez M.R., Magriña J., Villalain-Gonzalez C. et al. Lymphovascular space invasion in endometrial carcinoma: Tumor size and location matter. *Surg. Oncol.* 2021; 37: 101541. <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2021.101541>
24. Geels Y.P., Pijnenborg J.M., van den Berg-van Erp SH, Snijders MP, Bulten J, Massuger LF. Absolute depth of myometrial invasion in endometrial cancer is superior to the currently used cut-off value of 50%. *Gynecol. Oncol.* 2013; 129 (2): 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2013.02.013>
25. Faria S.C., Devine C.E., Rao B. et al. Imaging and Staging of Endometrial Cancer. *Semin. Ultrasound CT MR.* 2019; 40 (4): 287–294. <http://doi.org/10.1053/j.sult.2019.04.001>
26. Bi Q., Chen Y., Chen J. et al. Predictive value of T2-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced MRI for assessing cervical invasion in patients with endometrial cancer: a meta-analysis. *Clin. Imaging*. 2021; 78: 206–213. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2021.05.014>

Для корреспонденции*: Ивашина Светлана Вячеславовна – e-mail: s.ivashina@bk.ru

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: nudnov@rncrr.ru

Ивашина Светлана Вячеславовна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории комплексной диагностики и лечения заболеваний органов мочеполовой и репродуктивной систем у взрослых и детей НИО хирургии, урологии, гинекологии и инвазивных технологий в онкологии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9287-2636>. E-mail: s.ivashina@bk.ru

Аксенова Светлана Павловна – канд. мед. наук, младший научный сотрудник лаборатории лучевой диагностики заболеваний (включая молочную железу) НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>. E-mail: fabella@mail.ru

Contact*: Svetlana V. Ivashina – e-mail: s.ivashina@bk.ru

Nikolai V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Vice-Director (Science), Chief of the research institute of complex diagnostics of diseases and radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: nudnov@rncrr.ru

Svetlana V. Ivashina – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Laboratory for Comprehensive Diagnosis and Treatment of Diseases of the Genitourinary and Reproductive Systems in Adults and Children, Research Department of Surgery, Urology, Gynecology and Invasive Technologies in Oncology of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9287-2636>. E-mail: s.ivashina@bk.ru

Svetlana P. Aksenova – Cand. of Sci. (Med.), junior researcher of Laboratory of Radiological Diagnostics of Diseases (including the Breast) of the Research Department for Comprehensive Diagnostics of Diseases and Radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>. E-mail: fabella@mail.ru