

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

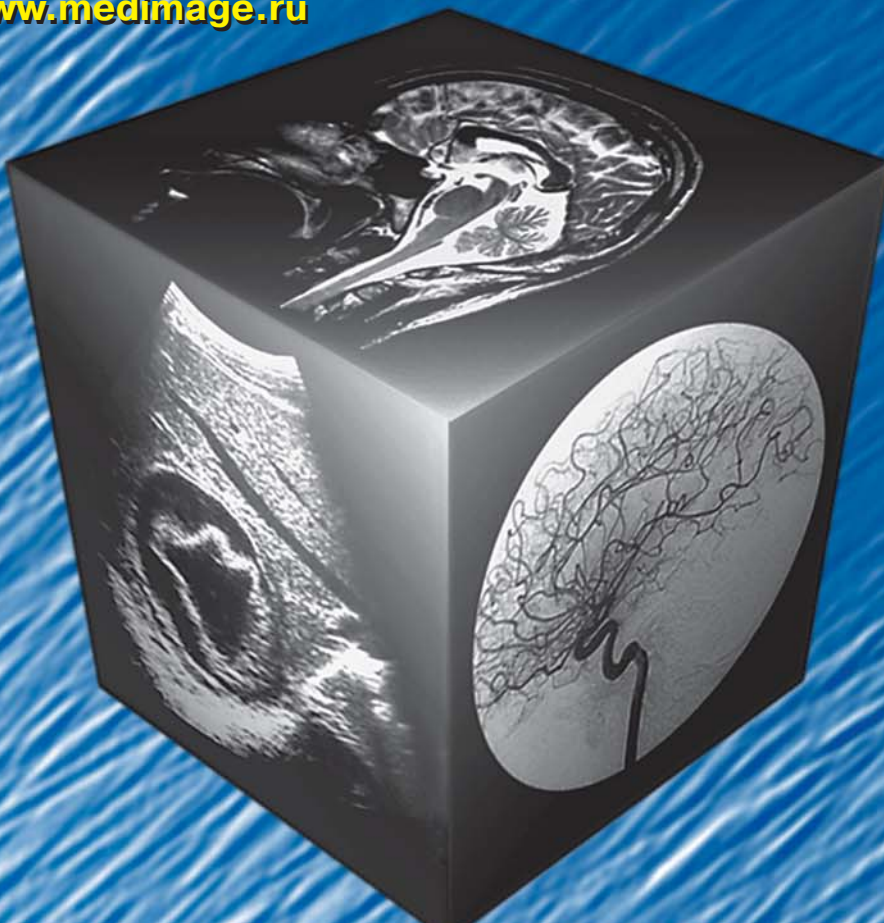
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №1
Vol 28 N1

2024

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



- Динамическая оценка фракционной анизотропии после ФУЗ-таламотомии у пациентов с болезнью Паркинсона
- Магнитно-резонансная томография в оценке стадийности внутримозговых кровоизлияний у детей
- КТ-перфузия в диагностике злокачественных образований ротоглотки и мониторинге химиолучевого лечения
- Современный взгляд на легочную секвестрацию
- Гломусная ангиома: серия наблюдений и обзор литературы

ВИДАР-М

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

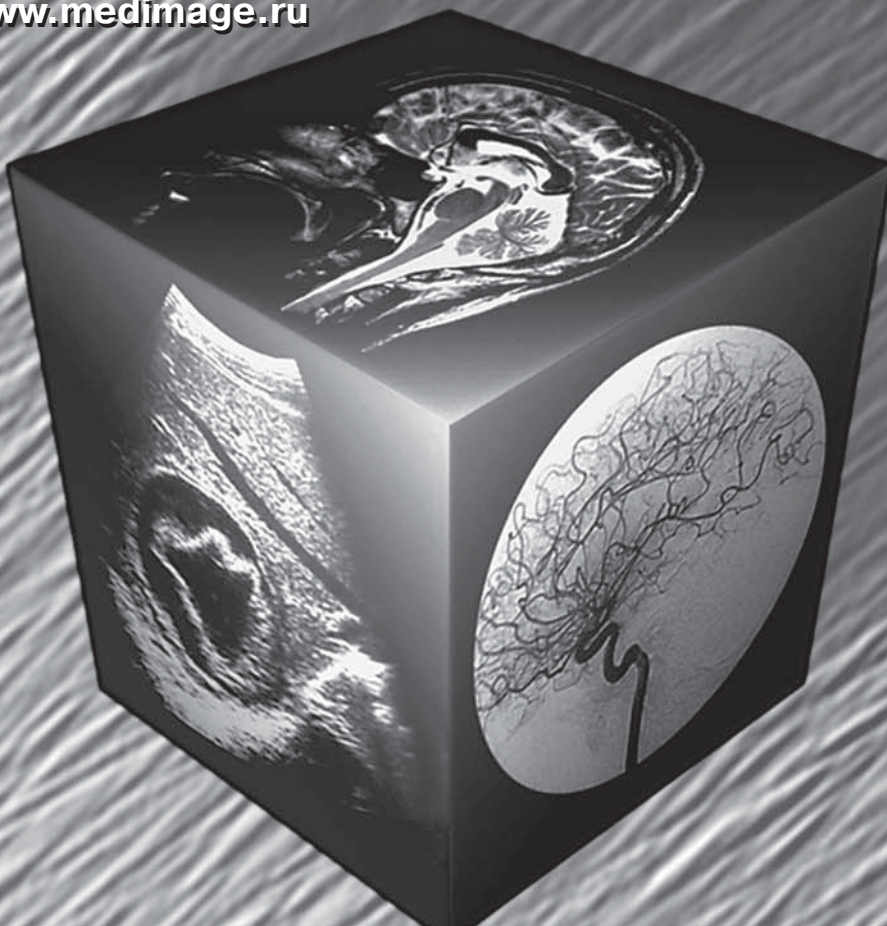
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №1
Vol 28 N1

2024

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



- Динамическая оценка фракционной анизотропии после ФУЗ-таламотомии у пациентов с болезнью Паркинсона
- Магнитно-резонансная томография в оценке стадийности внутримозговых кровоизлияний у детей
- КТ-перфузия в диагностике злокачественных образований ротоглотки и мониторинге химиолучевого лечения
- Современный взгляд на легочную секвестрацию
- Гломусная ангиома: серия наблюдений и обзор литературы

ВИДАР-М

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditinskaya vizualizatsiya

2024 Том 28 №1

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

Официальный
печатный орган

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

Издатель

ООО "Видар-М" (109028, Москва, а/я 16)

Главный редактор

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

Первый заместитель главного редактора

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

Заместитель главного редактора

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

Научные консультанты

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

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

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

Зав. редакцией

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

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Казакова Лариса Васильевна – доктор мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики отдела лучевой диагностики ФБУЗ “Приволжский окружной медицинский центр” ФМБА России, Нижний Новгород, Российская Федерация

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 Фучзянь, г. Фучжоу, Китайская Народная Республика.

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

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

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

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

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

ООО “Видар-М” 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”, 2024.

Все права сохраняются.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditinskaya vizualizatsiya

2024 V. 28 N1



Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

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

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

Moscow regional department of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists

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

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

Editor-in-Chief

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

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

First Deputy Editor

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

Publishing Editor

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

Scientific consultants

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

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

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

Chief of office

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

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

Editorial board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Larisa V. Kazakova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Ultrasonic Diagnostics at the Department of Radiological Diagnostics in Privolzhsky District Medical Center, Nizhny Novgorod, Russian Federation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Reg. № ПИ № ФС-77-21017, 12.05.05.

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

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

For inquiries relating to the publication, please contact: **karmazanovsky@ixv.ru**
27, Bol'shaya Serpukhovskaia 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-M” 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., 2024
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: 20.03.2024



Содержание

Голова

- 11 **Динамическая оценка фракционной анизотропии в очаге деструкции, выраженности тремора и МР-картины после ФУЗ-таламотомии у пациентов с болезнью Паркинсона**
Гумин И.С., Никитин Д.В., Шипилова Н.Н., Катунина Е.А., Сенько И.В., Долгушин М.Б.
- 21 **Магнитно-резонансная томография в оценке стадийности внутримозговых кровоизлияний у детей**
Мазаев А.П., Молодцов М.С., Щелькалина С.П.
- 35 **Клиническое 9-месячное наблюдение орбитального венозного варикоза с внутрипросветным тромбом с использованием лучевых методов**
Семенов С.Е., Малков И.Н., Шатохина М.Г., Гаранина Н.А., Молдавская И.В., Коков А.Н.
- 45 **Функциональная магнитно-резонансная томография в состоянии покоя: анализ коннективности крупномасштабных сетей головного мозга**
Абдулаев Ш.К., Тарумов Д.А., Богдановская А.С.
- 57 **КТ-перфузия в диагностике злокачественных образований ротоглотки и мониторинге химиолучевого лечения**
Головяхина А.В., Солодкий В.А., Нуднов Н.В.

Шея

- 65 **Возможности ультразвуковой диагностики параангиомиома шеи**
Тимина И.Е., Бурцева Е.А., Пяткова И.И., Кармазановский Г.Г.

Сердце и сосуды

- 76 **Согласованность эхокардиографической оценки тяжести митральной регургитации методами волюметрии и PISA с данными МРТ у пациентов со вторичной митральной регургитацией со сниженной фракцией выброса**
Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И.

Грудная клетка

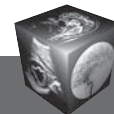
- 88 **Современный взгляд на легочную секвестрацию**
Винокуров А.С., Смирнова А.Д., Беленькая О.И., Юдин А.Л.
- 97 **Особенности рентгенологических проявлений при диагностике нетуберкулезных микобактериозов. Обзор литературы**
Хомутова Е.Ю., Порох В.И., Новиков П.В., Уралбаев А.А.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

- 110 **Лучевая диагностика в определении признаков возможного кровотечения из варикозно расширенных вен желудка (обзор литературы)**
Ягубова К.В., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А.
- 120 **Гломусная ангиома: серия наблюдений и обзор литературы**
Степанова Ю.А., Глотов А.В., Широков В.С., Коваленко А.А., Сапелкин С.В., Ахтанин Е.А., Леднев А.Н.

Малый таз

- 141 **Лучевая диагностика рака шейки матки. Консенсус экспертов**
Рубцова Н.А., Березовская Т.П., Быченко В.Г., Павловская Е.А., Солопова А.Е., Агабабян Т.А., Ходжибекова М.М., Рыжкова Д.В., Чекалова М.А., Мешкова И.Е., Гажонова В.Е., Гус А.И., Багненко С.С., Медведева Б.М., Ашрафян Л.А., Новикова Е.Г., Берлев И.В., Демидова Л.В., Крикунова Л.И., Коломиец Л.А.
- 157 **Радиомика фетальной магнитно-резонансной томографии при врожденной диафрагмальной грыже**
Сыркашев Е.М., Буров А.А., Подуровская Ю.Л., Кадырбердиева Ф.З., Икрянников Е.О., Семенов Д.С., Шарова Д.Е., Васильев Ю.А., Гус А.И.



Contents

Head

- 11 Fractional anisotropy within zone of destruction, tremor evaluation and MRI manifestation follow up after focused ultrasound thalamotomy for patients with Parkinson's disease**
Ivan S. Gumin, Dmitry V. Nikitin,
Natalya N. Shipilova, Elena A. Katunina,
Ilya V. Senko, Mikhail B. Dolgushin
- 21 Magnetic resonance imaging in assessing the staging of intracerebral hemorrhages in children**
Alexander P. Mazaev, Maksim S. Molodtsov,
Svetlana P. Shchelykalina
- 35 Clinical case of 9-month observation of orbital venous varicose with intraluminal thrombus using radiologic methods**
Stanislav E. Semenov, Ivan N. Malkov,
Maria G. Shatokhina, Nina A. Garanina,
Irina V. Moldavskaya, Alexander N. Kokov
- 45 Resting state functional magnetic resonance imaging: an analysis of the connectivity of brain large-scale networks**
Shamil K. Abdulaev, Dmitriy A. Tarumov,
Anna S. Bogdanovskaya
- 57 CT-perfusion in the diagnosis of oropharyngeal cancer and monitoring of chemoradiotherapy**
Alla V. Golovyakhina, Vladimir A. Solodkiy,
Nikolai V. Nudnov

Neck

- 65 Possibilities of ultrasound diagnostics of paragangliomas of the neck**
Irina E. Timina, Elena A. Burtceva,
Irina I. Pyatkova, Grigory G. Karmazanovsky

Heart and vessels

- 76 Consistency of echocardiographic assessment of the severity of mitral regurgitation using volumetric and PISA methods with MRI data in patients with secondary mitral regurgitation with reduced ejection fraction**
Vladlen V. Bazylev, Ruslan M. Babukov,
Fedor L. Bartosh, Alena V. Levina, Artur I. Mikulyak

Thorax

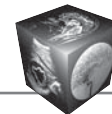
- 88 An actual concept of pulmonary sequestration**
Anton S. Vinokurov, Alexandra D. Smirnova,
Olga I. Belenkaya, Andrey L. Yudin
- 97 Features of radiological manifestations in the diagnosis of nontuberculous mycobacteriosis. Literature review Clinical observation**
Elena Yu. Khomutova, Vera I. Porokh,
Pavel V. Novikov, Alisher A. Uralbayev

Abdomen and retroperitoneum

- 110 Diagnostic imaging in determining the signs of possible bleeding from gastric varicose veins (literature review)**
Kira V. Yagubova, Andrey L. Yudin,
Natalya I. Afanas`eva, Elena A. Yumatova
- 120 Glomus angioma: series of cases and literature review**
Yulia A. Stepanova, Andrey V. Glotov,
Vadim S. Shirokov, Anastasia A. Kovalenko,
Sergey V. Sapelkin, Evgeniy A. Akhtanin,
Aleksey N. Lednev

Small pelvis

- 141 Imaging of cervical cancer. Consensus of experts**
Natalia A. Rubtsova, Tatiana P. Berezovskaia,
Vladimir G. Bychenko, Evgenya A. Pavlovskaya,
Alina E. Solopova, Tatev A. Agababyan, Malika M.
Khodzhibekova, Daria V. Ryzhkova, Marina A. Chekalova,
Irina E. Meshkova, Veronica E. Gazhonova,
Alexandr I. Gus, Sergey S. Bagnenko,
Bela M. Medvedeva, Levon A. Ashrafyan,
Elena G. Novikova, Igor V. Berlev,
Ludmila V. Demidova, Lyudmola I. Krikunova,
Larisa A. Kolomiets
- 157 Radiomics of fetal magnetic resonance imaging in congenital diaphragmatic hernia**
Egor M. Syrkashev, Artem A. Burov,
Yulia L. Podurovskaya, Faina Z. Kadyrberdiyeva,
Egor O. Ikryannikov, Dmitriy S. Semenov,
Daria E. Sharova, Yuriy A. Vasilev, Aleksandr I. Gus



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1375>

Динамическая оценка фракционной анизотропии в очаге деструкции, выраженности тремора и МР-картины после ФУЗ-таламотомии у пациентов с болезнью Паркинсона

© Гумин И.С.¹, Никитин Д.В.¹, Шипилова Н.Н.^{1,2}, Катунина Е.А.^{1,2}, Сенько И.В.¹, Долгушин М.Б.¹

¹ ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1/10, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Цель исследования: определение особенностей динамики МРТ-картины после таламотомии фокусированным ультразвуком (ФУЗ), в том числе значений фракционной анизотропии в очаге деструкции и оценка их корреляции с выраженностью тремора.

Материал и методы. В данное исследование вошло 7 пациентов с клинически установленной болезнью Паркинсона. Было проведено МРТ-исследование головного мозга до ФУЗ-таламотомии, в течение 3 ч, через 24 ч, через 3 и 6 мес после операции. Протокол исследования включал стандартные МР-последовательности, производилось построение карт фракционной анизотропии. До операции, через сутки, 3 и 6 мес оценена выраженность тремора по шкале CRST и оценена ее корреляция со значениями фракционной анизотропии, а также корреляция локализации очага деструкции с остаточным лечебным эффектом после операции при помощи модели линейной регрессии.

Результаты. Выявлены общие закономерности МРТ-картины: появление после операции “ядра” деструкции со скоплением парамагнетиков в структуре и перифокальным отеком; выраженность изменений достигала максимума через сутки после операции, регрессировала и практически не визуализировалась через 3 и 6 мес. Определялась высокая степень корреляции между объемами “ядра” деструкции и перифокального отека, отсутствие корреляции между выраженностью тремора и значениями фракционной анизотропии в “ядре” деструкции, слабая корреляция между локализацией “ядра” деструкции и величиной остаточного лечебного эффекта от ФУЗ-таламотомии через 6 мес после операции.

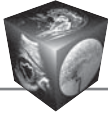
Выводы. МРТ-картина в течение 6 мес после ФУЗ-таламотомии имела схожий характер у всех пациентов с максимальной выраженностью через сутки после операции и последующим постепенным регрессом. Значения фракционной анизотропии не коррелировали с выраженностью тремора. Для пролонгированного лечебного эффекта вероятен вклад локализации фокуса деструкции, а именно положение вдоль сагитальной оси.

Ключевые слова: фокусированный ультразвук; тремор; болезнь Паркинсона; трактография; МРТ; ФУЗ; таламотомия; NIFU, фракционная анизотропия; ФА; CRST

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Гумин И.С., Никитин Д.В., Шипилова Н.Н., Катунина Е.А., Сенько И.В., Долгушин М.Б. Динамическая оценка фракционной анизотропии в очаге деструкции, выраженности тремора и МР-картины после ФУЗ-таламотомии у пациентов с болезнью Паркинсона. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 11–20. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1375>

Поступила в редакцию: 20.06.2023. Принята к печати: 23.12.2023. Опубликовано online: 23.01.2024.



Fractional anisotropy within zone of destruction, tremor evaluation and MRI manifestation follow up after focused ultrasound thalamotomy for patients with Parkinson's disease

© Ivan S. Gumin^{1*}, Dmitry V. Nikitin¹, Natalya N. Shipilova^{1,2},
Elena A. Katunina^{1,2}, Ilya V. Senko¹, Mikhail B. Dolgushin¹

¹ Federal center of brain research and neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency; 1-10, Ostrovitianov str., Moscow 117997, Russian Federation

² Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovitianov str., Moscow 117997, Russian Federation

Purpose. Assessment of MRI manifestation including fractional anisotropy within nucleus of destruction after focused ultrasound thalamotomy and estimation of its correlation with tremor severity.

Material and methods. 7 patients with clinically approved Parkinson's disease were included. MRI examinations of the brain were performed before FUS-thalamotomy, within 3 hours, after 24 hours, after 3 and 6 months after the operation. The study protocol included routine MR sequences; fractional anisotropy maps were generated. Before surgery, after a day, 3 and 6 months, the severity of tremor was assessed by the CRST scale; CRST values correlation with the values of fractional anisotropy, as well as the correlation of the coordinates of the destruction focus with the residual therapeutic effect of the operation was estimated using a linear regression model.

Results. The general patterns of the MRI manifestation were revealed: the appearance after the operation of the nucleus of destruction with the accumulation of paramagnetic substances in the structure and perifocal edema. The severity of the MRI-changes reached a maximum one day after the operation, regressed and were practically not visualized after 3 and 6 months. There was a high correlation between the volumes of the nucleus of destruction and perifocal edema, no correlation between the severity of tremor and the values of fractional anisotropy in the nucleus of destruction, a weak correlation between the localization of the nucleus of destruction and the value of the residual therapeutic effect of FUS-thalamotomy 6 months after surgery.

Conclusions. The MRI manifestation during 6 months after FUS-thalamotomy had a similar character in all patients, reached a maximum severity one day after the operation and had gradual regression. Fractional anisotropy values did not correlate with tremor severity. For a prolonged therapeutic effect the contribution of the localization of the focus along the sagittal axis is possible.

Keywords: ultrasound; tremor; Parkinson; PD; tractography; MRI; FUS; thalamotomy; HIFU; fractional anisotropy; FA; CRST

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

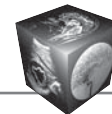
For citation: Gumin I.S., Nikitin D.V., Shipilova N.N., Katunina E.A., Senko I.V., Dolgushin M.B. Fractional anisotropy within zone of destruction, tremor evaluation and MRI manifestation follow up after focused ultrasound thalamotomy for patients with Parkinson's disease. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 11–20. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1375>

Введение

Болезнь Паркинсона (БП) – одно из самых распространенных нейродегенеративных заболеваний: по данным на 2016 г. число больных с выявленной патологией в мире составило 6,1 млн человек [1]. Наиболее частым ее симптомом является тремор, зачастую значительно ухудшающий качество жизни [2]. Более 39% пациентов с БП страдают его фармакорезистентной формой [3], что является показанием к хирургическому лечению. В таком случае часто выполняется установка электродов для глубинной стимуляции мозга (DBS) и стереотаксическая термодеструкция, при этом более современной и безопасной альтернативой

является таламотомия фокусированным ультразвуком (ФУЗ) с МРТ-навигацией [4]. Отмечается, что лечебный эффект в наблюдениях в течение года [5] и двух лет [6] у многих пациентов уменьшается, вплоть до полного исчезновения.

Во время операции происходит суммация ультразвуковых волн частотой 1–3 МГц в “фокусе” диаметром около 3 мм, выбранном при помощи данных МРТ. Подобное воздействие продолжительностью 10–30 с называется соникацией, результатом которой является нагрев указанного участка головного мозга до заданной температуры: для пролонгированного терапевтического эффекта необходимо достигнуть 56 °С и более,



для обратимого в течение нескольких минут – меньшей температуры. При лечении тремора таким образом должно быть разрушено вентральное промежуточное ядро таламуса (VIM), локализация которого вариабельна и не может быть достоверно определена рутинными методиками нейровизуализации [7].

Чаще всего для локализации VIM используют формулу с топографическими ориентирами: 14 мм по горизонтальной оси относительно межкомиссуральной линии в сторону поражаемого таламуса (x), 25% от межкомиссуральной длины относительно задней комиссуры по сагиттальной оси (y) на уровне среза с одновременной визуализацией обеих комиссур мозга (z) [8]. Более современным методом локализации является МР-трактография, позволяющая визуализировать основные пучки дентаторуброталамического тракта (ДРТТ), проходящего через таламус в VIM [9]. Для построения необходимых проводящих путей используются данные фракционной анизотропии (ФА), позволяющие оценить среднюю направленность диффузии молекул воды в каждом вокселе области сканирования; в применении к веществу головного мозга – оценить ход аксонов и степень их повреждения [10]. Связь ФА с сохранностью пирамидных трактов была наглядно продемонстрирована, и сегодня значения ФА в заднем бедре внутренней капсулы используются для выбора модели реабилитации после перенесенного ишемического инсульта [11].

Представляют интерес аспекты МР-картины в динамике в связи с немногочисленностью и некоторой разнородностью работ на эту тему [12, 13]. Для лучшего понимания возможных причин регресса лечебного эффекта интересны корреляция ФА в области ядра деструкции после ФУЗ-таламотомии и его локализация с выраженностью тремора.

Материал и методы

В исследование вошло 7 пациентов с клинически подтвержденной фармакорезистентной дрожательной формой БП: 5 мужчин и 2 женщины средним возрастом $59,6 \pm 6,9$ года. Им была показана ФУЗ-таламотомия с МРТ-навигацией: в 4 случаях левого таламуса, 3 – правого.

Всем пациентам МРТ-исследования головного мозга проводились при помощи МР-томографа Discovery MR750w 3.0 Тл (General Electric Healthcare, США) с использованием нейроваскулярной катушки. Протокол включал получение Т1-взвешенных изображений (Т1ВИ) с изотропным вокселем 1 мм, изображений в режиме T2-FLAIR с изотропным вокселем 1,2 мм, взвешенных по магнитной восприимчивости изображений в режиме SWAN с тол-

щиной среза 3 мм, диффузионно-взвешенных изображений с вокселем $1 \times 1 \times 3$ мм, полученных при 24 направлениях градиента магнитного поля, по данным которых при помощи встроенного программного обеспечения также генерировались карты ФА. Обследования выполнялись до операции, в течение 3 ч, после суток, 3 и 6 мес после ее окончания; одному пациенту обследования после суток и 3 мес не проводились.

ФУЗ-таламотомия выполнялась при помощи специализированного стола с ФУЗ-трансдюсером Exablate Neuro (Insightec, Израиль), подключенного к МР-томографу Discovery MR750w 3,0 Тл. Протокол выполнения процедуры включал в себя проведение калибровочных воздействий ультразвуком (соникаций) для оценки стереотаксической точности без развития каких-либо клинических эффектов, пробных воздействий с обратимым результатом и лечебных деструкций для достижения пролонгированного эффекта. Температура и локализация фокуса нагрева контролировалась при помощи карт, генерирующихся одновременно с самим воздействием на основании последовательностей для МР-термометрии. При недостаточном снижении тремора или возникновении побочных явлений в виде парестезий или легкого пареза локализация очага во время пробных воздействий менялась до достижения необходимого результата. Для найденного таким образом положения температура воздействия увеличивалась и производилась деструкция тканей в фокусе с достижением стойкого эффекта. В среднем для каждого пациента было выполнено $3,3 \pm 0,8$ лечебных соникаций с максимальным нагревом очага до температуры $61,4 \pm 2,4$ °С.

Измерение объема очага (“ядра”) деструкции выполнялось по данным Т1ВИ, отека – изображений в режиме T2-FLAIR методом ручного посрезового выделения рентгенологом при помощи приложения для сегментации ITK-Snap (University of Pennsylvania, США). После автоматической корегистрации с картами ФА в соответствующих областях вычислялось ее среднее значение и среднее квадратичное отклонение.

Локализация “ядра” проводилась путем расчета расстояний от его геометрического центра по данным Т1ВИ, полученных в течение 3 ч после ФУЗ-таламотомии: до межкомиссуральной линии (горизонтальная ось, x); до плоскости с одновременной визуализацией обеих комиссур (вертикальная ось, z); отношения сагиттального расстояния от задней комиссуры (y) к межкомиссуральному расстоянию (асрс).

Для оценки выраженности тремора использовалась шкала CRST (Clinical Rating Scale for Tremor),



которая проводилась до операции, на следующие сутки, через 3 и 6 мес; одному пациенту оценка через 3 мес не проводилась.

Относительные изменения тремора и ФА вычислялись по формуле

$$(V_0 - V_i) / V_0 \quad (1),$$

где V_i – значение в рассматриваемый срок после операции, V_0 – значение до операции. Для V_0 ФА измерялось ее среднее значение по данным дооперационных ФА-карт в месте, соответствующем деструкции в течение 3 ч после операции.

Построение линейных моделей осуществлялось при помощи статистических библиотек Scikit-learn (D. Courville) и Statsmodels (S. Seabold, J. Perktold), имплементированных в среде программирования Jupyter Notebook (F. Pérez).

Результаты

На изображениях, полученных в течение 3 ч после ФУЗ-таламотомии, определялись зоны деструкции (“ядро”) и перифокального отека, лучше всего визуализируемые на T1ВИ и T2-FLAIR соответственно [14]. Описанные изменения достигали максимальной выраженности через сутки после

операции (рис. 1 а, б), через 3 мес значительно уменьшались и практически не определялись через 6 мес. У всех пациентов наблюдалась идентичная МРТ-картина на изображениях, взвешенных по магнитной восприимчивости (SWI): в течение 3 ч после операции визуализировалась слабая гипоинтенсивность в центре ядра деструкции, через сутки – выраженная зона гипоинтенсивности (рис. 1в), через 3 мес – более мелкий шаровидный очаг гипоинтенсивности, через 6 мес – аналогичные еще менее выраженные изменения.

В области описанных изменений на картах ФА в течение 3 ч и первых суток после операции четко определялась совпадающая с “ядром” деструкции зона сниженной ФА (рис. 1г). Через 3 и 6 мес визуально подобные изменения не выявлялись.

Были рассчитаны средние значения объемов “ядра” деструкции и отека для исследуемой выборки (рис. 2): наибольшие наблюдались через сутки после операции и составляли $419,3 \pm 70,8 \text{ мм}^3$ (“ядро”) и $2324,8 \pm 802,0 \text{ мм}^3$ (отек). В области, соответствующей описанным изменениям, среднее значение ФА было минимальным в течение 3 ч после операции (0,15), при этом имея наименьшее среднее квадратичное отклонение (0,03),

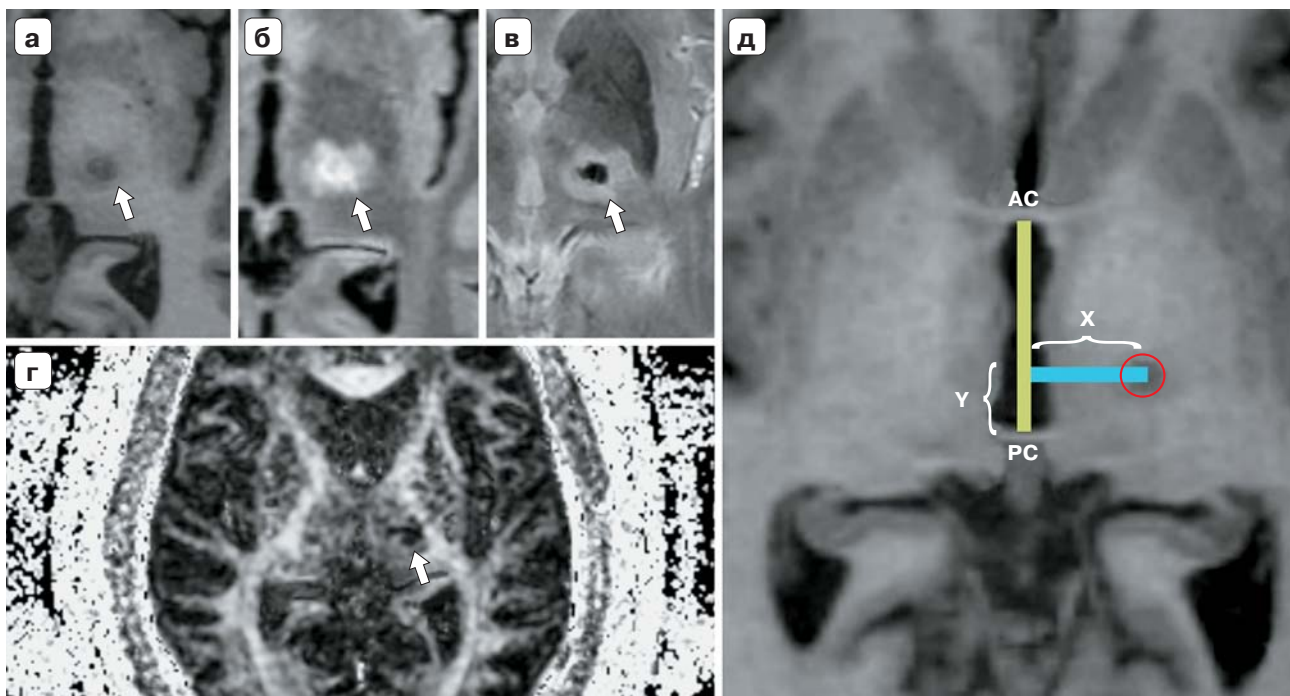


Рис. 1. МР-томограммы, полученные через сутки после ФУЗ-таламотомии. а – T1ВИ; б – T2-FLAIR; в – SWAN; г – карта ФА; д – схематичное изображение локализации “ядра” деструкции (обведен красным), где АС – передняя комиссура, РС – задняя комиссура, x и y – расстояния, используемые для расчетов. Стрелкой указан очаг деструкции.

Fig. 1. MR-images at day after FUS-thalamotomy. а – T1; б – T2-FLAIR; в – SWAN; г – fractional anisotropy map; д – schematic image of the “nucleus” of destruction and edema; AC – anterior commissure, PC – posterior commissure; x and y – distances for calculations. Arrow points the “nucleus”.

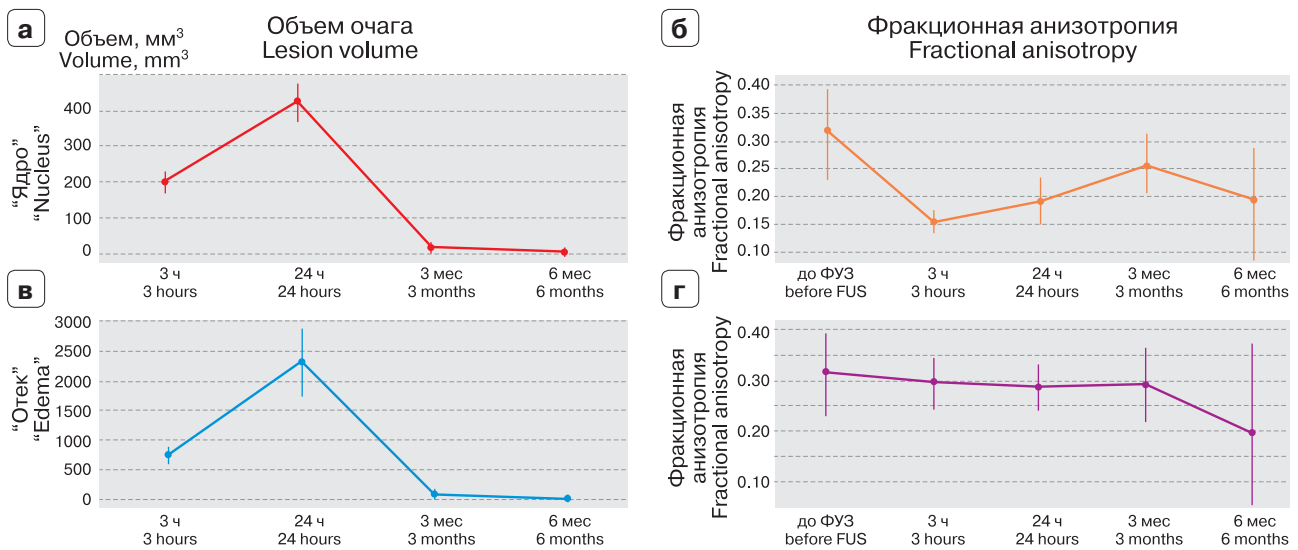


Рис. 2. Средние значения со средними квадратичными отклонениями объема "ядра" деструкции и отека после операции, средние значения со средними квадратичными отклонениями фракционной анизотропии в "ядре" и зоне отека. **а** – объем "ядра"; **б** – значения ФА в "ядре"; **в** – объем отека; **г** – значения ФА в отеке.

Fig. 2. Mean values and deviations of "nucleus" and edema volumes (**a, в**) and average FA (with deviations) after FUS-thalamotomy (**б, г**).

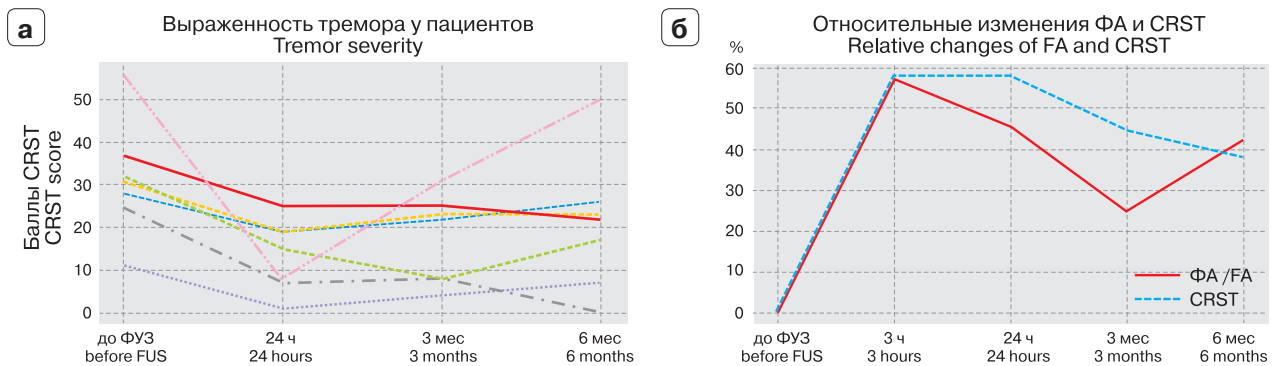


Рис. 3. а – относительное изменение тремора по шкале CRST у пациентов в течение 6 мес после операции; **б** – средние значения относительных изменений ФА (сплошная линия) в "ядре" и баллов CRST (пунктирная линия).

Fig. 3. а – relative change of tremor (CRST) 6 months after FUS-thalamotomy; **б** – mean values of FA relative changes within "nucleus".

далее постепенно стремилось к дооперационному уровню, тем не менее не достигая его.

Через 6 мес после операции среди пациентов наблюдалась различная эволюция тремора: от полного его исчезновения до улучшения лишь на 7,1% в сравнении с дооперационным уровнем; при среднем значении остаточного лечебного эффекта $38,2 \pm 31,0\%$ (рис. 3а). Средние значения ФА и CRST имели схожий тренд – их относительные изменения были очень близки в течение 3 ч после операции (рис. 3б).

По трем анатомическим осям (рис. 1д) была оценена локализация центра очага деструкции

("ядра") относительно хирургических координат (табл. 1): кратчайшее расстояние от межкомиссуральной линии (x), каудокраниальное расстояние от среза с одновременной визуализацией передней и задней комиссур (z), соотношение расстояния от задней комиссуры вдоль сагитальной оси (y) к межкомиссуральной длине. Для оценки влияния объема "ядра" (v) на Т1ВИ была введена соответствующая независимая переменная.

Для анализа корреляции объемов отека и "ядра" деструкции использовалась линейная регрессия. Полученная модель (рис. 4) обладала

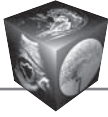


Таблица 1. Значения расстояний x (кратчайшее расстояние от межкомиссуральной линии до геометрического центра “ядра”) и z (расстояние от среза с одновременной визуализацией передней и задней комиссур до геометрического центра “ядра”) в мм и отношение y (расстояние от задней комиссуры вдоль сагиттальной оси до геометрического центра “ядра”) к межкомиссуральной длине (асрс); v – объем “ядра” в мм³ на Т1ВИ

Table 1. Distance x (the shortest distance from intercomissural line to the center of a “nucleus”) and distance z (distance from ac-pc axial plane to the center of a “nucleus”), mm; ratio y (distance from pc across sagittal axis to the center of a “nucleus”) to the intercomissural length (acpc); v – volume of “nucleus”, mm³

x, мм x, mm	y/асрс	z, мм z, mm	v, мм ³ v, mm ³
14	0.35	1	227
14.6	0.26	0	242
13	0.31	3	239
12.9	0.32	3	166
14.5	0.28	3	209
15	0.28	2	189
13.8	0.29	3	129

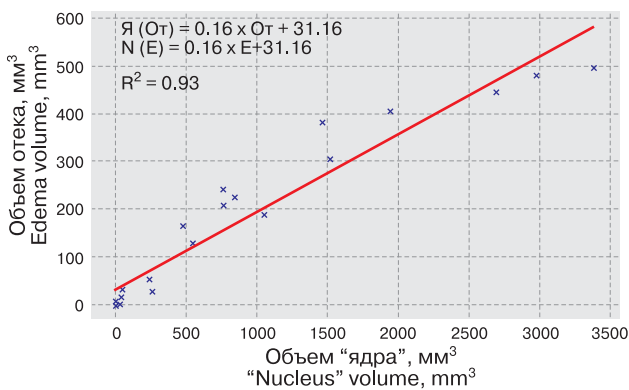


Рис. 4. Экспериментальные данные и зависимость объема “ядра” деструкции от отека по результатам линейной регрессии. Я – объем “ядра”, От – объем отека в мм³.

Fig. 4. Experimental data scatter plot with “nucleus” (N) and edema (E) volumes in mm³ dependency.

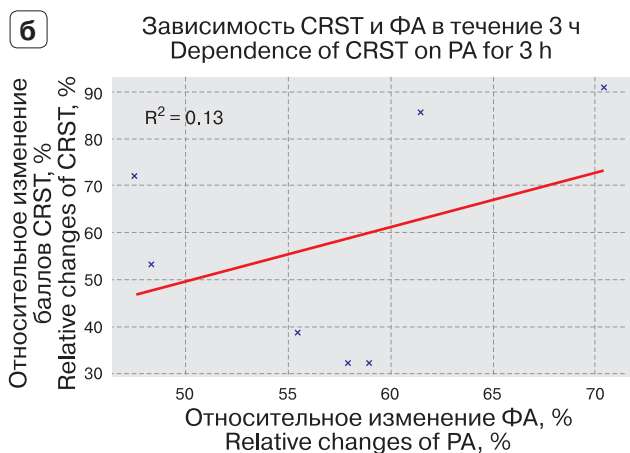
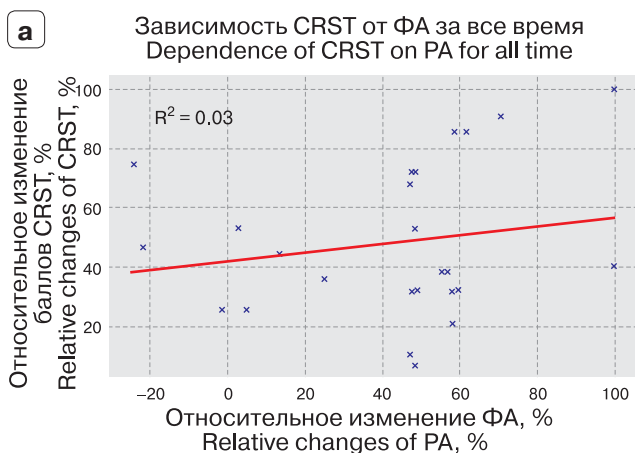
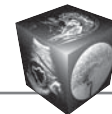


Рис. 5. Зависимость ФА от баллов по шкале CRST (выраженность тремора) по результатам линейной регрессии. **а** – данные за все временные отрезки; **б** – только в течение 3 ч после операции.

Fig. 5. FA and CRST dependency by linear regression results. **a** – all time points data; **b** – only within 3 hours after FUS-thalamotomy data.



значительной близостью к эмпирическим данным ($R^2 = 0,93$) и описывалась формулой (2):

$$Я(От) = 0,16 \times От + 31,16 ,$$

где Я – объем “ядра”, От – объем отека в мм³.

В результате построения модели зависимости относительного изменения баллов CRST и значений ФА в сравнении с дооперационным уровнем с помощью линейной регрессии для всех временных отрезков (рис. 5а) ее близость к полученным данным оказалась крайне низкой ($R^2 = 0,03$). Аналогичные результаты ($R^2 = 0,13$) были получены для набора данных, полученных в течение 3 ч после операции (рис. 5б).

Для оценки влияния локализации очага на исход ФУЗ-таламотомии была построена обобщенная линейная модель, где в качестве независимых переменных использовались расстояния до центра очага деструкции и его объем, а в качестве зависимой переменной – относительное изменение тремора через 6 мес после операции. По результатам расчетов (табл. 2) была получена формула (3):

$$\Delta Tr6m = 4,3 \times \frac{y}{асрс} - 0,08 \times x + 0,03 \times z - 0,001 \times v + 0,37$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,3$, где $\Delta Tr6m$ – относительное изменение тремора через 6 мес после операции в сравнении с уровнем до ФУЗ-таламотомии в баллах CRST; y – расстояние от задней комиссуры до центра “ядра” деструкции; $асрс$ – межкомиссуральная длина; x – кратчайшее расстояние от межкомиссуральной линии, проведенной через центр комиссур, до центра “ядра”; z – каудокраниальное расстояние от среза с одновременной визуализацией передней и задней комиссур до центра “ядра”; v – объем “ядра” по данным Т1ВИ в течение 3 ч после операции.

Обсуждение

Тенденция изменения объемов “ядра” деструкции и отека была схожа для всех пациентов. Средние значения на момент максимальных изменений (на следующие сутки) в рассматриваемой выборке (419 и 2325 мм³) оказались значительно выше, чем в работе G. Zug и соавт. (200 и 1500 мм³) [13]. Это можно объяснить разницей в методике подсчета: в сторонней работе она осуществлялась автоматически путем вычитания предварительно нормализованных к усредненной модели мозга (MNI) изображений и достижения одинакового порога значений. В работе V.C. Keil и соавт. [12] выделение проводилось вручную, при этом размеры “ядра” (400 ± 200 мм³) оказались очень близки полученным нами, а отек оценивался по T2ВИ и был меньше (1500 ± 900 мм³). Ввиду этого нельзя исключить влияния принимаемой противоотечной терапии, которая не была упомянута и могла иметь место в сторонних работах и не проводилась для пациентов в исследуемой нами выборке.

По нашим и сторонним [12] результатам линейной регрессии отмечалась крайне высокая корреляция между “ядром” и отеком (см. рис. 4). Это позволяет предположить, что объем определяемого по данным Т1ВИ “ядра” (очага деструкции) выражено зависит от отека, определяемого на изображениях T2-FLAIR. Учитывая тот факт, что отек нарастает со временем, справедливо сделать заключение: объем очага деструкции наиболее приближен к истинному послеоперационному, когда отек минимален, то есть в наиболее ранний момент времени после операции.

Так как диффузионно-взвешенные изображения являются крайне чувствительными к неоднородностям магнитного поля, в том числе вызываемым скоплениями парамагнетиков, данные ФА обладают меньшей точностью, когда эффект неоднород-

Таблица 2. Результаты обобщенной линейной модели для параметров Т1ВИ в течение 3 ч после операции в качестве независимых переменных и относительного изменения тремора по шкале CRST через 6 мес после операции

Table 2. Generalized line modeling results for parameters (variables) of T1 images in first 3 hours since the operation as predictors and relative change of tremor (CRST scale) after 6 months after as response variable

Параметр Variable	Коэффициент Coefficient	Стандартное отклонение остатка Standard deviation	Z-оценка Z-score
y/асрс	4.26	7.03	0.61
x	-0.08	0.3	-0.26
y	0.03	0.2	0.13
v	-0.001	0.005	-0.21
Константа Intercept	0.37	6.04	0.06



ности сильно выражен [10]. Через сутки после операции на изображениях SWAN изменения всегда были безальтернативно максимальными, из чего можно сделать предположение о том, что значения ФА в это время значительно менее достоверны. Таким образом, наибольшей ценностью обладают данные через несколько часов после операции. Показания через 3 и 6 мес, вероятно, также менее достоверны из-за крайне небольшого объема очага, приближенного к разрешающей способности карт ФА.

Относительное изменение ФА в “ядре” не показало значимой связи с относительным изменением тремора в сравнении с дооперационным уровнем (см. рис. 5а). Так как уровень ФА коррелирует с сохранностью нервных волокон (белого вещества) [10], полученный результат можно объяснить следующими причинами: значения ФА на фоне отека и мелкого размера измеряемого объема слабо отражают состояние белого вещества или же положительный лечебный эффект в более тонкой манере зависит от локализации очага деструкции. Предположение о влиянии отека было оценено анализом зависимости ФА от изменения тремора в течение 3 ч после операции (см. рис. 5б). В этом случае также не выявлялось линейной зависимости.

Степень влияния отека на значения ФА можно оценить по ее средним значениям, измеренным в соответствующих зоне гиперинтенсивности на T2-FLAIR изображениях локализациях. Полученные средние значения, как и в работе G. Zur и соавт. [13], практически не менялись от состояния до операции до момента спустя 3 мес после нее. Отмечался спад среднего значения через 6 мес, но, учитывая значительный разброс значений, это можно объяснить влиянием большой погрешности вследствие крайне маленького объема очага, сравнимого с разрешающей способностью карт ФА. Таким образом, практически неизменные средние значения ФА в зоне отека до и после ФУЗ-таламотомии свидетельствуют в пользу минимального влияния отека на значения ФА.

Как видно из формулы 3, наибольшим вкладом обладала координата “ядра” вдоль межкомиссуральной линии (сагиттальной оси). Однако по данным линейной модели стандартное отклонение остатка этого регрессора имело большой разброс, превышающий сам коэффициент (табл. 2). Таким образом, полученные данные не являются статистически достоверными и требуется большее количество наблюдений.

Единственный полученный коэффициент, который может быть значительно отличным от нуля, представляет координату в переднезаднем на-

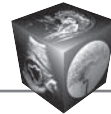
правлении (y). Более вероятно, что он положителен; в таком случае разрушение структур, лежащих кпереди от VIM, предрасполагает к более долгосрочному сохранению лечебного эффекта. К таким структурам в наибольшей степени относится заднее вентральное оральное ядро таламуса (VOP) [15]. Описанная область входит в кортико-базальный ганглио-таламо-кортикальный нервный контур, участвующий в координации движений [16]. Она успешно использовалась в качестве мишени при глубокой стимуляции мозга для лечения таких двигательных нарушений, как мышечная дистония [17] и рубральный тремор [18]. Описан случай разрушения гамма-ножом переднего вентрального орального ядра таламуса (VOA), прилежащего к VOP, в результате чего через год побочные эффекты не наблюдались, а тремор значительно снизился [19]; при этом в силу эффекта рассеяния пучка гамма-ножа и использования для разметки неиндивидуализированного атласа Schaltenbrand–Wahren нельзя исключить поражения VOP. В связи с вышеизложенным выглядит перспективным поиск методов, позволяющих прямо визуализировать VOP и VIM, которых достоверно на сегодняшний день не существует. Единственным доступным в клинической практике способом косвенного обнаружения VIM является МР-трактография с построением ДРТТ [20].

Выводы

1. В течение 6 мес после операции динамика МРТ-картины имела схожий характер у всех пациентов. Максимальные изменения и разброс объемов очага деструкции и отека, обладающих сильной корреляцией друг с другом, наблюдались на следующие сутки после операции. При этом степень регресса тремора в этой контрольной точке имела относительно небольшой разброс и значительно варьировалась в более поздние сроки.

2. Полученные данные свидетельствуют в пользу того, что степень разрушения вещества мозга в заданном фокусе в ходе порогового нагрева при ФУЗ-таламотомии мало различалась у пациентов и поэтому вряд ли играла решающую роль в регрессе тремора.

3. Для пролонгированного лечебного эффекта вероятен вклад локализации фокуса, а именно положение вдоль сагиттальной оси. Таким образом, может быть важно вовлечение части VIM на границе с VOP, что требует уточнения на большей выборке наблюдений. В связи с этим также выглядит перспективным поиск методов прямой визуализации VIM и VOP для более точной оценки степени их вовлечения в очаг деструкции.



Участие авторов

Гумин И.С. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Никитин Д.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Шипилова Н.Н. – проведение исследования, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Катунина Е.А. – участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста.

Сенько И.В. – участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста.

Долгушин М.Б. – анализ и интерпретация полученных данных, концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Gumin I.S. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, writing text, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data.

Nikitin D.V. – conducting research, collection and analysis of data.

Shipilova N.N. – conducting research, collection and analysis of data, text preparation and editing.

Katunina E.A. – participation in scientific design, text preparation and editing.

Senko I.V. – participation in scientific design, text preparation and editing.

Dolgushin M.B. – analysis and interpretation of the obtained data, concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

- GBD 2016 Parkinson's Disease Collaborators. Global, regional, and national burden of Parkinson's disease, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol.* 2018; 17 (11): 939–953. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30295-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30295-3)
- Zhao N., Yang Y., Zhang L. et al. Quality of life in Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis of comparative studies. *CNS Neurosci Ther.* 2021; 27 (3): 270–279. <https://doi.org/10.1111/cns.13549>
- Zach H., Dirx M.F., Roth D. et al. Dopamine-responsive and dopamine-resistant resting tremor in Parkinson disease. *Neurology.* 2020; 95 (11): e1461–e1470. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000010316>
- Титова Н.В., Катунина Е.А., Таирова Р.Т., Сенько И.В., Джафаров В.М., Малыхина Е.А. Фармакорезистентный тремор при болезни Паркинсона и эссенциальном треморе. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2022; 122 (10): 24–30. <https://doi.org/10.17116/jnevro202212210124>
- Titova N.V., Katunina E.A., Tairova R.T. et al. The problem of pharmacoresistant tremor in Parkinson's disease and essential tremor. *Zhurnal Nevrol i psikiatrii im SS Korsakova = The Korsakov's Journal of Neurology and Psychiatry.* 2022; 122 (10): 24–30. <https://doi.org/10.17116/jnevro202212210124> (In Russian)
- Elias W.J., Lipsman N., Ondo W.G., et al. A Randomized Trial of Focused Ultrasound Thalamotomy for Essential Tremor. *N. Engl. J. Med.* 2016; 375 (8): 730–739. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1600159>
- Chang J.W., Park C.K., Lipsman N. et al. A prospective trial of magnetic resonance-guided focused ultrasound thalamotomy for essential tremor: Results at the 2-year follow-up. *Ann. Neurol.* 2018; 83 (1): 107–114. <https://doi.org/10.1002/ana.25126>
- Quadri S.A., Waqas M., Khan I. et al. High-intensity focused ultrasound: Past, present, and future in neurosurgery. *Neurosurg. Focus.* 2018; 44 (2): E16. <https://doi.org/10.3171/2017.11.FOCUS17610>
- Benabid A.L., Pollak P., Hoffmann D. et al. Long-term suppression of tremor by chronic stimulation of the ventral intermediate thalamic nucleus. *Lancet.* 1991; 337 (8738): 403–406. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91175-T](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91175-T)
- Lehman V.T., Lee K.H., Klassen B.T. et al. MRI and tractography techniques to localize the ventral intermediate nucleus and dentatorubrothalamic tract for deep brain stimulation and MR-guided focused ultrasound: a narrative review and update. *Neurosurg. Focus.* 2020; 49 (1): E8. <https://doi.org/10.3171/2020.4.FOCUS20170>
- Никогосова А.К., Ростовцева Т.М., Берегов М.М., Губский И.Л., Лелюк В.Г. Магнитно-резонансная трактография: возможности и ограничения метода, современный подход к обработке данных. *Медицинская визуализация.* 2022; 26 (3): 132–148. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1064>
- Nikogosova A.K., Rostovtseva T.M., Beregov M.M. et al. Magnetic resonance tractography: possibilities and limitations, modern approach to data processing. *Medical Visualization.* 2022; 26 (3): 132–148. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1064> (In Russian)
- Nazarova M., Kulikova S., Piradov M.A. et al. Multimodal Assessment of the Motor System in Patients With Chronic Ischemic Stroke. *Stroke.* 2021; 52 (1): 241–249. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.119.028832>
- Keil V.C., Borger V., Purrer V. et al. MRI follow-up after magnetic resonance-guided focused ultrasound for non-invasive thalamotomy: the neuroradiologist's perspective. *Neuroradiology.* 2020; 62 (9): 1111–1122. <https://doi.org/10.1007/s00234-020-02433-9>
- Zur G., Lesman-Segev O.H., Schlesinger I. et al. Tremor Relief and Structural Integrity after MRI-guided Focused US Thalamotomy in Tremor Disorders. *Radiology.* 2020; 294 (3): 676–685. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019191624>
- Гумин И.С., Малыхина Е.А., Джафаров В.М., Катунина Е.А., Сенько И.В., Долгушин М.Б. Первый опыт таламотомии фокусированным ультразвуком с МРТ-навигацией при лечении тремора. Нейровизуализация в динамике. Клиническое наблюдение и обзор литературы. *Журнал "Вопросы нейрохирургии" имени Н.Н. Бурденко.* 2022; 86 (5): 81–88. <https://doi.org/10.17116/neiro20228605181>
- Gumin I.S., Malykhina E.A., Dzhabarov V.M. et al. First experience of thalamotomy by focused ultrasound under MR-guided navigation in the treatment of tremor. Neuroimaging follow-up. Case report and literature review. *Burdenko's Journal of Neurosurgery = Zhurnal "Voprosy neurokhirurgii" imeni N.N. Burdenko.* 2022. 86: 81–88. <https://doi.org/10.17116/neiro20228605181> (In Russian)
- Mai J.K., Majtanik M. Toward a Common Terminology for the Thalamus. *Front. Neuroanat.* 2019; 12: 114. <https://doi.org/10.3389/fnana.2018.00114>



16. Silkis I. The cortico-basal ganglia-thalamocortical circuit with synaptic plasticity. II. Mechanism of synergistic modulation of thalamic activity via the direct and indirect pathways through the basal ganglia. *Biosystems*. 2001; 59 (1): 7–14. [https://doi.org/10.1016/S0303-2647\(00\)00135-0](https://doi.org/10.1016/S0303-2647(00)00135-0)
17. Owen R.L., Grewal S.S., Thompson J.M. et al. Effectiveness of thalamic ventralis oralis anterior and posterior nuclei deep brain stimulation for posttraumatic dystonia. *Mayo Clin. Proc. Innov. Qual. Outcomes*. 2022; 6 (2): 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2022.01.001>
18. Foote K.D., Okun M.S. Ventralis intermedialis plus ventralis oralis anterior and posterior deep brain stimulation for posttraumatic holmes tremor: two leads may be better than one: technical note. *Neurosurgery*. 2005; 56 (2, Suppl.): E445. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000157104.87448.78>
19. Oh B.H., Park Y.S. Ventralis oralis anterior (Voa) deep brain stimulation plus Gamma Knife thalamotomy in an elderly patient with essential tremor. *Medicine (Baltimore)*. 2021; 100 (15): e25461. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025461>
20. Parras O., Domínguez P., Tomás-Biosca A., Guridi J. The role of tractography in the localisation of the Vim nucleus of the thalamus and the dentatorubrothalamic tract for the treatment of tremor. *Neurol. (English)*. 2022; 37 (8): 691–699. <https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2019.09.008>

Для корреспонденции*: Гумин Иван Сергеевич – e-mail: ivangumin@mail.ru

Гумин Иван Сергеевич – врач-рентгенолог отделения рентгенологических и радионуклидных методов диагностики ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2360-3261>. E-mail: ivangumin@mail.ru

Никитин Дмитрий Викторович – врач-рентгенолог отделения рентгенологических и радионуклидных методов диагностики ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0009-0001-2761-7743>

Шипилова Наталья Николаевна – канд. мед. наук, научный сотрудник отдела нейродегенеративных заболеваний ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России; ассистент кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7151-6544>

Катунина Елена Анатольевна – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела нейродегенеративных заболеваний ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России; профессор кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5805-486X>

Сенько Илья Владимирович – канд. мед. наук, нейрохирург, заведующий нейрохирургическим отделением ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5743-8279>

Долгушин Михаил Борисович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением рентгенологических и радионуклидных методов диагностики ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3930-5998>

Contact*: Ivan S. Gumin – e-mail: ivangumin@mail.ru

Ivan S. Gumin – radiologist of radiological and radionuclide diagnostics department, Federal center of brain research and neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2360-3261>. E-mail: ivangumin@mail.ru

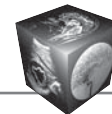
Dmitry V. Nikitin – radiologist of radiological and radionuclide diagnostics department, Federal center of brain research and neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0009-0001-2761-7743>

Natalya N. Shipilova – Cand. of Sci. (Med.), Research scientist of neurodegenerative disease department, Federal center of brain research and neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency; Assistant of neurology, neurosurgery and medical genetics department, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7151-6544>

Elena A. Katunina – Doct. of Sci. (Med.), Professor, head of neurodegenerative disease department, Federal center of brain research and neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency; Professor of neurology, neurosurgery and medical genetics department Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5805-486X>

Ilya V. Senko – Cand. of Sci. (Med.), Neurosurgeon, head of neurosurgery department, Federal center of brain research and neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5743-8279>

Mikhail B. Dolgushin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, head of radiological and radionuclide diagnostics department, Federal center of brain research and neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3930-5998>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1373>

Магнитно-резонансная томография в оценке стадийности внутримозговых кровоизлияний у детей

© Мазаев А.П.¹, Молодцов М.С.^{1,2*}, Щелькалина С.П.³

¹ ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”; 119049 Москва, 4-й Добрынинский пер., д. 1/9, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница №67 им. Л.А. Ворохобова ДЗ города Москвы”; 123423 Москва, ул. Саляма Адила, д. 2/44, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Цель исследования: оценить возможности МРТ в определении стадии геморрагического инсульта (ГИ) в зависимости от структурных и перифокальных изменений у детей.

Материал и методы. В исследование включено 46 пациентов (из них 19 мальчиков и 27 девочек) в возрасте от 29-го дня жизни до 18 лет с клинической картиной нарушения мозгового кровообращения и наличием ГИ в веществе головного мозга (ГМ) при МРТ-исследовании. Для статистического анализа пациенты разделены на 2 группы: 1-я группа – пациенты, обследованные в первые 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики (21 человек), 2-я группа – после 48 ч (26 человек). Сравнение в двух группах проводилось по МР-признакам: наличие перифокального цитотоксического отека, наличие перифокального геморрагического пропитывания, присутствие цитоплазматического ободка. Межгрупповые сравнения по качественному признаку проводились с помощью точного критерия Фишера.

Результаты. В результате проведенного исследования были определены дифференциально-диагностические критерии стадий ГИ у детей при анализе МРТ-семиотики гематомы в сочетании с симптомокомплексом перифокальных изменений (СПИ) в виде перифокального цитотоксического отека, перифокального геморрагического пропитывания и цитоплазматического ободка. Обнаружены статистически значимые различия частоты встречаемости признаков перифокальный цитотоксический отек и перифокальное геморрагическое пропитывание в группах. Перифокальный цитотоксический отек статистически значимо ($p = 0,027$) встречался чаще в 1-й группе (47% ($n = 10$), 95%ДИ 26–69), чем во 2-й группе (16% ($n = 4$), 95%ДИ 5–36). Наличие перифокального геморрагического пропитывания статистически значимо ($p = 0,003$) встречалось чаще в 1-й группе (81% ($n = 17$), 95%ДИ 57–93), чем во 2-й группе (36% ($n = 9$), 95%ДИ 18–57). Кроме того, обнаружена статически значимая ($p = 0,005$) разница встречаемости СПИ, который наблюдался в 1-й группе (28% ($n = 6$), ДИ 12–52) и не наблюдался во 2-й группе (0%, ($n = 0$), 95%ДИ 0–17).

Выводы. Использование в протоколе МРТ-обследования детей режимов T2, T1, FLAIR, SWI и ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД является обязательным, и только сопоставление характеристик МР-сигнала от гематомы в совокупности с анализом перифокальных изменений позволяет дифференцировать стадию кровоизлияния. ГИ в острой и ранней подострой стадиях имеет схожую МРТ-семиотику, поэтому необходимо проводить оценку комплекса перифокальных изменений, который позволяет дифференцировать эти стадии, так как определяется у пациентов, обследованных в первые 48 ч ($p < 0,05$), и не наблюдается спустя 2 сут. Анализ SWI дает возможность дифференцировать позднюю подострую стадию гематомы с хронической за счет различных характеристик МР-сигнала, а также позволяет установить наличие перифокального геморрагического пропитывания, что способствует дифференциальной диагностике кровоизлияния на ранних этапах патологического процесса.

Ключевые слова: геморрагический инсульт; внутримозговое кровоизлияние; детский возраст; МРТ

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

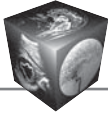
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Мазаев А. П., Молодцов М.С., Щелькалина С.П. Магнитно-резонансная томография в оценке стадийности внутримозговых кровоизлияний у детей. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 21–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1373>

Поступила в редакцию: 18.06.2023.

Принята к печати: 29.08.2023.

Опубликована online: 03.11.2023.



Magnetic resonance imaging in assessing the staging of intracerebral hemorrhages in children

© Alexander P. Mazaev¹, Maksim S. Molodtsov^{1, 2*}, Svetlana P. Shchelykalina³

¹ Morozov Children's Clinical Hospital; 1/9, 4 Dobryninsky per., Moscow 119049, Russian Federation

² L.A. Vorokhobov City Clinical Hospital (City Hospital No67); 2/44, Salyama Adilya str., Moscow 123423, Russian Federation

³ Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrivtayanova str., Moscow 117997, Russian Federation

The purpose of the study was to evaluate the possibilities of MRI in determining the stage of hemorrhagic stroke (HS) depending on structural and perifocal changes in children.

Materials and methods. The study included 46 patients (including 19 boys and 27 girls) aged from the 29th day of life to 18 years, with a clinical picture of cerebrovascular accident and the presence of HS in the brain substance (BS) during an MRI study. For statistical analysis, patients were divided into two groups: group 1 – patients examined in the first 48 hours from the onset of neurological symptoms (21 people), group 2 – after 48 hours (26 people). Comparison in two groups was carried out according to MR signs: the presence of perifocal cytotoxic edema, the presence of perifocal hemorrhagic impregnation, the presence of a cytoplasmic rim. Intergroup comparisons on a qualitative basis were carried out using Fisher's exact test.

Results. As a result of the study, differential diagnostic criteria for the stages of HS in children were determined by analyzing the MRI semiotics of hematoma in combination with the symptom complex of perifocal changes (CPC) in the form of perifocal cytotoxic edema, perifocal hemorrhagic impregnation and cytoplasmic rim. Statistically significant differences in the frequency of occurrence of signs of perifocal cytotoxic edema and perifocal hemorrhagic impregnation in the groups were found. The presence of perifocal cytotoxic edema was statistically significant ($p = 0.027$) more common in group 1 (47% ($n = 10$), 95% CI 26–69) than in group 2 (16% ($n = 4$), 95% CI 5–36). The presence of perifocal hemorrhagic soaking was statistically significantly ($p = 0.003$) more common in group 1 (81% ($n = 17$), 95% CI 57–93) than in group 2 (36% ($n = 9$), 95% CI 18–57). In addition, a statistically significant ($p = 0.005$) difference was found in the incidence of CPC, which was observed in group 1 (28% ($n = 6$), CI 12–52) and was not observed in group 2 (0%, ($n = 0$), 95% CI 0–17).

Conclusions. The use of T2, T1, FLAIR, SWI and DWI modes ($b = 1000$) in combination with ADC in the protocol of MRI examination of children is mandatory, and only a comparison of the characteristics of the MR signal from a hematoma in combination with an analysis of perifocal changes allows us to differentiate the stage of hemorrhage. HS in the acute and early subacute stages has a similar MRI semiotics, therefore, it is necessary to assess the complex of perifocal changes, which allows to differentiate these stages, as it is determined in patients examined in the first 48 hours ($p < 0.05$) and is not observed after two days. SWI analysis makes it possible to differentiate the late subacute stage of hematoma from chronic due to different characteristics of the MR signal, and also allows you to establish the presence of perifocal hemorrhagic impregnation, which contributes to the differential diagnosis of hemorrhage in the early stages of the pathological process.

Keywords: hemorrhagic stroke; intracerebral hemorrhage; childhood; MRI

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

For citation: Mazaev A.P., Molodtsov M.S., Shchelykalina S.P. Magnetic resonance imaging in assessing the staging of intracerebral hemorrhages in children. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 21–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1373>

Received: 18.06.2023.

Accepted for publication: 29.08.2023.

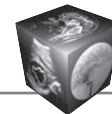
Published online: 03.11.2023.

Введение

Геморрагический инсульт (ГИ) – это интрапаренхиматозное кровоизлияние с возможным распространением крови в желудочки и субарахноидальное пространство головного мозга (ГМ). По данным современной литературы, частота встречаемости острого нарушения мозгового кровообращения у пациентов детского возраста (период с 29-го дня жизни ребенка до 18 лет) варьирует в промежутке 6–13 случаев на 100 000 детского населения в год. Важно отметить, что в отличие от взрослого населения, где превалирует

ишемическое поражение ГМ, у детей частота встречаемости геморрагического и ишемического инсультов находится примерно в равных процентных соотношения [1, 2].

Особенности ГИ у детей обусловлены разнообразием и сочетанием этиологических факторов, таких как аномалии развития церебральных сосудов, заболевания крови, болезни сердца, опухоли, травмы головы и шеи, а примерно у 10% пациентов причина остается неизвестной [3]. Существенные трудности в верификацию причины внутримозгового кровоизлияния вносит соче-



тание факторов риска, которые могут наблюдаться у большого количества детей (до 78%) [4]. В исследованиях, посвященных анализу причин возникновения ГИ, было установлено, что у детей до двух лет внутримозговое кровоизлияние (ВМК) чаще возникает из-за нарушений свертывания крови и сердечно-сосудистых заболеваний, а у пациентов старше двух лет – аномалии развития церебральных сосудов (артериовенозные мальформации, аневризмы и каверномы) [5]. Клиническое проявление ГИ не всегда имеет специфичный характер, вследствие чего недооценка тяжести состояния ребенка создает существенные задержки от момента возникновения неврологической симптоматики до этапа диагностики. Отмечено, что среднее время между возникновением клинической симптоматики до госпитализации ребенка в лечебное учреждение составляет 22 ч [6].

Основной классификации патоморфологического течения ВМК являются закономерные изменения эритроцита и молекулы гемоглобина. В связи с этими данными в развитии ВМК выделяют 5 последовательных стадий: сверхострая – первые 24 ч (внутриклеточный оксигемоглобин), острая – 24–48 ч (внутриклеточный дезоксигемоглобин), ранняя подострая – 3–7-е сутки (внутриклеточный метгемоглобин), поздняя подострая – 7–14 сут (внеклеточный метгемоглобин) и хроническая – свыше 14 сут (ферритин и гемосидерин) [7, 8]. Отмечено, что длительность кровоизлияния может достигать 20 ч с начала развития патологического процесса, что может вносить сложности в интерпретацию стадии гематомы [9].

Осложнением ГИ является формирование перифокального отека (ПО), который обусловлен механическим воздействием излившейся крови на паренхиму ГМ, развитием воспалительных процессов в результате иммунного ответа и агрессивного воздействия продуктами биохимических изменений эритроцита, активации тромбина и дисфункцией гематоэнцефалического барьера [10]. Появление ПО начинается по прошествии нескольких часов с момента возникновения ГИ. В результате активации процесса коагуляции в первые часы кровоизлияния происходит ретракция гематомы, вытесняя цитоплазму на ее периферию. На границе мозговой паренхимы и кровяного сгустка происходит лизис эритроцитов, а продукты его деградации способствуют увеличению ПО. В литературе описано формирование цитотоксического и вазогенного отека как результат каскада патологических процессов, возникающих на начальных этапах ГИ [11].

В литературе отмечено, что КТ и МРТ обладают одинаковой чувствительностью в выявлении ост-

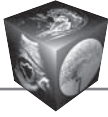
рых ВМК [12]. Характеристики МР-сигнала при диагностике ГИ зависят от целого ряда факторов, а именно: формы гемоглобина, состояния стенки эритроцита, индукции магнитного поля и типа применяемой импульсной последовательности [13]. В работах М.Е. Ryan и соавт., Н. Mehta и соавт. описана возможность проведения быстрых МРТ-исследований, которые основывались на применении режима T2 TSE и его производных для визуализации внутримозговой гематомы [14, 15]. Отмечена высокая чувствительность (100%) и специфичность (70,5%) режима T2*-ВИ в диагностике ВМК в остром периоде по причине появления дезоксигемоглобина, который обладает выраженным парамагнитным эффектом [16]. Однако, помимо визуализации ГИ, важное значение имеет оценка ПО. Установлено, что ширина перифокальных изменений зависит от размеров кровоизлияния, его локализации и распространения крови в желудочки мозга [17].

Накопленный опыт нейровизуализации ГИ у пациентов взрослой популяции не дает возможности оценить этиологические факторы и особенностей физиологии развивающегося ГМ у ребенка [18]. Паренхима ГМ после рождения ребенка продолжает претерпевать изменения, которые сказываются на его перфузии, что служит маркером высокой метаболической активности нейронов. Перфузионные показатели ГМ у детей сильно разнятся, при этом максимальные цифры (130 мл/100 г в мин) наблюдаются в возрасте 2–4 лет, достигая значения, свойственного взрослому населению, к 11 годам [19]. Отмечены различия в концентрации гемоглобина и эритроцитов у детей разных возрастных групп. Наиболее высокие показатели наблюдаются у детей в первые два года жизни [20]. Описанные физиологические особенности у детей могут влиять на визуализацию ГИ и ПО, что объясняет актуальность данного исследования.

Цель исследования: оценить возможности МРТ в определении стадии геморрагического инсульта в зависимости от структурных и перифокальных изменений у детей.

Материал и методы

В анализируемую группу было включено 46 пациентов (из них мальчиков 19, девочек 27) в возрасте от 29-го дня жизни до 18 лет (табл. 1) с клинической картиной нарушения мозгового кровообращения и наличием ГИ в веществе ГМ при МРТ. В 1-е сутки от развития неврологической симптоматики было обследовано 6 (13,0%) пациентов, в период 24–48 ч – 15 (33%), в период 3–7 сут – 7 (15%), в период 7–14 сут – 8 (17%) и после 14 сут – 10 (22%) пациентов. МРТ ГМ выполнялась

**Таблица 1.** Возраст обследованных детей с геморрагическим инсультом**Table 1.** Age of examined children with hemorrhagic stroke

	Возраст, годы / Age, years			
	0–2	2–6	6–11	11–18
Количество пациентов, абс. (%) Number of patients, abs. (%)	16 (35%)	4 (9%)	9 (19%)	17 (37%)

с использованием T2 TSE (T2), T1 TSE (T1), T2 FLAIR (FLAIR), SWI, а также ДВИ EPI (ДВИ) с построением ИКД-карт. Для пациентов раннего детского возраста МРТ-исследования проводились с наркозом под контролем анестезиолога, что позволяло нивелировать динамические артефакты.

Для выполнения статистического анализа все пациенты были разделены на 2 группы: 1-я группа – пациенты, обследованные в первые 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики (21 человек), 2-я группа – пациенты обследованы после 48 ч от возникновения неврологической симптоматики (26 человек). Сравнение в двух группах проводилось по следующим МРТ-признакам: наличие перифокального цитотоксического отека, наличие перифокального геморрагического пропитывания, присутствие цитоплазматического ободка. Межгрупповые сравнения по качественному признаку проводились с помощью точного критерия Фишера. В качестве критического уровня значимости использовалось значение 0,05. Статистический анализ выполнялся используя скрипты статического языка R.

Результаты исследования

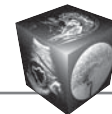
Изучение МРТ-семиотики ГИ выполнялось при помощи анализа полученных МРТ-изображений в результате проведения T2, T1, FLAIR, SWI, ДВИ ($b = 0$, $b = 1000$) с построением ИКД-карт. Оценка особенностей характеристик МР-сигнала гематомы проводилась от центральной и периферической частей, а также анализировались перифокальные изменения, такие как цитотоксический отек, геморрагическое пропитывание и наличие цитоплазматического ободка. Полученные МРТ-характеристики ГИ и перифокальные изменения в зависимости от времени с момента возникновения неврологической симптоматики представлены в табл. 2.

Анализ полученных МРТ-изображений продемонстрировал особенности МРТ-семиотики ГИ у детей. Наличие повышенного МР-сигнала от гематомы на T2, FLAIR и SWI, при пониженном сигнале на ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД и изоинтенсивном сигнале на T1 позволяет установить сверхострую стадию кровоизлияния (рис. 1).

Применение T2, FLAIR, SWI и ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД не позволяет дифференцировать острую стадию ГИ с ранней подострой в связи с тем, что имеет вид гипointенсивного участка без выделения центральной и периферической частей кровоизлияния в большинстве наблюдений. Отмечена разница в визуализации гематомы на T1 в острую и раннюю подострую стадии. Практически в половине случаев в острую стадию кровоизлияния имело изоинтенсивный сигнал, в то время как в раннюю подострую стадию сигнал был повышенный.

В позднюю подострую стадию ВМК имело вариabельные характеристики МР-сигнала на T2, T1 и FLAIR. Отмечено наличие пониженного сигнала на SWI в большинстве случаев. В хроническую стадию на T2 и SWI мы наблюдали преобладание повышенного МР-сигнала, а на T1 – пониженного. При этом на FLAIR кровоизлияние имело повышенный и пониженный сигнал в равном количестве наблюдений. Визуализация гематомы в позднюю подострую и хроническую стадии при анализе ДВИ совпадала и заключалась в повышении сигнала на ДВИ ($b = 1000$) и снижении на ИКД в большинстве случаев. Таким образом, для дифференциальной диагностики поздней подострой с хронической стадией необходимо оценивать ВМК на SWI и T1, где гематома имеет различные характеристики сигнала, так как на T2, FLAIR и ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД МРТ-семиотика существенно не отличалась.

Присутствие в гематоме периферической части, имеющей отличные характеристики сигнала от центральной части, отмечено на всех временных этапах наблюдений. Определены особенности визуализации периферической части гематомы в разные стадии кровоизлияния. Отмечено, что наличие ободка пониженного МР-сигнала на T2 и FLAIR наблюдалось в сверхострую и хроническую стадии, а в периоде 24 ч–14 сут сигнал от периферической части был повышенным. На SWI ободок пониженного сигнала определялся в сверхострую и хроническую стадии, ободок повышенного сигнала – в острую и раннюю подострую стадии, а в поздней подострой стадии мы визуализировали сочетание повышенного и понижен-



ного сигнал от периферической части гематомы. Применение T1 не позволило отметить особенности визуализации периферической части гематомы в зависимости от ее сроков, так как на всех временных этапах сигнал был гиперинтенсивным.

Проведенный анализ МРТ-семиотики центральной и периферической частей гематомы на разных стадиях патологического процесса дает возможность дифференцировать сверхострую, позднюю подострую и хроническую стадии, но не позволяет разграничить острую стадию с ранней подострой. Однако оценка симптомокомплекса перифокальных изменений в виде цитотоксического отека, геморрагического пропитывания и цитоплазматического ободка дает возможность дифференцировать острую стадию с ранней подострой.

Транссудация крови в мозговую паренхиму с первых минут активизирует патологические механизмы, приводящие к формированию ПО, обусловленного компрессией мозговой ткани, ухудшением микроциркуляции и диффузионных процессов, а также к накоплению агрессивного клеточного окислителя (Fe^{3+}), запускающего перекисное окисления липидов и способствующего формированию большого количества свободных радикалов. МРТ позволяет визуализировать ПО, а результат анализа данных разных импульсных последовательностей дает возможность разграничить патологические перифокальные изменения, тем самым способствуя дифференциальной диагностике стадийности ВМК.

На МР-томограммах ПО определялся как циркулярный неравномерный участок патологического МР-сигнала между кровоизлиянием и окружающей мозговой тканью. ПО во всех группах наблюдения представлял собой участок повышенного сигнала на T2, FLAIR и SWI, пониженного – на T1. Важно отметить, что в ряде наблюдений в период до 14 сут в проекции перифокальных изменений на ДВИ ($b = 1000$) в сочетании ИКД-карт наблюдались участки рестрикции диффузии, что позволяло заключить о наличии цитотоксического отека (рис. 2). Частота встречаемости перифокального цитотоксического отека снижалась с течением времени от момента неврологической симптоматики: в первые 24 ч он визуализировался в 83% случаев ($n = 5$), в период 24–48 ч – в 33% ($n = 5$) и в период 3–14 сут – в 27% ($n = 4$) наблюдений.

На границе кровоизлияния и ПО в некоторых наблюдениях было отмечено присутствие участков, повторяющих контур гематомы, но имеющих отличный МР-сигнал от нее: пониженный на T1 и ДВИ ($b = 1000$), неоднородно слабоповышенный на FLAIR, повышенный на T2 и ИКД-карте.

Появление данных изменений было расценено как формирование перифокального цитоплазматического ободка, возникающего как следствие выхода плазмы крови на периферию кровяного сгустка. Наиболее часто этот признак встречался в период первых 24 ч и был отмечен в 67% ($n = 4$) наблюдений, реже в период 24 ч – 7 сут (36%, $n = 8$) и свыше 7 дней от момента возникновения неврологической симптоматики (17%, $n = 3$).

Результатом транссудации крови в паренхиму ГМ является формирование гематомы, при этом инкапсулирование кровоизлияния происходит не сразу, что способствует геморрагическому пропитыванию окружающей ткани мозга. Применение SWI давало возможность визуализировать данные изменения, которые определялись по внутренней границе ПО и были отмечены в 56% ($n = 26$) наблюдений, а именно: в 1-е сутки с момента возникновения неврологической симптоматики – в 5 случаях, в период 24–48 ч – в 12, в период 3–7 сут – в 3 и в период 7–14 сут и свыше 14 сут – в 2 и 4 случаях соответственно.

Пациенты, включенные в исследование, были разделены на две группы: 1-я группа – дети, обследованные в первые 48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики (21 человек), 2-я группа – дети, обследованные после 48 ч от возникновения неврологической симптоматики (26 человек). Обнаружены статистически значимые различия частоты встречаемости признаков перифокального цитотоксического отека и перифокального геморрагического пропитывания в группах. Перифокальный цитотоксический отек статистически значимо ($p = 0,027$) встречался чаще в 1-й группе (47% ($n = 10$), 95%ДИ 26–69), чем во 2-й группе (16% ($n = 4$), 95%ДИ 5–36), перифокальное геморрагическое пропитывание статистически значимо ($p = 0,003$) – чаще в 1-й группе (81% ($n = 17$), 95%ДИ 57–93), чем во 2-й группе (36% ($n = 9$), 95%ДИ 18–57). Кроме того, обнаружена статистически значимая ($p = 0,005$) разница встречаемости симптомокомплекса перифокальных изменений (перифокальный цитотоксический отек, перифокальное геморрагическое пропитывание и цитоплазматический ободок), который наблюдался в 1-й группе (28% ($n = 6$), ДИ 12–52) и не наблюдался во 2-й группе (0%, $n = 0$, 95%ДИ 0–17).

Таким образом, в результате проведенного исследования были определены дифференциально-диагностические критерии стадий ВМК у детей при анализе МРТ-семиотики гематомы в сочетании с перифокальными изменениями. Установлено, что сверхострая стадия кровоизлияния характеризуется повышенным МР-сигналом на T2,

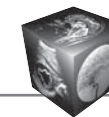


Таблица 2. МР-визуализация геморрагического инсульта и перифокальных изменений в зависимости от стадии патологического процесса
Table 2. MR imaging of hemorrhagic stroke and perifocal changes depending on the stage of the pathological process

Импульсные последовательности и перифокальные изменения Pulse trains and perifocal changes		Стадия геморрагического инсульта / Stages of hemorrhagic stroke				
		сверхострая / hyperacute stage первые 24 ч / first 24 hours n = 6	острая / acute stage 24–48 ч / 24–48 hours n = 15	ранняя подострая / early subacute stage 3–7-е сутки / 3–7 days n = 7	поздняя подострая / late subacute stage 7–14-е сутки / 7–14 days n = 8	хроническая / chronic stage 14 сут и далее / 14 days and beyond n = 10
T2	Центральная часть гематомы Central part of the hematoma	Повышенный / Increased (50%) Пониженный / Reduced (33%) Изоинтенсивный / Isointense (17%)	Пониженный / Reduced (74%) Повышенный / Increased (13%) Изоинтенсивный / Isointense (13%)	Пониженный / Reduced (72%) Повышенный / Increased (14%) Изоинтенсивный / Isointense (14%)	Гетерогенный / Heterogeneous (50%) Пониженный / Reduced (25%) Повышенный / Increased (12%) Изоинтенсивный / Isointense (12%)	Повышенный / Increased (60%) Гетерогенный / Heterogeneous (30%) Пониженный / Reduced (10%)
	Периферическая часть гематомы* Periphery part of the hematoma*	Пониженный / Reduced (100%, n = 1)	Повышенный / Increased (100%, n = 4)	Повышенный / Increased (100%, n = 2)	Повышенный / Increased (100%, n = 3)	Пониженный / Reduced (100%, n = 5)
Flair	Центральная часть гематомы Central part of the hematoma	Повышенный / Increased (83%) Пониженный / Reduced (17%)	Пониженный / Reduced (67%) Повышенный / Increased (20%) Изоинтенсивный / Isointense (13%)	Пониженный / Reduced (57%) Изоинтенсивный / Isointense (29%) Повышенный / Increased (14%)	Изоинтенсивный / Isointense (38%) Повышенный / Increased (25%) Пониженный / Reduced (25%) Гетерогенный / Heterogeneous (12%)	Пониженный / Reduced (50%) Повышенный / Increased (50%)
	Периферическая часть гематомы* Periphery part of the hematoma*	Пониженный / Reduced (100%, n = 1)	Повышенный / Increased (100%, n = 4)	Повышенный / Increased (100%, n = 5)	Повышенный / Increased (100%, n = 3)	Пониженный / Reduced (100%, n = 4)
T1	Центральная часть гематомы Central part of the hematoma	Изоинтенсивный / Isointense (67%) Пониженный / Reduced (33%)	Изоинтенсивный / Isointense (47%) Пониженный / Reduced (33%) Повышенный / Increased (20%)	Повышенный / Increased (57%) Пониженный / Reduced (43%)	Изоинтенсивный / Isointense (50%) Повышенный / Increased (25%) Пониженный / Reduced (12%) Гетерогенный / Heterogeneous (12%)	Пониженный / Reduced (60%) Повышенный / Increased (20%) Изоинтенсивный / Isointense (20%)
	Периферическая часть гематомы* Periphery part of the hematoma*	Повышенный / Increased (67%, n = 2) Пониженный / Reduced (33%, n = 1)	Повышенный / Increased (100%, n = 7)	Повышенный / Increased (100%, n = 2)	Повышенный / Increased (100%, n = 5)	Повышенный / Increased (100%, n = 6)
SWI/T2*	Центральная часть гематомы Central part of the hematoma	Повышенный / Increased (67%) Пониженный / Reduced (33%)	Пониженный / Reduced (80%) Повышенный / Increased (20%)	Пониженный / Reduced (86%) Повышенный / Increased (14%)	Пониженный / Reduced (75%) Повышенный / Increased (12%) Изоинтенсивный / Isointense (12%)	Повышенный / Increased (70%) Изоинтенсивный / Isointense (20%) Пониженный / Reduced (10%)
	Периферическая часть гематомы* Periphery part of the hematoma*	Пониженный / Reduced (100%, n = 2)	Повышенный / Increased (100%, n = 1)	Повышенный / Increased (100%, n = 1)	Повышенный / Increased (67%, n = 2) Пониженный / Reduced (33%, n = 1)	Пониженный / Reduced (100%, n = 5)
ДВИ / DWI (b = 1000)	Центральная часть гематомы Central part of the hematoma	Пониженный / Reduced (67%) Гетерогенный / Heterogeneous (33%)	Пониженный / Reduced (93%) Повышенный / Increased (7%)	Пониженный / Reduced (86%) Повышенный / Increased (14%)	Повышенный / Increased (75%) Пониженный / Reduced (25%)	Повышенный / Increased (80%) Пониженный / Reduced (20%)
	Периферическая часть гематомы* Periphery part of the hematoma*	Пониженный / Reduced (100%, n = 1)	Повышенный / Increased (100%, n = 5)	Повышенный / Increased (100%, n = 4)	Пониженный / Reduced (100%, n = 1)	Повышенный / Increased (67%, n = 4) Пониженный / Reduced (33%, n = 2)
ИКД / ADC	Центральная часть гематомы Central part of the hematoma	Пониженный / Reduced (67%) Гетерогенный / Heterogeneous (33%)	Пониженный / Reduced (67%) Изоинтенсивный / Isointense (27%) Повышенный / Increased (6%)	Пониженный / Reduced (86%) Гетерогенный / Heterogeneous (14%)	Пониженный / Reduced (75%) Изоинтенсивный / Isointense (25%)	Пониженный / Reduced (70%) Повышенный / Increased (30%)
	Периферическая часть гематомы* Periphery part of the hematoma*	Не наблюдалось / Not observed	Повышенный / Increased (67%, n = 2) Пониженный / Reduced (33%, n = 1)	Пониженный / Reduced (100%, n = 3)	Пониженный / Reduced (67%, n = 2) Повышенный / Increased (33%, n = 1)	Повышенный / Increased (100%, n = 4)
Перифокальные изменения Perifocal changes	Перифокальные изменения на разных стадиях ГИ Perifocal changes at different stages of HS	Цитоплазматический ободок / Cytoplasmic rim (67%) Цитотоксический отек / Cytotoxic edema (83%) Периферическое геморрагическое пропитывание / Periphery hem. impregnation (83%)	Цитоплазматический ободок / Cytoplasmic rim (33%) Цитотоксический отек / Cytotoxic edema (33%) Периферическое геморрагическое пропитывание / Periphery hem. impregnation (80%)	Цитоплазматический ободок / Cytoplasmic rim (43%) Цитотоксический отек / Cytotoxic edema (27%) Периферическое геморрагическое пропитывание / Periphery hem. impregnation (43%)	Цитоплазматический ободок / Cytoplasmic rim (12%) Цитотоксический отек / Cytotoxic edema (25%) Периферическое геморрагическое пропитывание / Periphery hem. impregnation (25%)	Цитоплазматический ободок / Cytoplasmic rim (20%) Периферическое геморрагическое пропитывание / Periphery hem. impregnation (40%)
	Частота встречаемости перифокальных изменений в двух группах (p < 0,05) Frequency of occurrence of perifocal changes in two groups (p < 0.05)	Перифокальный цитотоксический отек / Perifocal cytotoxic edema (47% (n = 10), CI 26–69) Перифокальное геморрагическое пропитывание / Perifocal hemorrhagic soaking (81% (n = 17), CI 57–93) Цитоплазматический ободок / Cytoplasmic rim (43% (n = 9), CI 22–65)		Перифокальный цитотоксический отек / Perifocal cytotoxic edema (16% (n = 4), CI 5–36) Перифокальное геморрагическое пропитывание / Perifocal hemorrhagic soaking (36% (n = 9), CI 18–57) Цитоплазматический ободок / Cytoplasmic rim (24% (n = 6), CI 10–45)		
	Частота встречаемости в двух группах симптомокомплекса перифокальных изменений (цитотоксический отек, геморрагическое пропитывание и цитоплазматический ободок) Frequency of occurrence in two groups of the symptom complex of perifocal changes (cytotoxic edema, hemorrhagic impregnation and cytoplasmic rim)	28% (n = 6), ДИ 12–52 28% (n=6), 95%CI 12-52		2 (0%, ДИ 3–16) 0 (0%, 95%CI 0–16)		

* n – количество пациентов, у которых на периферии гематомы МР-сигнал отличался от ее центральной части.

* n – the number of patients in whom the MR signal on the periphery of the hematoma differed from its central part.

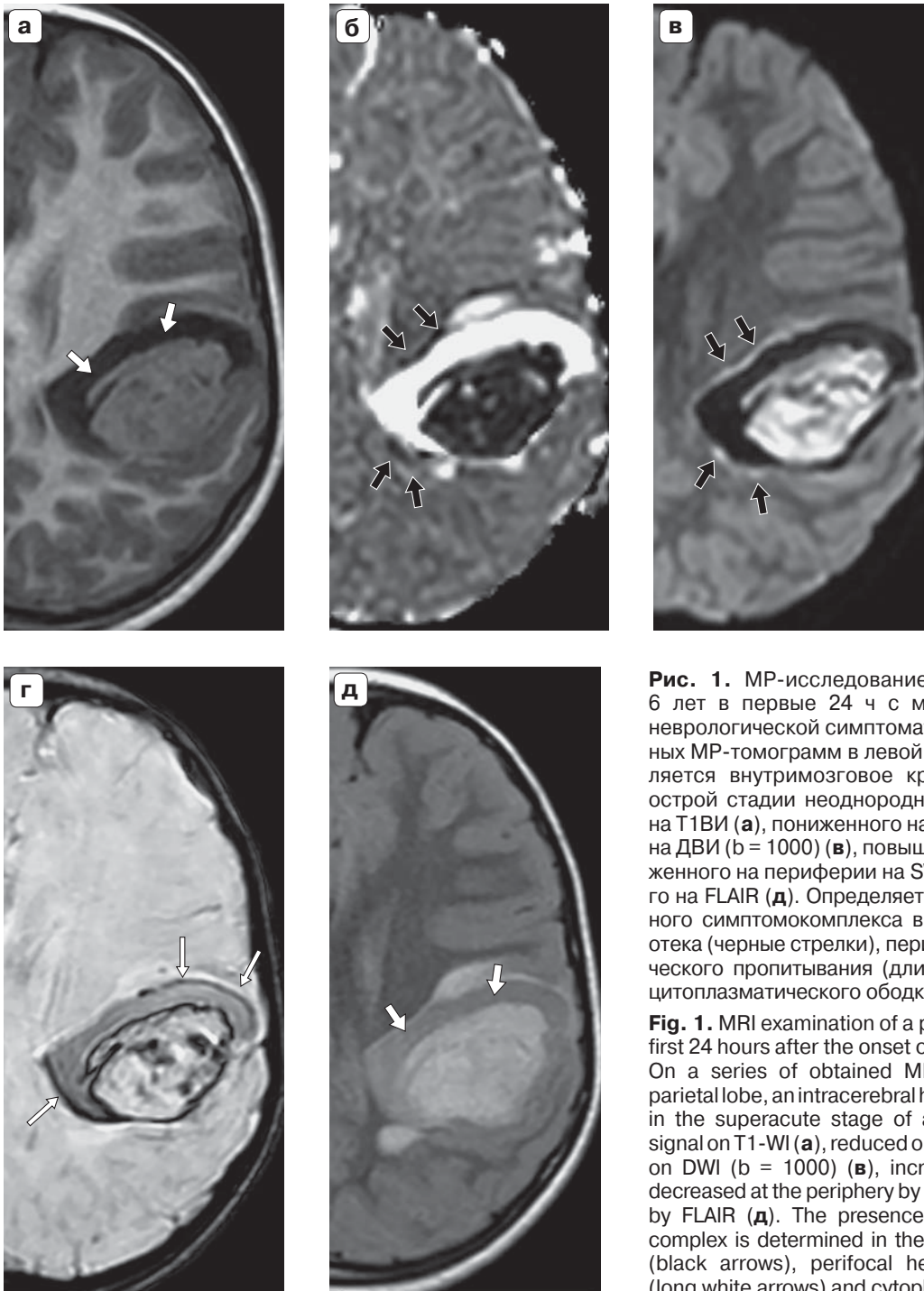
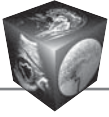


Рис. 1. МР-исследование пациента в возрасте 6 лет в первые 24 ч с момента возникновения неврологической симптоматики. На серии полученных МР-томограмм в левой теменной доле определяется внутримозговое кровоизлияние в сверхострой стадии неоднородно пониженного сигнала на Т1ВИ (а), пониженного на ИКД (б), гетерогенного на ДВИ (b = 1000) (в), повышенного в центре и пониженного на периферии на SWI/T2* (г) и повышенного на FLAIR (д). Определяется наличие перифокального симптомокомплекса в виде цитотоксического отека (черные стрелки), перифокального геморрагического пропитывания (длинные белые стрелки) и цитоплазматического ободка (белые стрелки).

Fig. 1. MRI examination of a patient aged 6 years in the first 24 hours after the onset of neurological symptoms. On a series of obtained MR-tomograms in the left parietal lobe, an intracerebral hemorrhage is determined in the superacute stage of an inhomogeneously low signal on T1-WI (a), reduced on ADC (б), heterogeneous on DWI (b = 1000) (в), increased in the center and decreased at the periphery by SWI/T2* (г) and increased by FLAIR (д). The presence of a perifocal symptom complex is determined in the form of cytotoxic edema (black arrows), perifocal hemorrhagic impregnation (long white arrows) and cytoplasmic rim (white arrows).

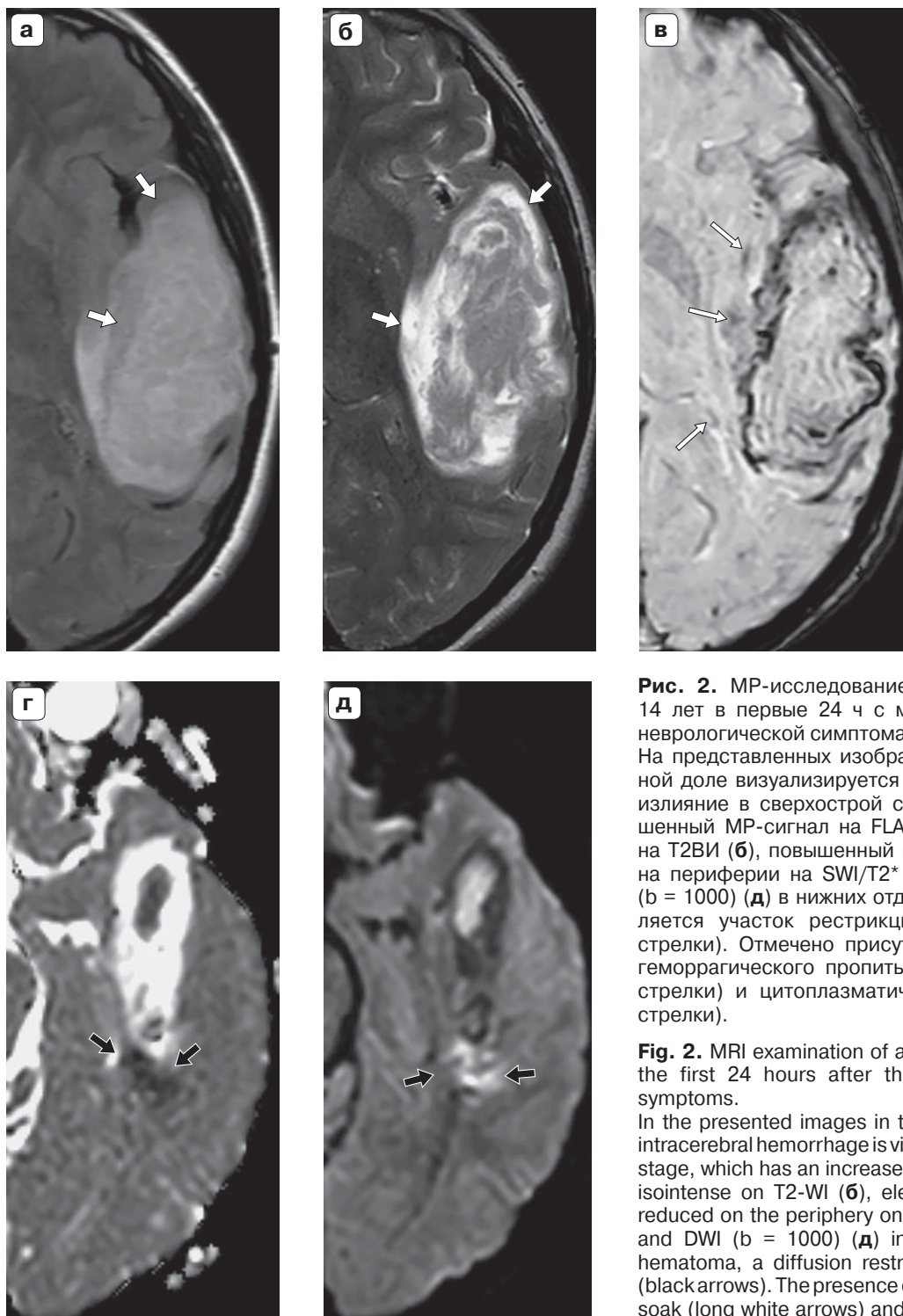
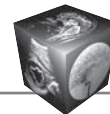


Рис. 2. МР-исследование пациента в возрасте 14 лет в первые 24 ч с момента возникновения неврологической симптоматики.

На представленных изображениях в левой височной доле визуализируется внутримозговое кровоизлияние в сверхострой стадии, имеющее повышенный МР-сигнал на FLAIR (а), изоинтенсивный на T2ВИ (б), повышенный в центре и пониженный на периферии на SWI/T2* (в). На ИКД (г) и ДВИ (b = 1000) (д) в нижних отделах гематомы определяется участок рестрикции диффузии (черные стрелки). Отмечено присутствие перифокального геморрагического пропитывания (длинные белые стрелки) и цитоплазматического ободка (белые стрелки).

Fig. 2. MRI examination of a patient aged 14 years in the first 24 hours after the onset of neurological symptoms.

In the presented images in the left temporal lobe, an intracerebral hemorrhage is visualized in the hyperacute stage, which has an increased MR signal on FLAIR (a), isointense on T2-WI (b), elevated in the center and reduced on the periphery on SWI/T2* (c). On ADC (g) and DWI (b = 1000) (d) in the lower parts of the hematoma, a diffusion restriction site is determined (black arrows). The presence of a perihemorrhagic soak (long white arrows) and a cytoplasmic rim (white arrows) is noted.

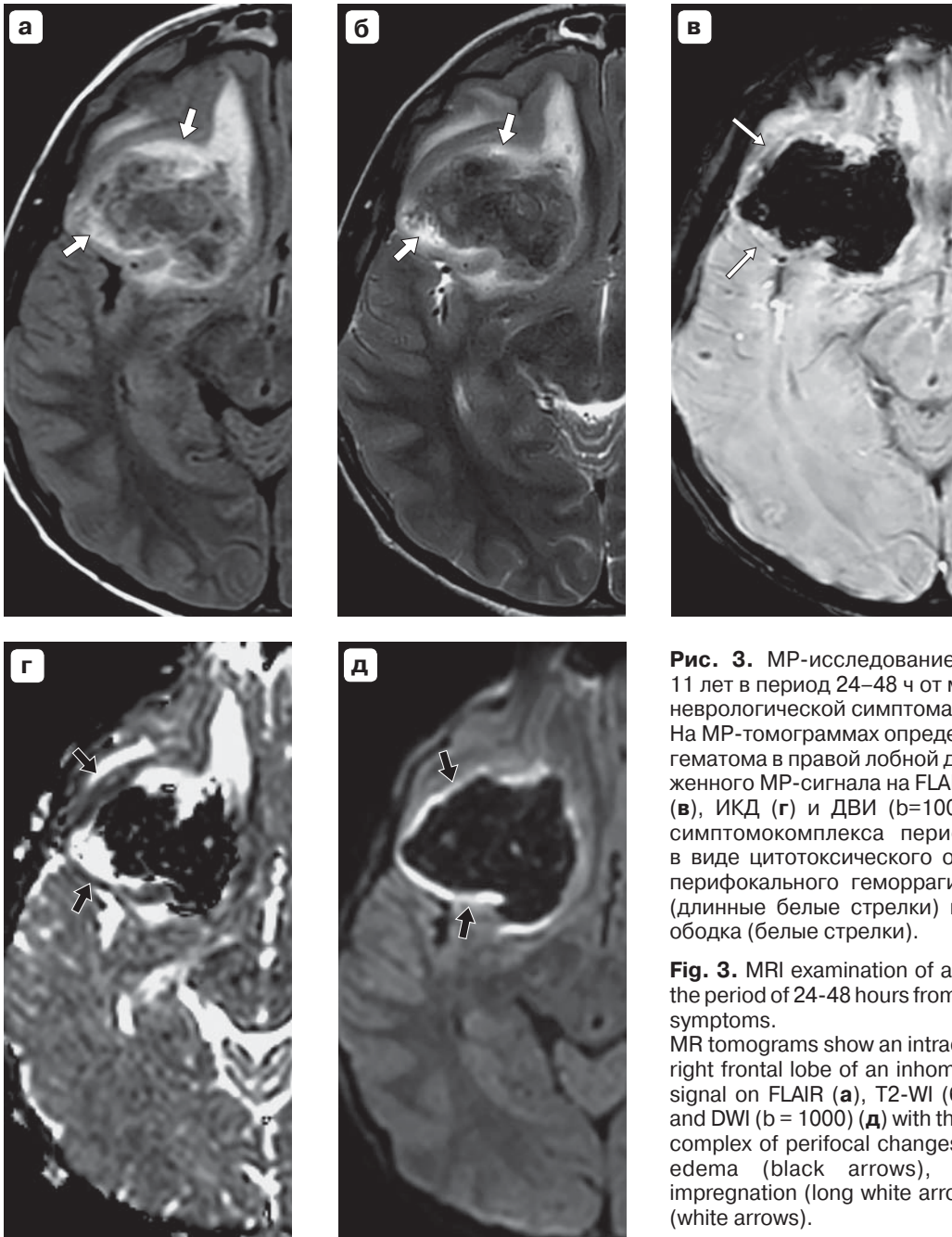
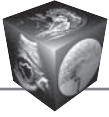


Рис. 3. МР-исследование пациента в возрасте 11 лет в период 24–48 ч от момента возникновения неврологической симптоматики.

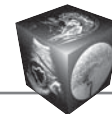
На МР-томограммах определяется внутримозговая гематома в правой лобной доле неоднородно пониженного МР-сигнала на FLAIR (а), Т2ВИ (б), SWI/Т2* (в), ИКД (г) и ДВИ (b=1000) (д) с присутствием симптомокомплекса перифокальных изменений в виде цитотоксического отека (черные стрелки), перифокального геморрагического пропитывания (длинные белые стрелки) и цитоплазматического ободка (белые стрелки).

Fig. 3. MRI examination of a patient aged 11 years in the period of 24–48 hours from the onset of neurological symptoms.

MR tomograms show an intracerebral hematoma in the right frontal lobe of an inhomogeneously reduced MR signal on FLAIR (a), T2-WI (b), SWI/T2* (c), ADC (g) and DWI (b = 1000) (d) with the presence of a symptom complex of perifocal changes in the form of cytotoxic edema (black arrows), perifocal hemorrhagic impregnation (long white arrows) and cytoplasmic rim (white arrows).

FLAIR и SWI, пониженном на ДВИ (b = 1000) и ИКД, изоинтенсивным на T1 в сочетании с симптомокомплексом перифокальных изменений. Присутствие комплекса перифокальных изменений позволяет провести дифференциальную диагностику острой стадии с ранней подострой при схожей

МРТ-семиотике ВМК на T2, FLAIR, SWI, ДВИ (b=1000) и ИКД, так как сочетание цитотоксического отека, цитоплазматического ободка и перифокального геморрагического пропитывания определяется в острую стадию (рис. 3) и не визуализируется в раннюю подострую.



Обсуждение

Диагностика ВМК у детей представляется сложной и междисциплинарной проблемой по причине большой вариабельности этиологических факторов и физиологических особенностей ребенка, меняющихся в зависимости от его возраста. Применение МРТ при ГИ является важным и необходимым методом нейровизуализации, позволяющим определить кровоизлияние, его локализацию и размеры, а также провести оценку перифокальных изменений. Характеристики МР-сигнала от гематомы в разные временные периоды базируется на преобразовании эритроцита и содержащейся в нем молекулы гемоглобина, что позволяет определить МРТ-симиотику стадии ГИ. В публикации F. Macellari и соавт. [21] продемонстрированы характеристики МР-сигнала ВМК на T1ВИ, T2ВИ и SWI в зависимости от момента возникновения неврологической симптоматики у взрослого населения. Авторы отмечают повышенный МР-сигнал от гематомы на T2ВИ, пониженный на SWI, пониженный и изоинтенсивный на T1ВИ в сверхострой стадии, что соответствовало полученным данным в наших наблюдениях, за исключением SWI, где мы регистрировали повышенный сигнал в большинстве случаев. В работе F. Macellari и соавт. отмечено повышение сигнала от гематомы на T2ВИ в позднюю подострую стадию, при этом мы наблюдали пониженный сигнал у большинства пациентов. Кроме того, авторы описывают присутствие периферического ободка, имеющего отличные сигнальные характеристики от центральной части гематомы только в острую стадию на T2ВИ и T1ВИ, а также в хроническую стадию на SWI, тогда как в нашем исследовании данное явление наблюдалось на всех стадиях кровоизлияния. Характеристики МР-сигнала от гематомы в нашем исследовании и в результатах, опубликованных В.К. Kang и соавт. [22], в большинстве случаев совпадали. Исключение составила визуализация кровоизлияния в сверхострую стадию при помощи ДВИ ($b = 1000$) и в позднюю подострую на FLAIR, где мы регистрировали пониженный МР-сигнал, а В.К. Kang и соавт. отмечали повышение сигнала. Возможными причинами описанных различий в МРТ-визуализации кровоизлияния были использование разных временных этапов в стадии гематомы, а также физиологические особенности в детском возрасте. Однако существенных отличий в МРТ-симиотике ВМК у пациентов детского возраста и взрослого населения в нашем исследовании не обнаружено, вероятно, это может быть связано с преобладанием в анализируемой группе детей старше двух лет (65%, $n = 30$),

у которых физиологические процессы ГМ схожи со взрослым населением.

В последнее время основной задачей методов нейровизуализации было выявление ВМК и определение его причины, в частности определение аномалии развития церебральных сосудов. В международных исследованиях [23, 24] отмечено отсутствие однозначных клинических улучшений у пациентов, прооперированных на ранних этапах ВМК, а также необходимости сочетания хирургического и терапевтического лечения для уменьшения ПО [25]. Основными «мишенями» при терапии ВМК являются цитотоксический и вазогенный отеки, имеющие различия в тактике лечения. В связи с этим определение патоморфологических особенностей перифокальных изменений при ГИ является важной и необходимой задачей, в решении которой применение МРТ играет основную роль [11]. Наше исследование продемонстрировало возможность оценки особенности патоморфологических изменений в веществе ГМ, окружающем гематому, на разных стадиях патологического процесса у детей.

Полученные данные о перифокальном цитотоксическом отеке в проведенном исследовании совпадали с результатами, описанными N. Li и соавт. у взрослой популяции [26]. Отмечено уменьшение частоты встречаемости признака с увеличением времени от момента возникновения неврологической симптоматики. В результате проведенных нами исследований цитотоксический отек в первые 24 ч был выявлен в 83,3% случаев, а у N. Li и соавт. в 50% случаев. Данная разница может быть обусловлена особенностью физиологии детского возраста или небольшим количеством обследованных пациентов в проведенных исследованиях. Анализ наших данных продемонстрировал присутствие в редких случаях цитотоксического отека в поздней подострой стадии ГИ (7–14 сут), что могло соответствовать постепенному снижению интенсивности перифокальных изменений, в том числе и цитотоксического отека, так как в случае с ГИ данный процесс не является проявлением ишемизации окружающей ткани мозга, а связан с митохондриальной дисфункцией и может быть обратим [27].

Формирование ободка плазмы на периферии ВМК начинает определяться на МР-томограммах на начальных этапах патологического процесса. Анализ наших данных показал присутствие этого признака на всех стадиях кровоизлияния, при этом отмечено снижение частоты встречаемости после первых суток, что совпадало с данными литературы [28]. Присутствие цитоплазматического



ободка является патогномичным признаком для паренхиматозных гематом, в связи с этим используется в качестве диагностического критерия кровоизлияния, как и перифокальное геморрагическое пропитывание. А.В. Араблинский и соавт. [29] отмечают, что наличие участков отложения гемосидерина по периферии опухолевых образований с кровоизлияниями наблюдается редко. Данный признак позволяет дифференцировать ГИ с кровоизлиянием в опухоль. Результаты нашего исследования демонстрируют другие аспекты перечисленных выше признаков ВМК, которые дают возможность не только дифференцировать гематому, но и при комплексной оценке установить время с момента формирования патологического процесса.

Проведенное исследование особенностей МРТ-семиотики ГИ и перифокальных изменений у пациентов детского возраста позволяет установить временной промежуток от момента возникновения неврологической симптоматики, а также определить патоморфологические изменения в окружающей ткани ГМ, что способствует выбору тактики лечения.

Выводы

1. МРТ-исследование ГМ у детей с ГИ позволяет определить кровоизлияние, оценить его локализацию и размеры, а также дифференцировать патоморфологические изменения в окружающей ткани ГМ на всех стадиях патологического процесса. Применение в протоколе МРТ-обследования детей T2, T1, FLAIR, SWI и ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД является обязательным, и только сопоставление характеристик МР-сигнала от гематомы в совокупности с анализом перифокальных изменений позволяет дифференцировать стадию кровоизлияния.

2. В результате проведенного исследования установлено, что МРТ-семиотика гематомы и анализ перифокальных изменений дают возможность определить сверхострую, острую и раннюю подострую стадии патологического процесса. ВМК в сверхострой стадии характеризуется повышенным МР-сигналом на T2, FLAIR и SWI, пониженным – на ДВИ ($b = 1000$) и ИКД, изоинтенсивным – на T1 в сочетании с симптомокомплексом перифокальных изменений.

3. ГИ в острой и ранней подострой стадиях имеет схожую МРТ-семиотику на T2, FLAIR, SWI, ДВИ ($b = 1000$) и ИКД. Однако только присутствие комплекса перифокальных изменений позволяет дифференцировать эти стадии, так как сочетание цитотоксического отека, цитоплазматического ободка и перифокального геморрагического про-

питывания определяется у пациентов, обследованных в первые 48 ч ($p < 0,05$), и не наблюдается спустя 2 сут.

4. Применение в протоколе МРТ-исследования SWI дает возможность дифференцировать позднюю подострую стадию ВМК с хронической за счет различных характеристик МР-сигнала, в отличие от T2, FLAIR и ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД, где МРТ-семиотика существенно не отличается. Кроме того, использование SWI позволяет установить наличие перифокального геморрагического пропитывания, что способствует дифференциальной диагностике ВМК на ранних этапах патологического процесса.

Дополнительная информация

Работа выполнена в ГБУЗ «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы»; 119049 Москва, 4-й Добрынинский пер., д. 1, Российская Федерация.

Additional Information

The work was performed at the Morozov Children's City Clinical Hospital of the Department of Health of Moscow; 1, 4th Dobryninsky per., Moscow 119049, Russian Federation.

Участие авторов

Мазаев А.П. – проведение исследования, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка и редактирование текста.

Молодцов М.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Щелькалина С.П. – статистическая обработка данных.

Authors' participation

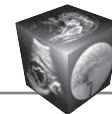
Mazaev A.P. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article, text preparation and editing.

Molodtsov M.S. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Shchelykalina S.P. – statistical analysis.

Список литературы [References]

1. Щедеркина И.О., Заваденко Н.Н., Колтунов И.Е. Инсульт у детей и подростков: формирование педиатрического регистра. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2016; 9: 24–29. <http://doi.org/10.17116/jnevro20161169124-29>
Shchederkina I.O., Zavadenko N.N., Koltunov I.E. Stroke in children and adolescents: the formation of a pediatric registry. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiiatrii imeni S.S. Korsakova = Korsakov Neurology and Psychiatry*



- Journal*. 2016; 9: 24–29. <http://doi.org/10.17116/jnevro20161169124-29> (In Russian)
2. Boulouis G., Blauwblomme T., Hak J.F. et al. Nontraumatic Pediatric Intracerebral Hemorrhage. *Stroke*. 2019; 50 (12): 3654–3661. <http://doi.org/10.1161/STROKEAHA.119.025783>
 3. Mackay M., Kirton A., deVeber G. Swaiman's pediatric neurology. 6th ed / Swaiman K. (ed.). Elsevier, 2017. 1308 p.
 4. Львова О.А., Кузнецов Н.Н., Гусев В.В., Вольхина С.А. Эпидемиология и этиология инсультов у детей грудного возраста. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2013. Спецвыпуск 2: 50–55.
Lvova O.A., Kuznetsov N.N., Gusev V.V., Volkhina S.A. Epidemiology and etiology of strokes in infants. *Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics*. 2013. Special issue 2: 50–55. (In Russian)
 5. Boulouis G., Stricker S., Benichi S. et al. Etiology of intracerebral hemorrhage in children: cohort study, systematic review, and meta-analysis. *J. Neurosurg. Pediatr*. 2021; 27 (3): 357–363. <http://doi.org/10.3171/2020.7.PEDS20447>
 6. Хачатуров Ю.А., Щедркина И.О., Плавунов Н.Ф., Сидоров А.М., Петрайкина Е.Е., Витковская И.П., Кадышев В.А. Инсульт у детей и подростков: актуальные проблемы догоспитальной диагностики. *Архив внутренней медицины*. 2020; 10 (1): 21–30. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2020-10-1-21-30>
Khachaturov Yu.A., Shchederkina I.O., Plavunov N.F. et al. Stroke in children and adolescents: current problems of prehospital diagnosis. *Archive of Internal Medicine*. 2020; 10 (1): 21–30. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2020-10-1-21-30> (In Russian)
 7. Bradley W.G. Jr. MR appearance of hemorrhage in the brain. *Radiology*. 1993; 189 (1): 15–26. <http://doi.org/10.1148/radiology.189.1.8372185>
 8. Kidwell C.S., Wintermark M. Imaging of intracranial haemorrhage. *Lancet Neurol*. 2008; 7 (3): 256–267. [http://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70041-3](http://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70041-3)
 9. Terayama Y., Tanahashi N., Fukuchi Y., Gotoh F. Prognostic value of admission blood pressure in patients with intracerebral hemorrhage. Keio Cooperative Stroke Study. *Stroke*. 1997; 28 (6): 1185–1188. <http://doi.org/10.1161/01.str.28.6.1185>
 10. Urday S., Kimberly W.T., Beslow L.A. et al. Targeting Secondary Injury in Intracerebral Haemorrhage—Perihaematoma Oedema. *Nat. Rev. Neurol*. 2015; 11 (2): 111–122. <http://doi.org/10.1038/nrneurol.2014.264>
 11. Chen Y., Chen S., Chang J. et al. Perihematoma Edema After Intracerebral Hemorrhage: An Update on Pathogenesis, Risk Factors, and Therapeutic Advances. *Front. Immunol*. 2021; 12: 740632. <http://doi.org/10.3389/fimmu.2021.740632>
 12. Khalaf A., Iv M., Fullerton H., Wintermark M. Pediatric Stroke Imaging. *Pediatr. Neurol*. 2018; 86: 5–18. <http://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2018.05.008>
 13. Anzalone N., Scotti R., Riva R. Neuroradiologic differential diagnosis of cerebral intraparenchymal hemorrhage. *Neurol. Sci*. 2004; 25, Suppl. 1: S3–5. <http://doi.org/10.1007/s10072-004-0205-8>
 14. Ryan M.E., Jaju A., Ciolino J.D., Alden T. Rapid MRI evaluation of acute intracranial hemorrhage in pediatric head trauma. *Neuroradiology*. 2016; 58 (8): 793–799. <http://doi.org/10.1007/s00234-016-1686-x>
 15. Mehta H., Acharya J., Mohan A.L. et al. Minimizing Radiation Exposure in Evaluation of Pediatric Head Trauma: Use of Rapid MR Imaging. *Am. J. Neuroradiol*. 2015; 37 (1): 11–18. <http://doi.org/10.3174/ajnr.a4464>
 16. Федоров М.А., Диомидова В.Н., Мигушкина Л.П. Исследование диагностической эффективности магнитно-резонансной томографии при геморрагическом инсульте. *Медицинский альманах*. 2016; 5 (45): 115–119.
Fedorov M.A., Diomidova V.N., Migushkina L.P. Study of the diagnostic efficacy of magnetic resonance imaging in hemorrhagic stroke. *Medical Almanac*. 2016; 5 (45): 115–119. (In Russian)
 17. Hillal A., Ullberg T., Ramgren B., Wassélius J. Computed tomography in acute intracerebral hemorrhage: neuroimaging predictors of hematoma expansion and outcome. *Insights. Imaging*. 2022; 13 (1): 180. <http://doi.org/10.1186/s13244-022-01309-1>
 18. Goldman-Yassen A.E., Dehkharghani S. Neuroimaging in Pediatric Stroke and Cerebrovascular Disease. Stroke. Dehkharghani S (Ed.). Exon Publications, Brisbane, Australia. ISBN: 978-0-6450017-6-1. <https://doi.org/10.36255/exonpublications.stroke.2021>
 19. Lee S., Jiang B., Heit J.J. et al. Cerebral Perfusion in Pediatric Stroke: Children Are Not Little Adults. *Top. Magn. Reson. Imaging*. 2021; 30 (5): 245–252. <http://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000275>
 20. Pluncevic Gligoroska J., Gontarev S., Dejanov B. et al. Red Blood Cell Variables in Children and Adolescents regarding the Age and Sex. *Iran J. Public. Health*. 2019; 48 (4): 704–712. PMID: 31110981
 21. Macellari F., Paciaroni M., Agnelli G., Caso V. Neuroimaging in Intracerebral Hemorrhage. *Stroke*. 2014; 45 (3): 903–908. <http://doi.org/10.1161/strokeaha.113.003701>
 22. Kang B.K., Na D.G., Ryoo J.W. et al. Diffusion-weighted MR imaging of intracerebral hemorrhage. *Korean J. Radiol*. 2001; 2 (4): 183–191. <http://doi.org/10.3348/kjr.2001.2.4.183>
 23. Mendelow A.D., Gregson B.A., Rowan E.N. et al. Early Surgery Versus Initial Conservative Treatment in Patients With Spontaneous Supratentorial Lobar Intracerebral Haematomas (STICH II): A Randomised Trial. *Lancet*. 2013; 382 (9890): 397–408. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60986-1](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60986-1)
 24. Mendelow A.D., Gregson B.A., Fernandes H.M. et al. Early Surgery Versus Initial Conservative Treatment in Patients With Spontaneous Supratentorial Intracerebral Haematomas in the International Surgical Trial in Intracerebral Haemorrhage (STICH): A Randomised Trial. *Lancet*. 2005; 365 (9457): 387–397. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)17826-X](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)17826-X)
 25. Mould W.A., Carhuapoma J.R., Muschelli J. et al. Minimally Invasive Surgery Plus Recombinant Tissue-Type Plasminogen Activator for Intracerebral Hemorrhage Evacuation Decreases Perihematoma Edema. *Stroke*. 2013; 44 (3): 627–634. <http://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.000411>
 26. Li N., Worthmann H., Heeren M. et al. Temporal Pattern of Cytotoxic Edema in the Perihematoma Region After Intracerebral Hemorrhage: A Serial Magnetic Resonance Imaging Study. *Stroke*. 2013; 44 (4): 1144–1146. <http://doi.org/10.1161/strokeaha.111.000056>
 27. Kim-Han J.S., Kopp S.J., Dugan L.L., Diringer M.N. Perihematoma mitochondrial dysfunction after intra-



- cerebral hemorrhage. *Stroke*. 2006; 37 (10): 2457–2462. <http://doi.org/10.1161/01.STR.0000240674.99945.4e>. Epub 2006 Sep 7. Erratum in: *Stroke*. 2006; 37 (12): 3057. PMID: 16960094
28. Губский Л.В., Анисимов Н.В., Шамалов Н.А., Скворцова В.И. Диагностика нетравматических внутрочерепных кровоизлияний методами КТ и МРТ. В кн.: Геморрагический инсульт / Под ред. В.И. Скворцовой, В.В. Крылова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005: 38–59. Gubsky L.V., Anisimov N.V., Shamalov N.A., Skvortsova V.I. Diagnosis of non-traumatic intracranial hemorrhages using CT and MRI. In: Hemorrhagic stroke / Eds V.I. Skvortsova, V.V. Krylov. M.: GEOTAR-Media, 2005: 38–59. (In Russian)
29. Араблинский А.В. Дифференциальная диагностика нетравматических острых заболеваний головного мозга в условиях приемного отделения с использованием КТ и МРТ. *REJR*. 2020; 10 (4): 60–74. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-4-6074> Arablinsky A.V. Differential diagnosis of non-traumatic acute brain diseases in the emergency department using CT and MRI. *REJR*. 2020; 10 (4): 60–74. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-4-6074>. (In Russian)

Для корреспонденции*: Молодцов Максим Сергеевич – тел. +7-929-590-75-58. E-mail: dr.mmolodtsov@gmail.com

Мазаев Александр Павлович – доктор мед. наук, врач-рентгенолог службы лучевой диагностики ГБУЗ “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4907-7805>

Молодцов Максим Сергеевич – врач отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии ГБУЗ “ГКБ №67 им. Л.А. Ворохобова ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7295-1708>

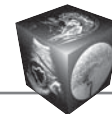
Щелькалина Светлана Павловна – канд. мед. наук, доцент кафедры медицинской кибернетики и информатики им. С.А. Гаспаряна Медико-биологического факультета ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3292-8949>

Contact*: Maksim S. Molodtsov – phone: +7-929-590-75-58. E-mail: dr.mmolodtsov@gmail.com

Alexander P. Mazaev – Doct. of Sci. (Med.), radiologist of Morozov Children’s Clinical Hospital of the Moscow City Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4907-7805>

Maksim S. Molodtsov – radiologist of tomography department, L.A. Vorokhobov City Clinical Hospital (City Hospital No67), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7295-1708>

Svetlana P. Shchelykalina – Cand. of Sci. (Med.), associate professor of the Department of Medical Cybernetics and Computer Science Named after S.A. Gasparyan, Department of Medical Cybernetics and Computer Science (MBF), Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3292-8949>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1276>

Клиническое 9-месячное наблюдение орбитального венозного варикоза с внутрипросветным тромбом с использованием лучевых методов

© Семенов С.Е.^{1*}, Малков И.Н.¹, Шатохина М.Г.², Гаранина Н.А.³,
Молдавская И.В.⁴, Коков А.Н.¹

- ¹ ФГБНУ “Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний” Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 650002 Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6, Российская Федерация
- ² ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России; 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация
- ³ ГАУЗ “Кузбасская областная клиническая больница им. С.В. Беляева”; 650000 Кемерово, Октябрьский пр. , 22, Российская Федерация
- ⁴ ГБУЗ “Кузбасский клинический кардиологический диспансер им. академика Л.С. Барбараша ”; 650002 Кемерово, Сосновый бульвар, д. 6, Российская Федерация

Представлен редкий клинический случай тромбоза варикозно расширенной верхней глазничной вены в сочетании с унилатеральной венозной аномалией развития подкорковой области головного мозга с успешной антитромботической терапией. Варикозное расширение верхней глазничной вены встречается редко (2% от всех образований орбиты), является предрасполагающим фактором тромбоза вены.

Материал и методы. Пациентка 41 года с верифицированным тромбозом одностороннего орбитального венозного варикоза наблюдалась в течение 9 мес. Первично выполнены МСКТ головного мозга и МСКТ-ангиография, затем динамическое наблюдение осуществлялось выполнением МРТ головного мозга и МР-венографии, в заключение выполнено УЗИ орбиты.

Описание клинического наблюдения. Клиническая картина состояла из небольшого непальсирующего одностороннего экзофтальма, легкого птоза, периорбитального отека мягких тканей, подконъюнктивального кровоизлияния, параорбитальной гематомы, венозной дисфункции на глазном дне. При МСКТ и МСКТ-ангиографии обнаружен тромб внутри мешка орбитального венозного варикоза. Заболевание, вероятно, носило вторичный характер, учитывая, что сочеталось с венозной ангиомой подкорковой области с той же стороны. В течение 9 мес наблюдения для контроля эффективности терапии трижды выполнялась МРТ до и после контрастного усиления, которая показала постепенное уменьшение экзофтальма, размеров тромба и мешка варикоцеле, что сопровождалось постепенным улучшением клинической картины до субъективного выздоровления.

Заключение. МРТ явилась столь же хорошим методом визуализации, как и МСКТ, и, на наш взгляд, более предпочтительным из-за отсутствия лучевой нагрузки и необходимости применения йодистого контрастного средства.

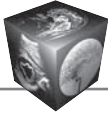
Ключевые слова: тромбоз; орбитальный венозный варикоз; венозная ангиома; МСКТ; МРТ

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Прозрачность финансовой деятельности. Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Для цитирования: Семенов С.Е., Малков И.Н., Шатохина М.Г., Гаранина Н.А., Молдавская И.В., Коков А.Н. Клиническое 9-месячное наблюдение орбитального венозного варикоза с внутрипросветным тромбом с использованием лучевых методов. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 35–44.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1276>

Поступила в редакцию: 31.10.2022. **Принята к печати:** 05.10.2023. **Опубликована online:** 03.11.2023.



Clinical case of 9-month observation of orbital venous varicose with intraluminal thrombus using radiologic methods

© Stanislav E. Semenov^{1*}, Ivan N. Malkov¹, Maria G. Shatokhina²,
Nina A. Garanina³, Irina V. Moldavskaya⁴, Alexander N. Kokov¹

¹ Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, 6, Sosnoviy Blvd., Kemerovo 650002, Russian Federation

² Almazov National Medical Research Centre; 2, Akkuratova str., Saint-Petersburg 197341, Russian Federation

³ Kuzbass Regional Clinical Hospital named after S.V. Belyaev; 22, Oktyabrsky ave., Kemerovo 650000, Russian Federation

⁴ Kuzbass Cardiology Centre named after L.S. Barbarash; 6, Sosnoviy blvd., Kemerovo 650002, Russian Federation

A rare clinical case of thrombosis of varicose superior ophthalmic vein in combination with a unilateral venous anomaly of the subcortical region of the brain with successful antithrombotic therapy is presented. Varicose veins of the superior ophthalmic vein are rare (2% of all orbital formations) and are a risk factor for thrombosis.

Material and methods. A 41-year-old patient with verified thrombosis of unilateral orbital venous varicose veins was observed for 9 months. Initially, MSCT of the brain and MSCT angiography were performed, then dynamic monitoring was carried out by performing MRI of the brain and MR venography, and finally an ultrasound examination of the orbit was performed.

Description of a clinical case. The clinical presentation consisted of a slight non-pulsatile unilateral exophthalmos, mild ptosis, periorbital soft tissue edema, subconjunctival hemorrhage, paraorbital hematoma, and venous dysfunction in the fundus. MSCT and MSCT angiography revealed a thrombus inside the sac of orbital venous varicose veins. The disease was probably secondary in nature, given that it was combined with venous angioma of the subcortical region on the same side. During 9 months of observation, to monitor the effectiveness of therapy, MRI was performed three times before and after contrast enhancement, which showed a gradual decrease in exophthalmos, the size of the thrombus and the varicocele sac, which was accompanied by a gradual improvement in the clinical picture until subjective recovery.

Conclusion. MRI was as good an imaging modality as MSCT, and, in our opinion, more preferable due to the absence of radiation exposure and the need for iodine contrast agent.

Keywords: thrombosis; orbital venous varicose; venous angioma; MSCT, MRI

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

For citation: Semenov S.E., Malkov I.N., Shatokhina M.G., Garanina N.A., Moldavskaya I.V., Kokov A.N. Clinical case of 9-month observation of orbital venous varicose with intraluminal thrombus using radiologic methods. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 35–44. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1276>

Received: 31.10.2022.

Accepted for publication: 05.10.2023.

Published online: 03.11.2023.

Введение

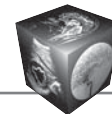
Тромбоз верхней глазничной вены (ВГВ) является редкой патологией (3–4 случая на 1 млн населения в год), ведущей к опасным осложнениям, таким как тромбоз кавернозного синуса, вероятная потеря зрения. В литературе встречаются данные о летальном исходе при тромбозе ВГВ (4% от всех случаев) [1, 2]. Данная патология может быть односторонней (90% венозных мальформаций являются односторонними [3]) и двусторонней и в большинстве случаев проявляется болезненным птозом, хемозом, гиперемией конъюнктивы. Ранняя диагностика и своевременно начатое лечение уменьшают вероятность развития тяжелых осложнений [4]. Симптоматика заставляет дифференцировать патологию с интраорбиталь-

ными образованиями, в чем помогает МСКТ-сканирование с контрастным усилением [5]. Варикозное расширение ВГВ, являясь редким заболеванием (2% от всех образований орбиты), играет роль дополнительного образования в орбите, вызывая экзофтальм и отек периорбитальных мягких тканей [6].

Представляем клинический случай 9-месячного наблюдения и успешной анти тромботической терапии у пациентки с тромбозом варикозно расширенной ВГВ в сочетании с унилатеральной венозной аномалией развития подкорковой области.

Материал и методы

Пациентка 41 года с верифицированным тромбозом одностороннего орбитального венозного



варикоза наблюдалась в течение 9 мес. При первом обращении осмотрена неврологом и офтальмологом, выполнены МСКТ головного мозга и МСКТ-ангиография с MIP-постреконструкцией (General Electric Light Speed TMVCT 64). Динамическое наблюдение осуществлялось офтальмологом и неврологом еще дважды (через 2 и 9 мес), выполнением МРТ головного мозга (Т1ВИ в аксиальной плоскости до и после контрастного усиления; Т2ВИ в сагиттальной и аксиальной плоскостях; T2FLAIR (Fluid attenuation inversion recovery), T2* и FSBB (ангиографический режим, взвешенный по магнитной восприимчивости), а также ДВИ с ИКД-картированием в аксиальной плоскости) и МР-венографии 2DToF в корональной плоскости с MIP-постреконструкцией (Toshiba Excelart Vantage 1,5 T) через 2, 4 и 9 мес от первичного обращения. В заключение (через 9 мес после первичного обращения) выполнены УЗИ орбиты (Quantel Medical Compact Touch, секторальный датчик 15 МГц) и МРТ головного мозга. Перед проведением инструментальных методов исследования пациентка подписывала информированное согласие.

Описание клинического наблюдения и результатов инструментальных исследований

Клиническая картина и результаты инструментальных исследований при первом обращении (декабрь 2021 г.)

Пациентка обратилась к офтальмологу с жалобами на покраснение и припухлость век и глазного яблока справа. До этого в течение недели беспокоили пульсирующая головная боль, головокружение, двоение при взгляде вниз, неустойчивость при ходьбе, шум в ушах, а также повышение артериального давления до 160/80 мм рт.ст. Подобное состояние на фоне подъема артериального давления до 180/110 мм рт.ст. наблюдалось также полгода назад.

Осмотр офтальмолога: правый глаз: 0,3 (–) 1.25 Д = 1.0; левый глаз: 0,4 (–) 1,25 Д = 1.0. Внутриглазное давление OD 22 мм рт.ст. / OS 19 мм рт.ст. Гематома и отек верхнего и нижнего век правого глаза, неппульсирующий экзофтальм 2 мм справа, слева – без особенностей. При биомикроскопии справа конъюнктив отечная, конъюнктивальная инъекция глазного яблока, слева – без особенностей. Глазное дно: справа диск зрительного нерва розовый, слева бледно-розовый, границы четкие с обеих сторон. Артерии с обеих сторон не изменены, ход без особенностей. Вены справа расширены и извиты, слева – без особенностей. Соотношение сосудов справа 1 : 3, слева

2 : 3. В остальном без патологических изменений. *Заключение офтальмолога:* параорбитальная гематома, экзофтальм правого глаза, признаки венозной дисфункции на глазном дне справа. Рекомендована МСКТ или МРТ. Назначено лечение: троксерутин 300 мг 3 р/д в течение 14 дней; в последующем кальция добезилат 500 мг 3 р/д курсом до 1 мес; метилэтилпиридинол 1% закапывать по 1 кап. 4 р/д в течение 1 мес.

Осмотр невролога: артериальное давление 130/80 мм рт.ст., небольшой экзофтальм, легкий птоз, периорбитальный отек мягких тканей, подконъюнктивальное кровоизлияние справа. Зрачки OD = OS. При взгляде вниз отклонение правого глазного яблока к носу. Других патологических изменений при исследовании неврологического статуса не выявлено. Рекомендованы МСКТ головного мозга и интракраниальных артерий и вен с контрастным усилением, общеклиническое обследование. По результатам томографии неврологом дополнительно к лечению назначен дабигатран этексилат 150 мг / 2 раза в сутки.

В общем, биохимическом анализе крови, а также развернутом исследовании крови на коагулопатии патологических показателей не выявлено. Консультация гематолога: генетического риска нарушения системы свертывания не выявлено.

Результаты МСКТ: при МСКТ с болюсным контрастным усилением картина тромбоза глазничной вены справа (тромб с плотностью 70 ед.Н на фоне контраста вокруг с плотностью 350 ед.Н), минимальный экзофтальм справа (22 мм по методике NOSPECS). Асимметрия венозного оттока области базальных ядер справа, в правой подкорковой области визуализируется венозная аномалия развития (венозная ангиома) (рис. 1).

Результаты повторного осмотра и инструментальных исследований через 2 мес (февраль 2022 г.)

При повторном осмотре офтальмолога через 2 мес: параорбитальная гематома и отек век правого глаза уменьшились, экзофтальм справа уменьшился, глазное дно без динамики.

Осмотр невролога: клинические проявления на фоне терапии полностью купированы. В неврологическом статусе: глазодвигательных расстройств не выявлено, жалоб на двоение в глазах у пациентки нет. Рекомендовано продолжить прием дабигатрана этексилата 150 мг / 2 раза в день продолжительностью курса до 6 мес.

При МРТ головного мозга (рис. 2), интракраниальных вен и венозных синусов с контрастным усилением в динамике отмечено отсутствие экзофтальма (19 мм по методике NOSPECS), увели-

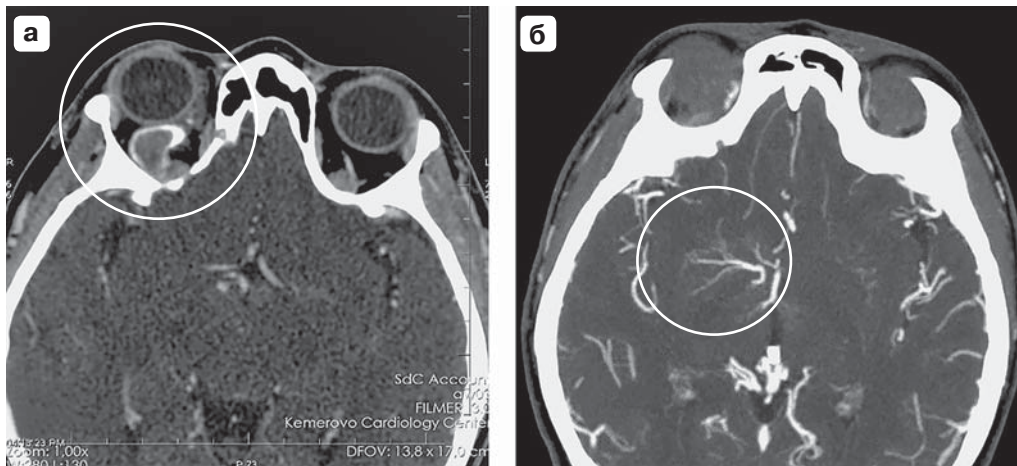
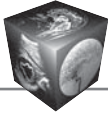


Рис. 1. Первичная МСКТ головного мозга и интракраниальных сосудов с болюсным контрастным усилением. **а** – визуализируется тромб (1,3 × 1,1 см), занимающий практически весь объем мешка варикоцеле (1,4 × 1,3 см) верхней глазничной вены правой орбиты, минимальный экзофтальм справа (в белом круге), аксиальная плоскость; **б** – в области базальных ядер справа аномалия развития венозных сосудов в виде мелких вен (“голова Горгоны”), собирающихся в несколько более крупных дренажных сосудов (в белом круге), на территории дренирования правой внутренней вены мозга, аксиальная MIP-реконструкция.

Fig. 1. Primary MSCT of the brain and intracranial vessels with bolus contrast enhancement. **a** – a thrombus (1.3 × 1.1 cm) is visualized, occupying almost the entire volume of the varicocele (1.4 × 1.3 cm) of the superior ophthalmic vein of the right orbit, exophthalmos on the right (inside the white circle), axial scan; **b** – in the region of the basal nuclei on the right, an anomaly in the development of venous vessels in the form of small veins (“Gorgon’s head”), gathering into several larger drainage vessels (inside the white circle), in the area of drainage of the right internal cerebral vein, axial MIP reconstruction.

чение размеров (2,3 × 2,1 см) мешка варикозно расширенной ВГВ правой орбиты. Внутри варикозно расширенной вены визуализируется менее интенсивный на T1ВИ, чем контраст, тромб (1 см) с неровными четкими контурами, вокруг которого пристеночно сохранен низкоинтенсивный кровоток, визуализируемый на фоне контрастированной стенки сосуда. В других отделах венозной системы головного мозга кровотока сохранен. В правой подкорковой области визуализируется ранее выявленная аномалия развития венозных сосудов (венозная ангиома) в виде мелких вен (“голова Горгоны”), собирающихся в несколько более крупных дренажных вен, на территории дренирования правой внутренней вены мозга.

Результаты инструментальных исследований через 4 мес (март 2022 г.)

К неврологу и офтальмологу пациентка на этот момент не обращалась, продолжала рекомендованное ими лечение. При контрольной МРТ головного мозга, интракраниальных вен и венозных синусов с контрастным усилением (рис. 3) через 4 мес от начала клинических проявлений отмечено появление умеренного экзофтальма справа (25 мм по методике NOSPECS), прежние размеры мешка варикоцеле ВГВ правой орбиты, но разме-

ры внутрисосудистого тромба несколько уменьшились и отмечены признаки восстановления пристеночного кровотока вокруг тромба.

Результаты повторного осмотра и инструментальных исследований через 9 мес (сентябрь 2022 г.)

При повторном осмотре офтальмолога через 9 мес: параорбитальная гематома и отек век правого глаза разрешились, экзофтальма нет, на глазном дне справа легкие признаки венозной дисфункции в виде соотношения артерии/вены – справа 1:2, слева 2:3.

При контрольной МРТ головного мозга отмечено отсутствие экзофтальма (19 мм по методике NOSPECS), уменьшение размера варикозно расширенной ВГВ правой орбиты, отсутствие варикоцеле (рис. 4а), неравномерное утолщение стенок вены, тромб толщиной не более 0,25 см сомнительно визуализировался пристеночно на T1ВИ с контрастным усилением (рис. 4б) и T2ВИ (рис. 4в) и не был определен четко. На времяпротекшей МР-венограмме (2DToF) сигнал потока в проекции варикозно расширенной ВГВ правой орбиты не визуализировался, как и в предыдущем исследовании, вероятно, из-за низкой скорости кровотока.

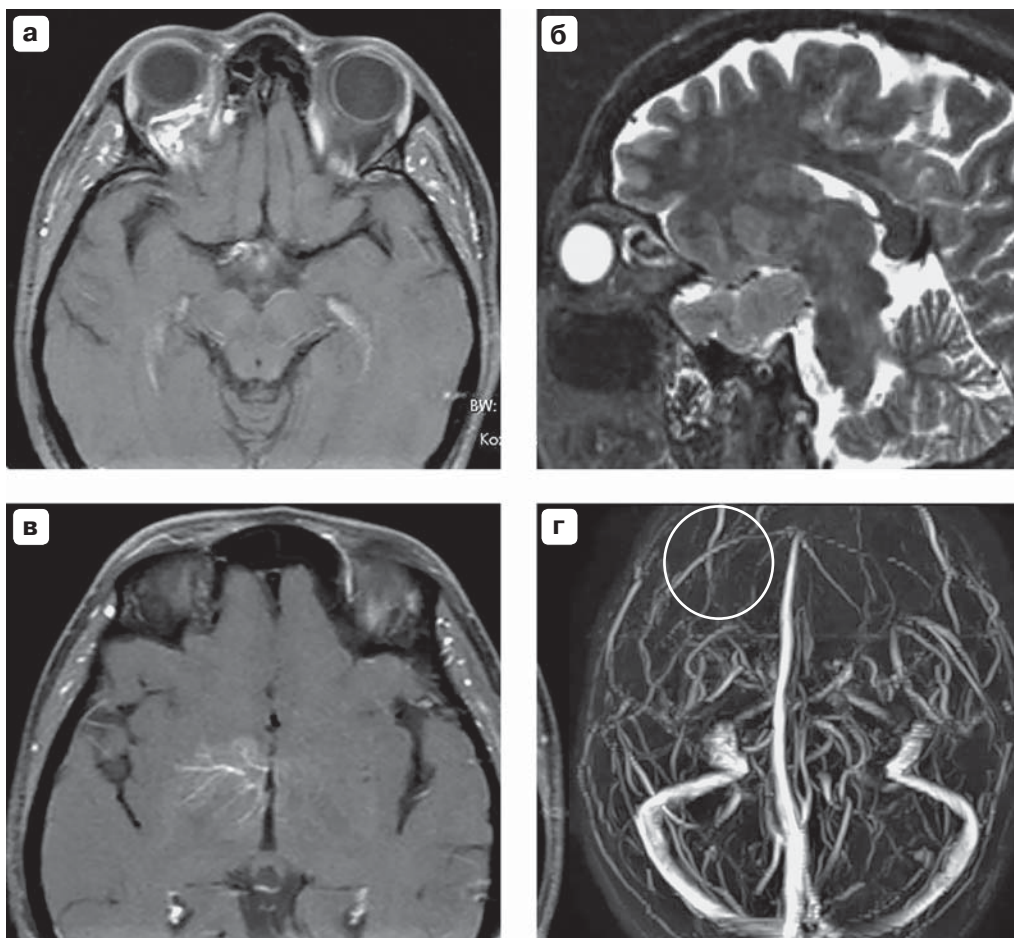
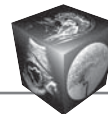


Рис. 2. МРТ головного мозга, интракраниальных вен и венозных синусов с контрастным усилением (КУ) (на момент выраженных клинических проявлений): увеличение размеров мешка варикоцеле ($2,3 \times 2,1$ см) верхней глазничной вены правой орбиты на T1ВИ с КУ (а). Внутри варикозного мешка на T1ВИ с КУ (а) на фоне контрастированной стенки вены визуализируется менее интенсивный тромб ($1,3 \times 1,3$ см). Тромб занимает почти весь объем мешка варикоцеле с признаками лизиса центральной части, отражающимся в повышении сигнала на T1ВИ с КУ (а) и T2ВИ (б). В правой подкорковой области на T1ВИ с КУ сохраняется ранее выявленная венозная ангиома (в). На времяпролетной МР-венограмме (2DToF) сигнал потока в проекции варикоцеле (область, выделенная белым кругом) не визуализируется (г).

Fig. 2. MRI of the brain, intracranial veins and venous sinuses with contrast enhancement (at the time of pronounced clinical manifestations): in dynamics there was no exophthalmos (a), the previous dimensions of the varicocele sac (2.3×2.1 cm) of the superior ophthalmic vein of the right orbit (a). Inside the varicose sac on T1WI with contrast enhancement (a) against the background of the contrasted vein wall, a less intense thrombus (1.3×1.3 cm) is visualized, occupying almost the entire volume of the varicocele sac with signs of lysis of the central part, reflected in an increase in the signal on T1WI (a) and T2WI (b). The previously identified venous angioma remains on CE T1WI in the right subcortical region (c). On a time-of-flight MR venogram (2DToF), the flow signal in the varicocele projection (the area highlighted with a white circle) is not visualized (d).

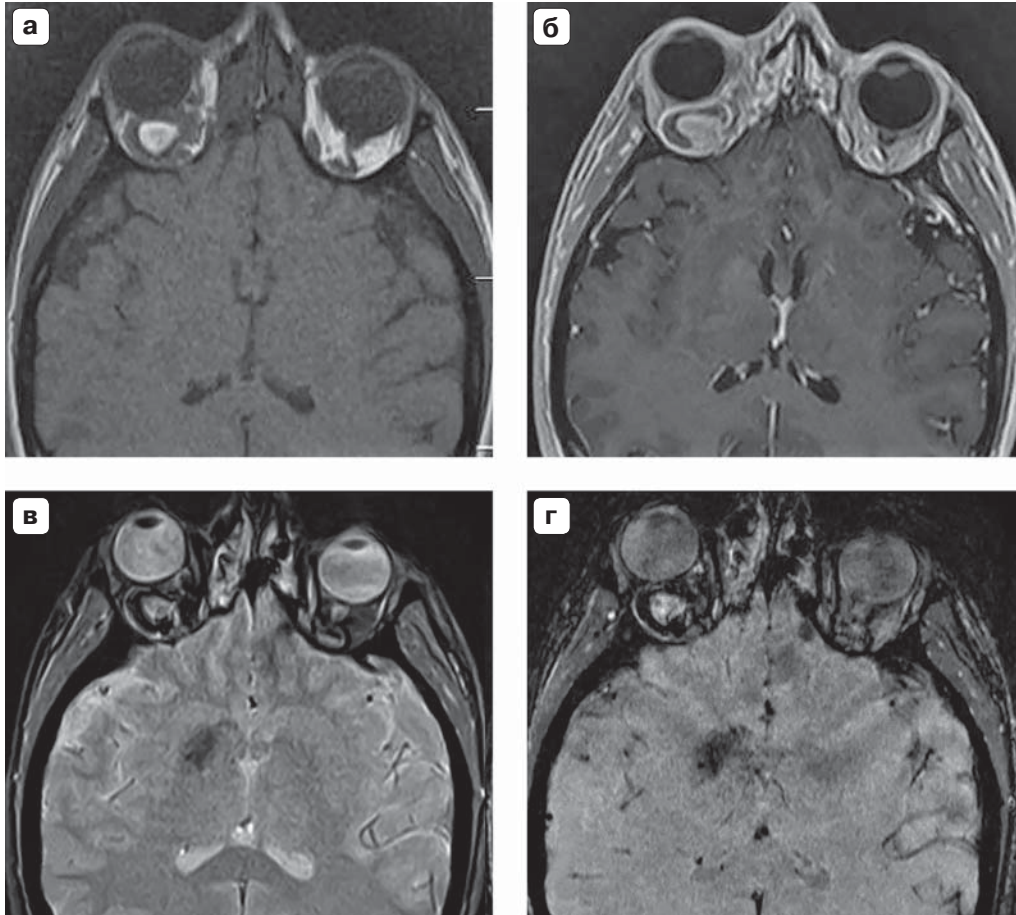
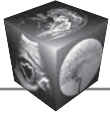


Рис. 3. МРТ головного мозга через 4 мес от начала клинических проявлений. В динамике сохраняются сходные с предыдущими исследованиями размеры мешка варикоцеле ($2,2 \times 1,4$ см) верхней глазничной вены правой орбиты. Размеры внутрисосудистого тромба уменьшились до $1,1 \times 1,1$ см, что визуализируется на до- (**а**) и постконтрастных (**б**) T1ВИ. Умеренный экзофтальм справа (**а, б**). В правой подкорковой области в проекции ранее выявленной венозной аномалией развития (венозной ангиомы) визуализируется участок низкого сигнала на T2* (**в**) и FSBB (**г**).

Fig. 3. MRI of the brain 4 months from the onset of clinical manifestations. In dynamics, the dimensions of the varicocele sac (2.2×1.4 cm) of the superior ophthalmic vein of the right orbit remain similar to previous studies. The size of the intraluminal thrombus decreased to 1.1×1.1 cm, which is visualized on pre- (**a**) and post-contrast (**б**) T1WI, moderate exophthalmos on the right (**а, б**). In the right subcortical region, in the projection of a previously identified VAR (venous angioma), an area of low signal is visualized on T2* (**в**) and FSBB (**г**).

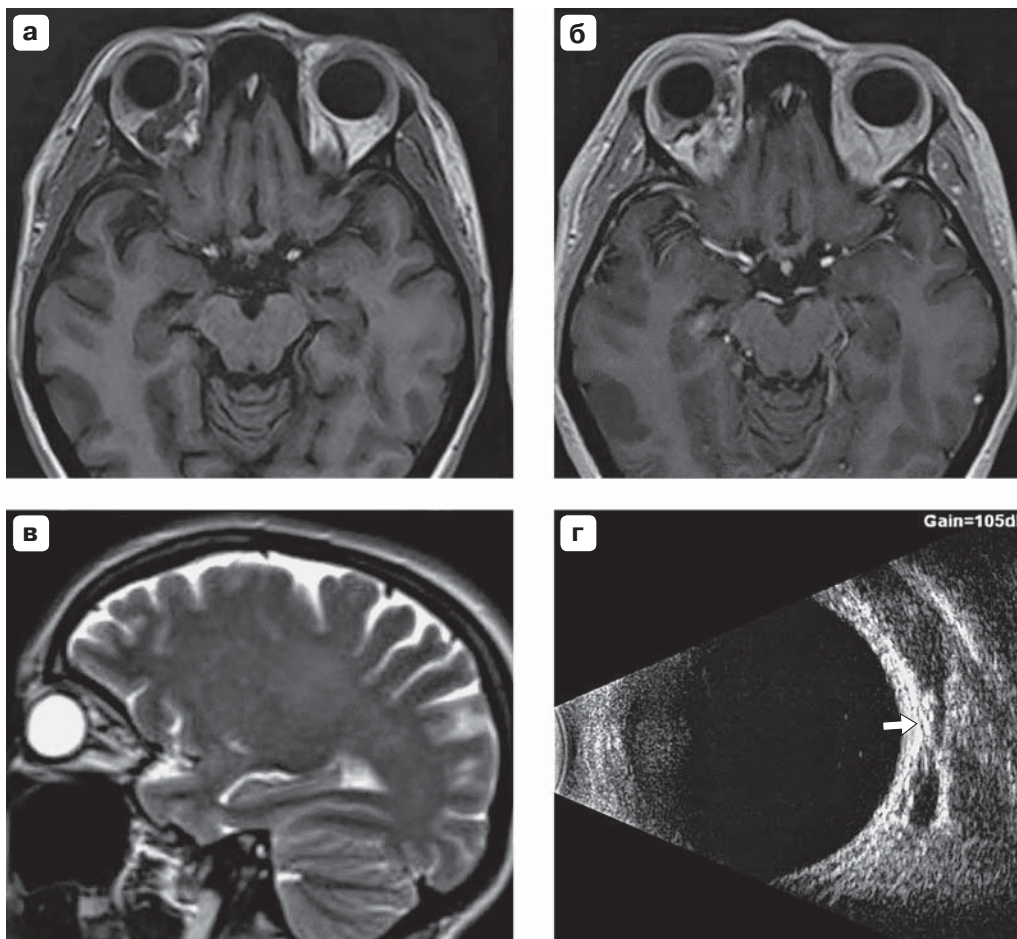
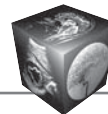
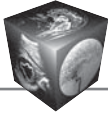


Рис. 4. Контрольное исследование через 9 мес от начала клинических проявлений в отсутствие жалоб со стороны пациентки. При МРТ головного мозга на T1ВИ до (а) и после контрастного усиления (б) и на T2ВИ (в) отмечено отсутствие экзофтальма, уменьшение поперечного размера варикозно расширенной верхней глазничной вены правой орбиты до 1 см, мешка варикоцеле на момент исследования не наблюдается, стенки вены неравномерно утолщены, пристеночный тромб (толщиной не более 0,25 см) визуализируется нечетко. При УЗИ правой орбиты в В-режиме выявлено неравномерное утолщение стенки варикозно расширенной (до 1 см) верхней глазничной вены, пристеночно на протяжении до 1 см визуализируется фиксированный диффузно неоднородный тромб (стрелка) без четких контуров толщиной до 0,25 см (г).

Fig. 4. Control study 9 months after the onset of clinical manifestations in the absence of complaints from the patient. MRI of the brain on T1WI before (a) and after contrast enhancement (б) and on T2WI (в) noted the absence of exophthalmos, a decrease in the transverse size of the varicose dilated superior ophthalmic vein of the right orbit to 1 cm, no varicocele sac was observed at the time of the study, the walls the veins are unevenly thickened, a parietal thrombus (no more than 0.25 cm thick) is visualized without certainty. Ultrasound examination of the right orbit on B-mode revealed uneven thickening of the wall of the varicose dilated (up to 1 cm) of the superior orbital vein; a fixed, diffusely heterogeneous thrombus (arrow) without clear contours up to 0.25 cm thick (г) was visualized near the wall for up to 1 cm.



При УЗИ правой орбиты визуализировалась варикозно расширенная ВГВ с небольшим фиксированным плотным пристеночным тромбом (рис. 4г). При слепой доплерографии в проекции ВГВ справа лоцирован непостоянный (на вдохе) антеградный кровоток со скоростью до 1 см/с.

При осмотре невролога очаговой симптоматики не выявлено, жалоб на зрение и дискомфорт в области глаз нет. На основании результатов УЗИ и МР-исследований рекомендовано продолжить прием дабигатрана этексилата до 1 года.

Обсуждение

На сегодняшний день МР- и КТ-визуализация позволяет с большой степенью уверенности определить аномалии развития сосудов. Нарушение дренажной функции и морфологические изменения стенок вен могут быть причиной тромбоза аномально измененных сосудов.

ВГВ является основной дренирующей венозной структурой орбиты. В нее впадают слезная, дорсальная вена носа, мышечная, этмоидальная и иногда центральная вена сетчатки [7]. Тромбоз ВГВ – редкое заболевание, клиническая картина которого соответствует острому болезненному птозу, хемозу, гиперемии конъюнктивы и даже потере зрения [4], а также может стать причиной тромбоза кавернозного синуса с вовлечением черепных нервов [2]. В генезе тромбоза ВГВ ключевую роль играет нарушение соотношения факторов, входящих в триаду Вирхова (повреждение сосудов, застой и гиперкоагуляция) [4], в том числе спровоцированное аномалиями развития вен [8]. Тромбоз ВГВ может быть вторичным: септическим и следствием системных заболеваний, ведущих к гиперкоагуляционному состоянию. Диагностика тромбоза ВГВ должна проводиться своевременно и в объеме, определяющим причинные факторы, локализацию и распространенность процесса, что позволяет выбрать правильную тактику в лечении и предотвратить развитие осложнений [2].

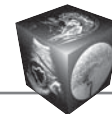
Венозная ангиома, или венозная аномалия развития (ВАР), считается относительно распространенным явлением, встречающимся у 3% населения и в данном клиническом случае является случайной находкой. Определяющей характеристикой этих поражений является слияние радиально ориентированных вен в единый расширенный венозный канал [9]. ВАР является доброкачественной патологией, возникающей из-за дефицита в развитии венозной сети, что приводит к расширению и формированию дисфункциональных венозных каналов с дефицитом гладкомышечных клеток [10], при этом обеспечивая необходи-

мый венозный дренаж, без явных клинических проявлений [9].

Основой развития орбитального венозного варикоза (ОВВ) предположительно становится ослабление стенки вены. В отличие от ВАР, ОВВ представляет значительно большую опасность в отношении тромбоза. Так, в нашем случае, учитывая данные анамнеза, тромбоз ВГВ, вероятно, был рецидивирующим. ОВВ – это тонкостенные, с низким кровотоком растянутые мешки вен (или единственный мешок – варикоцеле), которые могут сопровождаться периорбитальной болью, проптозом, экзофтальмом или даже потерей зрения [11]. Варикозное расширение вен орбиты может быть как первичным, так и вторичным. Первичное поражение ограничено стенками орбиты и может быть генетически детерминированным [12]. Вторичный ОВВ встречается в сочетании с венозными ангиомами [13]. Варикозное расширение ВГВ встречается крайне редко (2% от всех образований орбиты), может вызывать экзофтальм и отек периорбитальных мягких тканей [6]. Дифференциальная диагностика варикозного расширения вен орбиты [13], варикоцеле выполняется в отношении артериовенозной мальформации, лимфангиомы [14].

Данное клиническое наблюдение является показательным примером правильно выбранной тактики лечащего врача, которая привела к благоприятному исходу заболевания. У пациентки с тромбозом варикозно расширенной ВГВ применение метода МСКТ головного мозга и МСКТ-ангиографии интракраниальных сосудов позволило установить причину экзофтальма и периорбитального отека мягких тканей с дальнейшим клинически верным терапевтическим подходом и успешной антитромботической терапией.

Существующая классификация экзофтальма относится только к эндокринной офтальмопатии и не применима к одностороннему экзофтальму, вызванному другими причинами. Так, к лучевой диагностике относятся критерии КТ относительно положения глазного яблока (положение заднего контура глазного яблока до межскуловой линии в аксиальной плоскости, максимальный размер орбиты в сагиттальной плоскости [15]). Также степень экзофтальма предлагалось вычислять на нейроокулярном срезе аксиальных компьютерных томограмм по перпендикуляру от переднего полюса глаза к линии, соединяющей гребень слезной кости с внутренней пластинкой наружной стенки на уровне орбитального края [16]. Выделяют небольшой экзофтальм ($15,9 \pm 0,2$ мм), умеренный экзофтальм ($17,9 \pm 0,2$ мм) и выраженный экзофтальм ($22,8 \pm 0,2$ мм) [17], но в то же



время более используемая классификация NOSPECS [18] классифицирует степени экзофтальма следующим образом: отсутствие экзофтальма (20 мм и меньше), минимальный экзофтальм (21–23 мм), умеренный (24–27 мм), выраженный (28 мм и более). К сожалению, предлагаемые параметры определения степени экзофтальма различными авторами не соответствуют друг другу и не могут считаться общепринятыми, поэтому нами применена наиболее известная классификация NOSPECS.

В дополнение была диагностирована ВАР (венозная ангиома) правой подкорковой области. Применение МСКТ в качестве первичной инструментальной диагностики вероятно оправдано большей доступностью и распространенностью метода.

Динамическое наблюдение показало, что МРТ является столь же хорошим методом лучевой диагностики данной патологии [19], как и МСКТ. Также достаточно уверенно возможно измерение степени выраженности экзофтальма по методике NOSPECS. А в случаях тромбоза ОБВ МРТ с широким спектром последовательностей и применением гадолиниевого контраста представляется более предпочтительным диагностическим методом динамического контроля, чем МСКТ, из-за отсутствия лучевой нагрузки и необходимости применения йодистого контрастного средства. Хотя у последней есть и свои преимущества – быстрота выполнения и большая доступность в экстренных случаях. МРТ позволяет лечащему врачу более безопасно для пациента выбрать верный подход к лечению и следить за эффективностью терапии. Времяпрелетная методика (ToF) при МРТ имеет значительные ограничения в визуализации ОБВ из-за низкого и вихревого кровотока, особенно при тромбозе, когда кровоток сохранен только в пристеночных отделах варикозного мешка.

Заключение

Данный клинический случай демонстрирует возможности МСКТ и МРТ в выявлении тромбоза варикозно расширенной верхней глазничной вены, сочетающегося с венозной ангиомой. Применение МСКТ и МСКТ-ангиографии интракраниальных сосудов позволило установить причину экзофтальма и периорбитального отека мягких тканей с дальнейшим клинически верным терапевтическим подходом и успешной антитромботической терапией. МРТ головного мозга с контрастным усилением в качестве метода контроля эффективности терапии, являясь методикой, не связанной с лучевой нагрузкой, а также с использованием гадолиниевого, а не йодсодержащего контрастного

средства, позволила относительно безопасно вести наблюдение за морфологическими изменениями в динамике. Кроме того, МРТ позволяет получить общую картину структурных изменений головного мозга, в отличие от УЗИ орбит, менее доступного исследования (только в узкоспециализированных клиниках), а также ограниченного только полостью орбиты.

Участие авторов

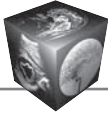
Концепция и дизайн: Семенов С.Е.
Сбор и обработка материалов: Шатохина М.Г., Семенов С.Е., Молдавская И.В., Гаранина Н.А., Коков А.Н.
Написание текста: Малков И.Н., Семенов С.Е., Шатохина М.Г., Гаранина Н.А., Молдавская И.В.
Редактирование: Семенов С.Е., Гаранина Н.А., Молдавская И.В.
Согласовано со всеми соавторами.

Authors' participation

Concept and design of the study: Semenov S.E.
Collection and analysis of data: Shatokhina M.G., Semenov S.E., Moldavskaya I.V., Garanina N.A., Kokov A.N.
Writing text: Malkov I.N., Semenov S.E., Shatokhina M.G., Garanina N.A., Moldavskaya I.V.
Editing: Semenov S.E., Garanina N.A., Moldavskaya I.V.
Agreed with all co-authors.

Список литературы [References]

- Chen L., Guo U.S., Grutman G. et al. Superior Ophthalmic Vein Thrombosis Induced by Orbital Cellulitis: An Ophthalmic Emergency. *Cureus*. 2021; 13 (10): e19038. <http://doi.org/10.7759/cureus.19038>
- Sotoudeh H., Shafaat O., Aboueldahab N. et al. Superior ophthalmic vein thrombosis: What radiologist and clinician must know? *Eur. J. Radiol. Open*. 2019; 6: 258–264. <http://doi.org/10.1016/j.ejro.2019.07.002>
- Seront E., Vikkula M., Boon L.M. Venous Malformations of the Head and Neck. *Otolaryngol. Clin. N. Am.* 2018; 51 (1): 173–184. <http://doi.org/10.1016/j.otc.2017.09.003>
- Rao R., Ali Y., Nagesh C.P., Nair U. Unilateral isolated superior ophthalmic vein thrombosis. *Indian J. Ophthalmol.* 2018; 66 (1): 155–157. http://doi.org/10.4103/ijoo.IJO_791_17
- Щурова И.Н., Пронин И.Н., Мельникова-Пицхеллаури Т.В., Серова Н.К., Баталов А.И., Соложенцева К.Д. Орбитальный венозный варикоз: современные методы диагностики и дифференциальный диагноз. *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2020; 84 (6): 33–48. <https://doi.org/10.17116/neiro20208406133>
Shchurova I.N., Pronin I.N., Melnikova-Pitskhelauri T.V. et al. Orbital venous varices: modern diagnostic methods and differential diagnosis. *Burdenko's Journal of Neurosurgery = Zhurnal "Voprosy neurokhirurgii" imeni N.N. Burdenko*. 2020; 84 (6): 33–48. <http://doi.org/10.17116/neiro20208406133> (In Russian)
- Issiaka M., Jamaledine H., El Belhadji M. et al. Orbital varix: A rare case of unilateral exophthalmos, case report. *Ann Med Surg (Lond)*. 2021; 66: 102346. <http://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102346>



7. Cheung N., McNab A.A. Venous anatomy of the orbit. Orbital vascular anatomy. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 2003; 44 (3): 988–995. <https://doi.org/10.1167/iov.02-0865>
8. Lim L.H., Scawn R.L., Whipple K.M. et al. Spontaneous superior ophthalmic vein thrombosis: a rare entity with potentially devastating consequences. *Eye (Lond.)*. 2014; 28 (3): 348–351. <https://doi.org/10.1038/eye.2013.273>
9. Mooney M.A., Zabramski J.M. Developmental venous anomalies. *Handb. Clin. Neurol.* 2017; 143: 279–282. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63640-9.00026-6>
10. Blaniuk L.T. Orbital vascular lesions. Role of imaging. *Radiol. Clin. N. Am.* 1999; 37: 169–183. [https://doi.org/10.1016/S0033-8389\(05\)70085-3](https://doi.org/10.1016/S0033-8389(05)70085-3)
11. Wade R.G., Maddock T.B., Ananth S. Orbital varix thrombosis: a rare cause of unilateral proptosis. *BMJ Case Rep.* 2013; 2013: 2012007935. <https://doi.org/10.1136/bcr-2012-007935>
12. Золотухин И.А., Порембская О.Я., Сметанина М.А., Сажин А.В., Филипенко М.Л., Кириенко А.И. Варикозная болезнь: на пороге открытия причины? *Вестник РАМН*. 2020; 75 (1): 36–45. <https://doi.org/10.15690/vramn1213>
13. Потёмкин В.В., Агеева Е.В. Варикозное расширение вен орбиты. *Офтальмологические ведомости*. 2017; 10 (4): 61–63. <https://doi.org/10.17816/OV10461-63>
14. Darvishpour Kakhki T., Darvishpour Kakhki H., Azarkar G. A Female Patient with Intraorbital Varix: A Case Report. *Mod. Care J.* 2019; 16 (3): e89338. <https://doi.org/10.5812/modernc.89338>
15. Кринец Ж.М., Красильникова В.Л., Нечипоренко А.С. Алгоритм клинко-томографического стадирования экзофтальма у пациентов с дисфункцией щитовидной железы. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2021; 19 (6): 652–658. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2021-19-6-652-658>
16. Яценко О.Ю., Тюрин И.Е. Рентгеносемиотика эндокринной офтальмопатии. Часть 1. Экстраокулярные мышцы и орбитальная клетчатка. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016; 97 (3): 133–142. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2016-97-3-133-142>
17. Павлова Т.Л., Котова Г.А., Герасимов Г.А. Эндокринная офтальмопатия. *Проблемы эндокринологии*. 1998; 44 (2): 22–27. <https://doi.org/10.14341/probl199844222-27>
18. Bartalena L. Graves' Disease: Complications. [Updated 2018 Feb 20]. In: Feingold K.R., Anawalt B., Blackman M.R. et al., eds. *Endotext* [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK285551/>
19. Hmida B., Mnari W., Maatouk M. et al. Orbital varix: rare cause of blepharospasm. *PanAfr. Med. J.* 2019; 32: 147. <https://doi.org/10.11604/pamj.2019.32.147.14958>

Для корреспонденции*: Семенов Станислав Евгеньевич – тел. +7-923-515-69-21. E-mail: dr_semenov_s@mail.ru

Семенов Станислав Евгеньевич – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лучевых методов диагностики НИИ КПССЗ, Кемерово. <https://orcid.org/0000-0002-1827-606X>

Малков Иван Николаевич – клинический ординатор НИИ КПССЗ, Кемерово. <https://orcid.org/0000-0001-7943-9937>

Шатохина Мария Геннадьевна – канд. мед. наук, ассистент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-0485-4586>

Гаранина Нина Альбертовна – врач-офтальмолог ГАУЗ «Кузбасская областная клиническая больница им. С.В. Беляева», Кемерово. <https://orcid.org/0000-0002-2146-2242>

Молдавская Ирина Валерьевна – канд. мед. наук, руководитель регионального сосудистого центра, заведующая отделением неврологии ГБУЗ «Кемеровский областной клинический кардиологический диспансер им. академика Л.С. Барбараша», Кемерово. <https://orcid.org/0000-0002-0846-4200>

Коков Александр Николаевич – канд. мед. наук, заведующий лабораторией лучевых методов диагностики НИИ КПССЗ, Кемерово. <https://orcid.org/0000-0002-7573-0636>

Contact*: Stanislav E. Semenov – phone: +7-923-515-69-21. E-mail: dr_semenov_s@mail.ru

Stanislav E. Semenov – Doct. of Sci. (Med.), PhD, Leading Researcher, Laboratory of Radiologic Methods of Diagnostics, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo. <https://orcid.org/0000-0002-1827-606X>

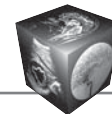
Ivan N. Malkov – Ordinator, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo. <https://orcid.org/0000-0001-7943-9937>

Maria G. Shatokhina – Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Radiology and Medical Imaging with the clinic of the Institute of Medical Education of the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-0485-4586>

Nina A. Garanina – ophthalmologist, Kuzbass Regional Clinical Hospital named after S.V. Belyaev, Kemerovo. <https://orcid.org/0000-0002-2146-2242>

Irina V. Moldavskaya – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Regional Vascular Center, Head of Neurology Department, Kuzbass Cardiology Centre, Kemerovo. <https://orcid.org/0000-0002-0846-4200>

Alexander N. Kokov – Cand. of Sci. (Med.), Head of Laboratory of Radiologic Methods of Diagnostics, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo. <https://orcid.org/0000-0002-7573-0636>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1374>

Функциональная магнитно-резонансная томография в состоянии покоя: анализ коннективности крупномасштабных сетей головного мозга

© Абдулаев Ш.К.^{1*}, Тарумов Д.А.¹, Богдановская А.С.²

¹ ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации; 194044 Санкт-Петербург, улица Академика Лебедева, 6, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова” Минздрава России; 191015 Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, Российская Федерация

Цель исследования: оценить возможности различных методов анализа функциональной интеграции крупномасштабных нейросетей головного мозга у здоровых испытуемых по данным функциональной МРТ в состоянии покоя.

Материал и методы. Функциональная МРТ в состоянии покоя выполнена 28 здоровым испытуемым мужского пола в возрасте $27,4 \pm 5,1$ года, без вредных привычек и черепно-мозговых травм. Проводилась функциональная оценка крупномасштабных нейросетей, входящих в тройную сетевую модель: сети пассивного режима работы, сети выявления значимости и сети исполнительного контроля.

Результаты. Анализ независимых компонентов в полной мере позволил выявить сеть пассивного режима работы и сеть выявления значимости, однако сеть исполнительного контроля была выявлена частично, и в основном это касалось структур, имеющих билатеральное расположение. Анализ графов определил структуры, имеющие наибольшую ценность для нейрофункциональных исследований. Практически все структуры, у которых отмечены максимальные показатели графов, относятся к сети исполнительного контроля. Результаты ROI-анализа показали взаимодействие между собой сети пассивного режима и сети исполнительного контроля, что свидетельствует об их совместной работе в обеспечении важных функций головного мозга. Также было определено, что у здоровых людей все структуры внутри крупномасштабных сетей функционально связаны между собой.

Заключение. Разные методы анализа данных функциональной МРТ в состоянии покоя выявляют различные аспекты связности в мозге, в обработке каждого метода задействованы совершенно разные принципы, а окончательные параметры количественного определения также меняются в зависимости от предпочтительного метода. В настоящее время не существует единого метода, который сам по себе считался бы стандартом анализа. Применение нескольких методов к одному и тому же набору данных может дать более информативные результаты.

Ключевые слова: функциональная МРТ в состоянии покоя; функциональная интеграция; нейросети

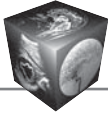
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Абдулаев Ш.К., Тарумов Д.А., Богдановская А.С. Функциональная магнитно-резонансная томография в состоянии покоя: анализ коннективности крупномасштабных сетей головного мозга. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 45–56. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1374>

Поступила в редакцию: 18.06.2023. **Принята к печати:** 16.11.2023. **Опубликована online:** 26.12.2023.

Resting state functional magnetic resonance imaging: an analysis of the connectivity of brain large-scale networks

© Shamil K. Abdulaev^{1*}, Dmitriy A. Tarumov¹, Anna S. Bogdanovskaya²



¹ S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia; 6, Academician Lebedev str., St. Petersburg 194044, Russian Federation

² I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University; 41, Kirochnaya str., 191015 St. Petersburg, Russian Federation

Objective: to assess the possibilities of various methods for analyzing the functional integration of large-scale brain neural networks in healthy subjects according to functional MRI resting state.

Material and methods. Functional MRI at rest was performed on 28 healthy male subjects aged 27.4 ± 5.1 years, without bad habits and craniocerebral injuries. A functional evaluation of large-scale neural networks included in the triple network model was carried out: default mode network, salience network, executive control network.

Results. The analysis of independent components made it possible to fully identify the default mode network and the salience network, however, the executive control network were partially identified, and this mainly concerned structures with a bilateral location. Graph analysis has identified structures of greatest value for neurofunctional research. Almost all structures that have the highest graph indicators are related to the executive control network. The results of the Roi-analysis showed the interaction between all large-scale networks, which indicates their joint work in providing important brain functions. It was also determined that in healthy people, all structures within large-scale networks are functionally interconnected.

Conclusion. Different methods of resting functional MRI data analysis reveal different aspects of connectivity in the brain, completely different principles are involved in the processing of each method, and the final quantification parameters also vary depending on the preferred method. Currently, there is no single method that in itself would be considered the standard of analysis. Applying multiple methods to the same dataset can produce more informative results.

Keywords: functional MRI resting state; functional integration; networks

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

For citation: Abdulaev Sh.K., Tarumov D.A., Bogdanovskaya A.S. Resting state functional magnetic resonance imaging: an analysis of the connectivity of brain large-scale networks. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 45–56. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1374>

Received: 18.06.2023.

Accepted for publication: 16.11.2023.

Published online: 26.12.2023.

Введение

Мозг контролирует все сложные функции в организме человека. Структурно мозг в целом разделен на различные области, специализирующиеся на обработке и передаче нервных сигналов. Работая сообща, эти узкоспециализированные области управляют сложными функциями и определяют поведение человека.

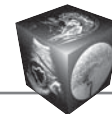
Исследования по моделированию человеческого мозга как сложной системы значительно расширились, поскольку нейробиологи стремятся понять механизмы, лежащие в основе познания, поведения и восприятия [1–4].

Анализ коннектомы головного мозга человека с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) начался в середине 1990-х годов и привлек большое внимание возможностью обнаружения нейронных основ психики и психических расстройств. фМРТ в состоянии покоя вошла в клиническую сферу после исследований В. Biswal по изучению функций моторной коры. Было установлено, что сигналы в состоянии покоя представляют собой последовательные низкочастотные колебания в диапазоне 0,01–0,08 Гц [5]. Методика фМРТ в состоянии покоя (rs-fMRI) имеет преимущества перед другими видами фМРТ благодаря простоте получения сигнала и необхо-

димости минимальных усилий со стороны пациентов [6]. Отсутствие стимульного материала делает фМРТ в состоянии покоя особенно важным для пациентов, у которых могут возникнуть трудности при выполнении задач или тестов.

Тем не менее программный анализ фМРТ в состоянии покоя является сложной задачей из-за огромного количества данных и необходимости сложного анализа. Прежде чем применять какой-либо из аналитических методов, важными этапами предварительной обработки являются перестройка и удаление искажающих артефактов (например, движения головы, сигнала цереброспинальной жидкости (ЦСЖ)).

Правильная интерпретация результатов фМРТ в состоянии покоя требует значительного уровня знаний в анатомии, патофизиологии и нейрофизиологии головного мозга. Аналитические подходы можно условно разделить на 2 типа: функциональную сегрегацию и функциональную интеграцию [7, 8]. Методы оценки функциональной сегрегации направлены на анализ активности сетей, тогда как методы оценки функциональной интеграции – на анализ связности нейросетей головного мозга. Однако поскольку мозг более правильно изучать как интегрированную сеть, а не изолированные кластеры, интерес к методам



оценки функциональной сегрегации постепенно уступает первенство методам оценки функциональной интеграции.

Связность может быть результатом прямого анатомического или непрямого соединения через промежуточную область или даже не иметь анатомических путей [9]. Функциональная связность – это связь между пространственными областями, установленная с помощью линейной временной корреляции между параметрами активности нейронов. Функциональная интеграция является основой передачи информации между различными областями мозга [8, 10]. Для оценки работы функциональной интеграции обычно используются такие методы, как анализ функциональной связности на основе зон интереса (ROI-анализ), анализ независимых компонентов (ICA) и анализ графов.

ROI-анализ был первым методом, принятым В. Biswal и соавт. для определения сетей в состоянии покоя [11]. По сути, анализ на основе зон интереса – это метод, основанный на модели, в которой мы можем выбрать интересующую область (ROI) и найти линейную корреляцию активности этой исходной области со всеми другими вокселями во всем мозге, тем самым получая карту функциональных связей. Сочетание активации между различными областями мозга указывает на то, что они вовлечены в один и тот же основной функциональный процесс и, таким образом, интерпретируются как функционально связанные. Эти области мозга могут не быть напрямую связаны нервными волокнами. Простота, легкая интерпретация и прямолинейность этого метода делают его наиболее предпочтительным методом анализа для оценки функциональных связей [12, 13].

ROI-анализ требует изначального определения зоны интереса, которое часто основано на гипотезах. Однако при изменении исходной области результаты анализа функциональной связности также будут меняться. Таким образом, недостатком ROI-анализа является его зависимость от выбора области головного мозга.

Анализ независимых компонентов способствует эффективному извлечению отдельных сетей за счет использования математических алгоритмов для разложения сигнала от вокселей всего мозга на пространственно- и временно-независимые компоненты [14, 15]. Каждая функциональная сеть (компонент) представляет собой независимую сеть нейронов с синхронизированной BOLD-активностью. Средний показатель “z” для каждой сети указывает на степень функциональной связности внутри сети. В отличие от ROI-анализа, который определяет функциональные связи областей, связанных с зоной интереса, анализ незави-

симых компонентов извлекает все обнаруживаемые сети головного мозга.

Анализ независимых компонентов представляет мозговые сети одну за другой и не показывает связи между областями или между различными сетями мозга [16]. Дополнительные проблемы заключаются в том, что одна сеть может быть разбита на подсети в зависимости от количества указанных независимых компонентов. Кроме того, поиск оптимального количества независимых компонентов является спорным, поскольку выбор небольшого количества компонентов может оказать значительное влияние на результаты [17]. При анализе данных многое зависит и от умения исследователя идентифицировать компоненты сети.

Недавние достижения в области методов нейровизуализации в сочетании с теоретико-графовыми подходами открыли новые возможности для изучения нейронных механизмов, лежащих в основе человеческого познания и поведения, с точки зрения межрегиональных взаимодействий мозга [18, 19]. Сетевой анализ на основе теории графов позволяет получить значимую информацию о топологической архитектуре сетей человеческого мозга, например о малом мире, модульной организации и тесно связанных или централизованных узлах [20, 21]. “Малый мир” – это свойство сетей, характерное для человеческого мозга, в которых большинство узлов не являются соседями друг другу, но до них можно добраться из любого другого узла за небольшое количество шагов [22]. Недавние исследования показывают, что свойство “малого мира” сетей мозга претерпевает топологические изменения при различных неврологических и психических расстройствах [23, 24]. Однако стоит отметить, что результаты теории графов трудны для интерпретации, в связи с чем данный метод не пользуется популярностью среди исследователей.

Цель исследования: оценить возможности различных методов анализа функциональной интеграции крупномасштабных сетей головного мозга у здоровых испытуемых по данным фМРТ в состоянии покоя.

Материал и методы

Исследование проведено на кафедре рентгенологии и радиологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. Обследовано 28 здоровых испытуемых мужского пола в возрасте $27,4 \pm 5,1$ года, без вредных привычек, черепно-мозговых травм, не употреблявших никаких лекарственных средств за последний месяц. Все испытуемые были проинформированы о проводимом исследовании в достаточной степени и подписали



информированное добровольное согласие. Исследование соответствовало всем положениям Хельсинкской декларации и было одобрено местным этическим комитетом.

фМРТ выполнялась на магнитно-резонансном томографе Philips Ingenia с силой индукции магнитного поля 1,5 Тл с использованием последовательности BOLD со следующими параметрами: TR – 3000 мс, TE – 50 мс, FA – 90°, FOV – 250 мм, разрешение матрицы – 128×128 пикселей, толщина среза – 4,0 мм; продолжительность 5 мин 40 с.

При сканировании пациенту давались указания не совершать даже самых минимальных движений и стараться не интенсифицировать и не актуализировать внутреннюю мыслительную деятельность, т.е. находиться в состоянии максимального “когнитивного расслабления”. При выполнении последовательностей фМРТ покоя пациент лежал в состоянии физического покоя без предъявления каких-либо зрительных стимулов.

Далее выполняли предобработку полученных данных с помощью статистического нейровизуализационного пакета CONN 21 (Functional Connectivity Toolbox). Целью предварительной обработки являлось максимальное устранение посторонних шумов и сигналов, которые накладываются на BOLD-сигнал, связанных с неоднородностью магнитного поля, физиологическими (дыхание и сердцебиение) и двигательными (движение головы, пульсация крупных артерий, ликвора) артефактами.

Стадия предобработки включала в себя несколько стадий, основные из которых:

1. Коррекция движения – применяется для выравнивания функциональных данных, где все сканы пересчитываются в эталонное изображение [25]. Эта процедура направлена на уменьшение влияния произвольных и непроизвольных движений головы на сигнал.

2. Коррекция изображений по времени – применяется для коррекции временной разницы между различными срезами за период сбора функциональных данных [26].

3. Идентификация выброса – направлена на удаление из массива данных колебаний сигнала во времени, предположительно связанных со структурированными шумами (например, движение головы, пульсация ЦСЖ).

4. Сегментация – используется для сегментации функциональных и анатомических данных на серое вещество, белое вещество и спинномозговую жидкость.

5. Пространственная нормализация – необходима для приведения функциональных и структурных данных в систему координат Монреальского неврологического института (MNI, англ.: Montreal

Neurological Institute). Для любой зоны активации определяются координаты, которые можно использовать для сравнения по группам испытуемых [27].

6. Функциональное (гауссовское) сглаживание – применяется, чтобы увеличить отношение сигнал/шум и уменьшить вариативность данных [28].

При применении анализа независимых компонентов визуально определялись интересующие сети в компонентах, что требует от исследователя знания структур, входящих в те или иные сети. После отбора необходимых независимых компонентов оценивались показатели: пиковое значение сигнала и частота временных рядов независимого компонента.

После анализа независимых компонентов оценивалась групповая корреляция на основе выбора зон интереса – ROI-анализ. С помощью анатомического атласа Harvard–Oxford, адаптированного для фМРТ, определялись зоны интереса. Для обработки данных был применен метод функционального сетевого подключения [29], в основе которого лежит параметрический анализ. На основе получаемых данных моделировалось графическое отображение функциональных связей между структурами головного мозга в виде коннектома и в формате 3D с указанием корреляции и интенсивности их взаимосвязи между собой.

Последним этапом проводилась оценка коннективности теорией графов. CONN 21a позволял вычислить следующие показатели: локальную и глобальную эффективность, среднюю длину пути, степень узла, коэффициент кластеризации и центральность узла. Глобальная эффективность и средняя длина пути указывают на интеграцию мозговых сетей. Локальная эффективность, коэффициент кластеризации и центральность дают представление о сегрегированной активности сетей. Центральность определяет ведущую роль узла в распространении информации в другие узлы в сети.

Проводилась функциональная оценка крупномасштабных нейросетей, входящих в тройную сетевую модель: сети пассивного режима работы (син. дефолтная сеть, или сеть по умолчанию, СПРР, DMN), сети выявления значимости (син. салиентная сеть, СВЗ, SN) и сети исполнительного контроля (син. фронтпариетальная сеть, СИК, CEN) [30, 31]. СПРР включает в себя медиальную префронтальную кору, заднюю поясную кору и нижние отделы теменной доли с двух сторон; СВЗ – переднюю поясную кору и островковые доли с двух сторон; СИК – дорсолатеральную префронтальную кору и заднюю теменную кору, расположенные билатерально [32–35]. Данные сети играют важную

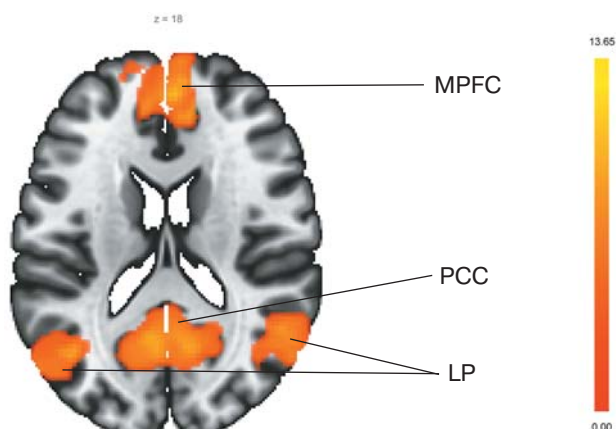
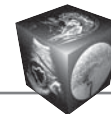


Рис. 1. Анализ независимых компонент: сеть пассивного режима работы. MPFC – медиальная префронтальная кора, PCC – задняя поясная кора, LP – нижняя теменная доля.

Fig. 1. Independent components of analysis: default mode network. MPFC – medial prefrontal cortex, PCC – posterior cingulate cortex, LP – lateral parietal cortex.

роль в функционировании головного мозга, и исследование их коннективности представляет большой интерес в современных исследованиях [36].

Результаты анализа на основе зон интереса представлялись в виде значений beta и T. Значение beta – представляет величину эффекта, т.е. средние значения корреляции (*Примечание:* в данной работе выбрана двумерная корреляция), преобразованные Фишером, в исследуемой группе, T-значение – статистика (одновыборочный t-тест, для сравнения среднего значения эффекта (beta) в выборке с 0). Значения коэффициентов корреляции при анализе графов преобразовывались в z-баллы (т.е. основанное на единичном нормальном распределении со средним, равным 0, и стандартным отклонением, равным 1). Beta и z-баллы являются безразмерными величинами, и в работе представлены в условных единицах. Уровень статистической значимости для всех методов анализа не превышал порог $p = 0,05$.

Результаты

Анализ независимых компонент позволил выявить крупномасштабные сети тройной сетевой модели, однако не все сети были выявлены в полном объеме. Все структуры в независимом компоненте были выявлены у СПРР: медиальная префронтальная кора, задняя поясная кора, нижние височные доли с двух сторон, и у СВЗ: передняя поясная кора и островок с двух сторон (рис. 1, 2). Степень функциональной связности СПРР доходила до 13,65 усл. ед., а у СВЗ – до 24,64 усл. ед. ($p < 0,005$).

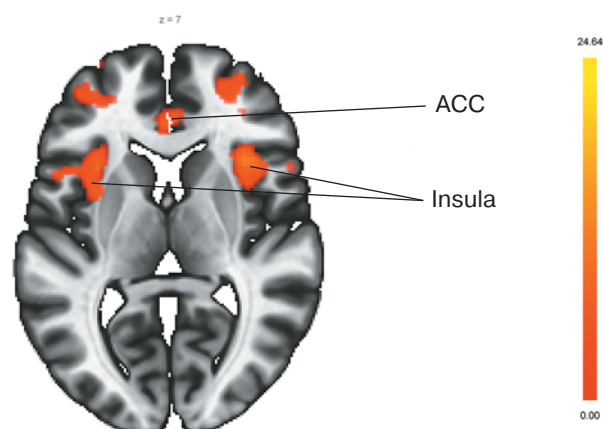


Рис. 2. Анализ независимых компонент: сеть выявления значимости. ACC – передняя поясная кора, Insula – островок.

Fig. 2. Independent components of analysis: salience network. ACC – anterior cingulate cortex.

Структуры СИК при анализе независимых компонент определялись только в левом полушарии: задняя теменная кора и дорсолатеральная префронтальная кора (рис. 3). В этих же структурах с противоположной стороны функциональные связи отсутствовали. В других компонентах сигнал от структур СИК был еще слабее или вовсе отсутствовал. Степень коннективности СИК доходила до 13,13 усл. ед. ($p < 0,005$). Частота временных рядов всех вышеописанных независимых компонент составляла 0,05 Гц.

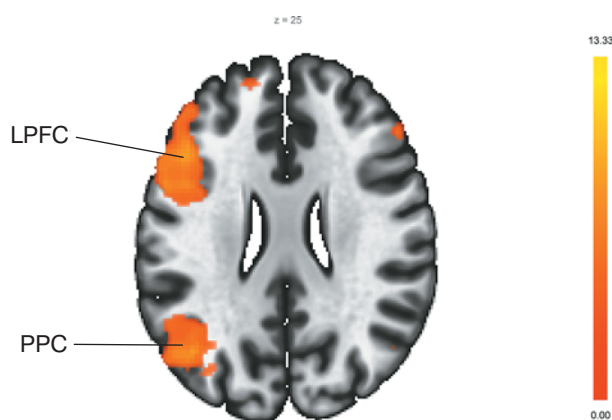
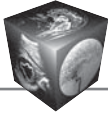


Рис. 3. Анализ независимых компонент: сеть исполнительного контроля. PPC – задняя теменная кора, LPFC – дорсолатеральная префронтальная кора.

Fig. 3. Independent components of analysis: executive control network. PPC – posterior parietal cortex, LPFC – dorsolateral prefrontal cortex.



При реконструкции функциональных связей с использованием теории графов были получены следующие характеристики (табл. 1, рис. 4). Левая задняя теменная кора имела наибольшие значения глобальной эффективности, коэффициента кластеризации и степени узла, а правая задняя теменная кора – локальной эффективности. Высокие показатели центральности узла от-

мечены в правой дорсолатеральной префронтальной коре. Все структуры, у которых отмечены вышеперечисленные максимальные показатели графов, относятся к СИК. Несмотря на низкие показатели графов в остальных сетях, максимальные значения средней длины пути определялись в структуре СПРР – левой нижней теменной доле.

Таблица 1. Показатели графов крупномасштабных сетей покоя
Table 1. Graph indicators of large-scale rest networks

Сети покоя Rest network	Области головного мозга Brain structures	Глобальная эффективность Global effect	Локальная эффективность Local effect	Средняя длина пути Average path length	Степень узла Degree	Центральность Betwensness centrality	Коэффициент кластеризации Clustering coefficient
СПРР DMN	Медиальная префронтальная кора Medial prefrontal cortex	10.42	7.10	16.46	7.30	3.30	6.65
	Задняя поясная кора posterior cingulate cortex	17.10	12.15	15.35	9.29	2.50	10.71
	Левая нижняя теменная доля Parietal lobule left	20.32	15.68	28.55	13.89	3.14	11.79
	Правая нижняя теменная доля Parietal lobule right	22.26	14.14	16.62	12.45	2.74	11.74
СВЗ SN	Передняя поясная кора Anterior cingulate cortex	20.55	6.19	16.51	13.60	2.54	5.88
	Левый островок Insula left	12.71	7.95	13.58	8.68	2.65	7.05
	Правый островок Insula right	13.51	10.60	13.40	10.80	2.54	9.56
СИК CEN	Левая задняя теменная кора Posterior parietal cortex left	27.64	15.21	17.53	19.15	–	12.12
	Правая задняя теменная кора Posterior parietal cortex right	23.40	20.51	14.69	14.25	3.12	11.83
	Левая дорсолатеральная префронтальная кора Dorsolateral prefrontal cortex left	26.07	10.53	16.82	12.66	3.20	9.28
	Правая дорсолатеральная префронтальная кора Dorsolateral prefrontal cortex right	26.57	10.44	18.15	13.08	3.56	7.97

Примечание. $p < 0,05$. Полужирным шрифтом выделены максимальные значения.
 Note. $p < 0.05$. The maximum values are highlighted in bold.

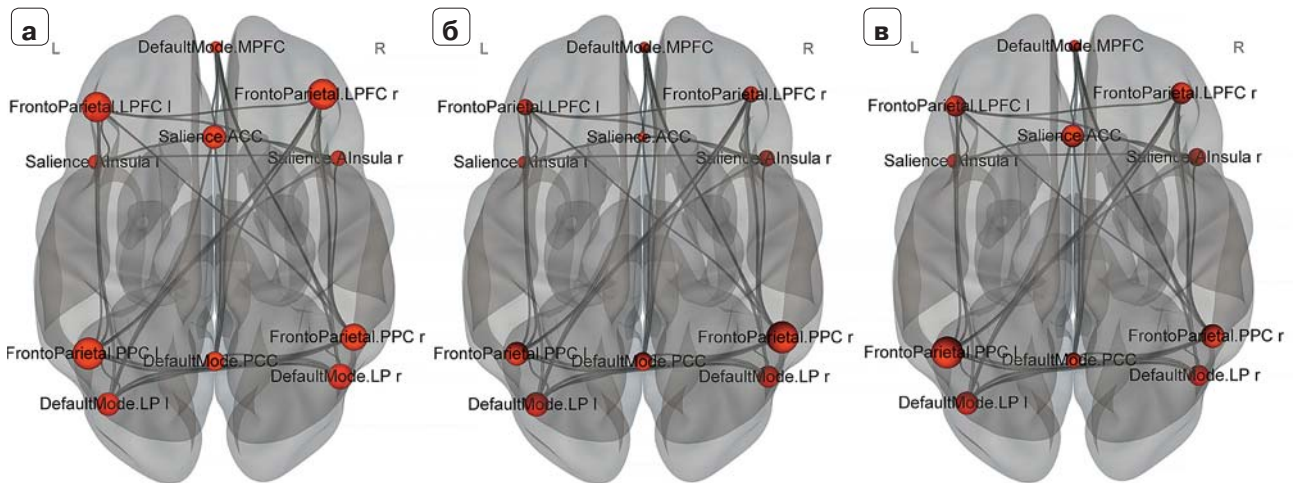


Рис. 4. Анализ графов крупномасштабных сетей покоя. **а** – глобальная эффективность; **б** – локальная эффективность; **в** – степень узла. Default Mode – сеть пассивного режима работы, Saliency – сеть выявления значимости, FrontoParietal – сеть исполнительного контроля, MPFC – медиальная префронтальная кора, PCC – задняя поясная кора, ACC – передняя поясная кора, AInsula – островок, PPC – задняя теменная кора, LPFC – дорсолатеральная префронтальная кора, r (right) – правая сторона, l (left) – левая сторона.

Fig. 4. Graph analysis of large-scale rest networks. **a** – global efficiency; **б** – local efficiency; **в** – degree. Default Mode – default mode network, Saliency – Saliency network, FrontoParietal – executive control network, MPFC – medial prefrontal cortex, PCC – posterior cingulate cortex, ACC – anterior cingulate cortex, AInsula – insula, PPC – posterior parietal cortex, LPFC – dorsolateral prefrontal cortex, r – right, l – left.

С помощью анализа на основе зон интереса были проанализированы функциональные связи между структурами, входящими в состав крупномасштабных сетей головного мозга. По результатам ROI-анализа достоверных межсетевых связей между СВЗ-СППР и СВЗ-СИК не выявлено ($p > 0,05$). Внутрисетевые связи в СВЗ отмечались между всеми структурами сети, при этом сила связей наиболее выражена между островками обоих по-

лушарий, чем этих же структур с передней поясной корой (рис. 5).

Далее производилась оценка функциональной коннективности между сетью пассивного режима работы и сетью исполнительного контроля. Структуры данных сетей, расположенные в теменных долях, имели функциональные связи между собой, а интенсивность связей была более выражена в пределах одного полушария. Кроме того,

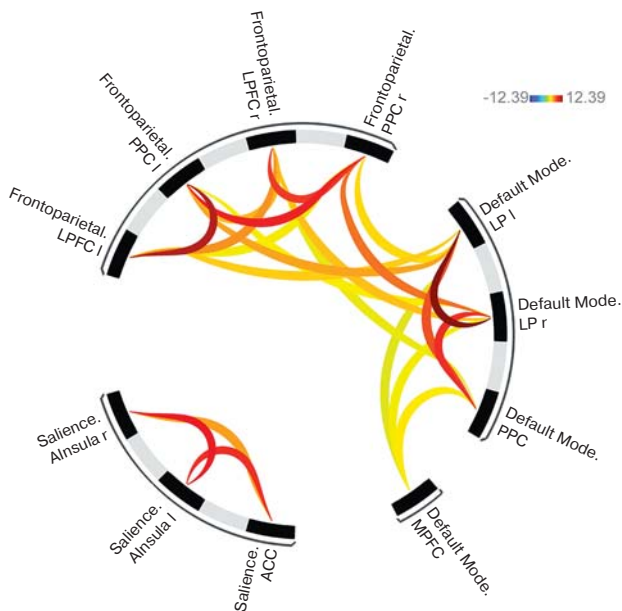


Рис. 5. Коннектометрическое изображение функциональных связей между структурами крупномасштабных сетей покоя головного мозга.

Default Mode – сеть пассивного режима работы, Saliency – сеть выявления значимости, FrontoParietal – сеть исполнительного контроля, MPFC – медиальная префронтальная кора, PCC – задняя поясная кора, LP – нижняя теменная доля, ACC – передняя поясная кора, AInsula – островок, PPC – задняя теменная кора, LPFC – дорсолатеральная префронтальная кора, r (right) – правая сторона, l (left) – левая сторона.

Fig. 5. Connectom of functional connections between the structures of large-scale rest networks of the brain. Default Mode – default mode network, Saliency – Saliency network, FrontoParietal – executive control network, MPFC – medial prefrontal cortex, PCC – posterior cingulate cortex, LP – parietal lobule, ACC – anterior cingulate cortex, AInsula – insula, PPC – posterior parietal cortex, LPFC – dorsolateral prefrontal cortex, r – right, l – left.

**Таблица 2.** Функциональные связи между структурами сети пассивного режима работы и сети исполнительного контроля головного мозга**Table 2.** Functional connections between the structures of the default mode network and the executive control network

Зоны интереса сети пассивного режима работы и сети исполнительного контроля Region of interest the default mode network and the executive control network	Beta	T	p
Правая нижняя теменная доля – Левая задняя теменная кора Parietal lobule right – Posterior parietal cortex left	0.13	3.09	0.009
Правая нижняя теменная доля – Правая дорсолатеральная префронтальная кора Parietal lobule right – Dorsolateral prefrontal cortex right	0.23	4.74	<0.001
Правая нижняя теменная доля – Правая задняя теменная кора Parietal lobule right – Posterior parietal cortex right	0.29	6.28	<0.001
Левая нижняя теменная доля – Левая задняя теменная кора Parietal lobule left – Posterior parietal cortex left	0.36	5.37	<0.001
Левая нижняя теменная доля – Правая задняя теменная кора Parietal lobule left – Posterior parietal cortex right	0.22	4.16	<0.001
Левая нижняя теменная доля – Левая дорсолатеральная префронтальная кора Parietal lobule left – Dorsolateral prefrontal cortex left	0.33	4.42	<0.001
Задняя поясная кора – Правая дорсолатеральная префронтальная кора Posterior cingulate cortex – Dorsolateral prefrontal cortex right	0.13	2.75	0.017

Примечание. beta – величина эффекта, T – t-статистика, p – уровень значимости.
Note. Beta – effect size, T – t-statistic, p – value.

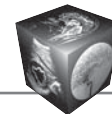
в пределах своего полушария выявлена коннективность нижней теменной доли (СПРР) с дорсолатеральной префронтальной корой (СИК). Также отмечена связь между задней поясной корой (СПРР) и правой дорсолатеральной префронтальной корой (СИК). Статистически значимых связей медиальной префронтальной коры (СПРР) со структурами СИК не обнаружено ($p > 0,05$). При внутрисетевом анализе СПРР и СИК функциональные связи выявлены у всех структур. Все связи как внутри сетей, так и между ними имели положительную корреляцию (табл. 2). Коннектометрическое изображение функциональных связей представлено на рис. 5.

Обсуждение

Наши результаты показали, что методы оценки функциональной интеграции фМРТ в состоянии покоя позволяют выявить функциональные связи между сетями покоя. Анализ независимых компонентов в полной мере позволил выявить сеть пассивного режима работы и сеть выявления значимости, однако сеть исполнительного контроля была выявлена частично, и в основном это касалось структур, имеющих билатеральное располо-

жение. Частота сигнала всех исследованных компонентов соответствовала значениям, описанным в литературе от 0,01и до 0,08 Гц.

Анализ графов определил структуры, имеющие наибольшую ценность для нейрофункциональных исследований. Высокий показатель глобальной эффективности левой задней теменной коры и низкий показатель средней длины пути правого островка указывают, что данные структуры способны в большей степени распространять информацию за пределами своей сети на глобальном уровне. Левая задняя теменная кора играет наибольшую роль в потоке информации в своей сети, о чем свидетельствуют значения коэффициента кластеризации и степени узла. Показатель локальной эффективности, значение которой оказалось максимальным у правой задней теменной коры, указывает на высокий уровень локальной связности. Нельзя установить, какие меры графов больше подходят для изучения нейросетей [37], но, учитывая сложную структуру человеческого мозга, алгоритмы, которые могут оценивать свойства “малого мира” сети мозга (коэффициент кластеризации и средняя длина пути), имеют наибольшее прогностическое значение [38].



Результаты ROI-анализа показали взаимодействие между собой СПРР и СИК, что свидетельствует об их совместной работе в обеспечении важных функций головного мозга. Однако не все структуры участвуют в функциональных связях, в особенности это касается медиальной префронтальной коры (СВЗ). Стоит отметить, что положительная корреляция СИК и СПРР, выявленная в нашем исследовании, не соответствует литературным данным, утверждающим об антикоррелированности этих сетей в норме [39].

Заключение

Нами была выполнена попытка сравнения различных методик обсчета и анализа нейрофункциональных данных, получаемых при фМРТ головного мозга в состоянии покоя здоровых обследуемых. Было показано, что фМРТ в состоянии покоя является перспективным методом нейровизуализации, который играет огромную роль в анализе характеристик функциональных связей мозга в норме и патологии. На сегодняшний день существует несколько различных подходов и методов анализа данных фМРТ в состоянии покоя, и количество доступных методов постоянно расширяется. Поскольку разные методы анализа выявляют различные аспекты связности в мозге, в обработке каждого метода задействованы совершенно разные принципы, а окончательные параметры количественного определения также меняются в зависимости от предпочтительного метода. В настоящее время не существует единого метода, который сам по себе считался бы стандартом анализа. Различные методы анализа дополняют друг друга и применение нескольких методов к одному и тому же набору данных может дать более информативные результаты. Лучшее понимание алгоритмов обработки данных фМРТ полезно для интерпретации общих и расходящихся результатов, описанных в научной литературе.

Участие авторов

Абдулаев Ш.К. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Тарумов Д.А. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Богдановская А.С. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, подготовка и редакти-

рование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

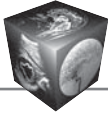
Abdulaev Sh.K. – concept and design of the study, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Tarumov D.A. – concept and design of the study, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

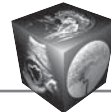
Bogdanovskaya A.S. – concept and design of the study, collection and analysis of data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы

1. Craddock R.C., Jbabdi S., Yan C.G. et al. Imaging human connectomes at the macroscale. *Nat Methods*. 2013; 10: 524–539. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2482>
2. Bergmann E., Gofman X., Kavushansky A., Kahn I. Individual Variability in Functional Connectivity Architecture of the Mouse Brain. *Commun. Biol.* 2020; 3: 738. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01472-5>
3. Park H.J., Friston K. Structural and functional brain networks: from connections to cognition. *Science*. 2013; 342: 1238411. <https://doi.org/10.1126/science.1238411>
4. Тарумов Д.А., Абдулаев Ш.К., Труфанов А.Г., Ушаков В.Л., Шамрей В.К., Железняк И.С., Ипатов В.В., Романов Г.Г., Ковалишин И.М. Возможности функциональной магнитно-резонансной томографии покоя в оценке функционального состояния головного мозга у пациентов, страдающих опиоидной наркоманией. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2018; 3 (63): 72–79.
5. Biswal B. Resting state fMRI: a personal history. *Neuroimage*. 2012; 62 (2): 938–944. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.090>
6. Soddu A., Vanhaudenhuyse A., Demertzi A. et al. Resting state activity in patients with disorders of consciousness. *Funct. Neurol.* 2011; 26: 37–43.
7. Liu Y., Gao J.H., Liotti M. et al. Temporal dissociation of parallel processing in the human subcortical outputs. *Nature*. 1999; 400: 364–367. <https://doi.org/10.1038/22547>
8. Tononi G., Sporns O., Edelman G.M. A measure for brain complexity: relating functional segregation and integration in the nervous system. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1994; 91: 5033–5037 <https://doi.org/10.1073/pnas.91.11.5033>
9. Lanting C.P., de Kleine E., Langers D.R., van Dijk P. Unilateral tinnitus: changes in connectivity and response lateralization measured with fMRI. *PLoS One*. 2014; 9: 110704. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110704>
10. Friston K.J. Modalities, modes, and models in functional neuroimaging. *Science*. 2009; 326: 399–403. <https://doi.org/10.1126/science.1174521>
11. Biswal B., Yetkin F.Z., Haughton V.M., Hyde J.S. Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain



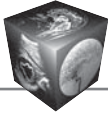
- using echo-planar MRI. *Magn. Reson. Med.* 1995; 34: 537–541. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910340409>
12. Van den Heuvel M.P., Hulshoff Pol H.E. Exploring the brain network: a review on resting-state fMRI functional connectivity. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 2010; 20: 519–534. <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2010.03.008>
 13. Li K., Guo L., Nie J., Li G., Liu T. Review of methods for functional brain connectivity detection using fMRI. *Comput. Med. Imaging Graph.* 2009; 33: 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2008.10.011>
 14. Van de Ven V.G., Formisano E., Prvulovic D. Functional connectivity as revealed by spatial independent component analysis of fMRI measurements during rest. *Hum. Brain. Mapp.* 2004; 22: 165–178. <https://doi.org/10.1002/hbm.20022>
 15. Beckmann C.F., DeLuca M., Devlin J.T., Smith S.M. Investigations into resting-state connectivity using independent component analysis. *Philos. Trans. R. Soc. Lond B. Bio. I Sci.* 2005; 360 (1457): 1001–1013. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1634>
 16. Bertolero M.A., Yeo B.T., D'Esposito M. The modular and integrative functional architecture of the human brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2015; 112 (49): 6798–6807. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510619112>
 17. Ma L., Wang B., Chen X., Xiong J. Detecting functional connectivity in the resting brain: a comparison between ICA and CCA. *Magn. Reson. Imaging.* 2007; 25 (1): 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2006.09.032>
 18. Kriegeskorte N., Douglas P.K. Cognitive computational neuroscience. *Nat. Neurosci.* 2018; 21: 1148–1160. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0210-5>
 19. Petersen S.E., Sporns O. Brain networks and cognitive architectures. *Neuron.* 2015; 88 (1): 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.027>
 20. Bullmore E.T., Bassett D.S. Brain graphs: graphical models of the human brain connectome. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* 2011; 7: 113–140. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-040510-143934>
 21. Van den Heuvel M.P., Sporns O. Network hubs in the human brain. *Trends Cogn. Sci.* 2013; 17 (12): 683–696. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.09>
 22. Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature.* 1998; 393 (6684): 440–442. <https://doi.org/10.1038/30918>
 23. Fleischer V., Radetz A., Ciolac D. et al. Graph theoretical framework of brain networks in multiple sclerosis: a review of concepts. *Neuroscience.* 2017; 403: 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.033>
 24. Miri Ashtiani S.N., Daliri M.R., Behnam H. et al. Altered topological properties of brain networks in the early MS patients revealed by cognitive task-related fMRI and graph theory. *Biomed. Signal. Process. Control.* 2018; 40: 385–395. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2017.10.006>
 25. Andersson J.L.R., Hutton C., Ashburner J. et al. Modelling geometric deformations in EPI time series. *NeuroImage.* 2001; 13: 90–919. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0746>
 26. Кремнева Е.И., Сеницын Д.О., Добрынина Л.А., Суслина А.Д., Кротенкова М.В. Функциональная МРТ покоя в неврологии и психиатрии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2022; 122 (2): 5–14. <https://doi.org/10.17116/jnevro20221220215>
 27. Ashburner J., Friston K.J. Unified segmentation. *NeuroImage.* 2005; 26 (3): 839–851. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.018>
 28. Janine B., Smith St.M., Beckmann Ch.F. An introduction to resting state fMRI functional connectivity. Oxford University Press, 2017. 152 p. ISBN: 9780198808220
 29. Jafri M.J., Pearlson G.D., Stevens M., Calhoun V.D. A method for functional network connectivity among spatially independent resting-state components in schizophrenia. *NeuroImage.* 2008; 39 (4): 1666–1681. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.11.001>
 30. Suk J., Hwang S., Cheong S. Functional and Structural Alteration of Default Mode, Executive Control, and Salience Networks in Alcohol Use Disorder. *Front Psychiatry.* 2021; 12: 742228. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.742228>
 31. Menon V. Towards a new model of understanding – The triple network, psychopathology and the structure of the mind. *Med. Hypotheses.* 2019; 133: 109385. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.109385>
 32. Буккиева Т.А., Поспелова М.Л., Ефимцев А.Ю., Фионик О.В., Алексеева Т.М., Самочерных К.А., Горбунова Е.А., Красникова В.В., Маханова А.М., Левчук А.Г., Труфанов Г.Е. Функциональная МРТ в оценке изменений коннектома головного мозга у пациенток с постмастэктомическим синдромом. *Лучевая диагностика и терапия.* 2021; 4 (12): 41–49. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-4-41-49>
 33. Гребенщикова Р.В., Ананьева Н.И., Пичиков А.А., Исхаков Д.Н., Лукина Л.В. Функциональная связанность структур головного мозга у больных нервной анорексией по данным фМРТ состояния покоя: проспективное исследование. *Лучевая диагностика и терапия.* 2023; 1 (14): 26–36. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-1-26-36>
 34. Ублinsky M.B., Семенова Н.А., Манжурцев А.В., Меньшиков П.Е., Яковлев А.Н., Ахадов Т.А. Исследование нарушений функциональных связей между сетью пассивного режима работы мозга и структурами мозжечка у пациентов с легкой черепно-мозговой травмой в острой стадии по данным фМРТ состояния покоя. *Медицинская визуализация.* 2020; 24 (2): 131–137. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-131-137>
 35. Добрынина Л.А., Гаджиева З.Ш., Морозова С.Н., Кремнева Е.И., Кротенкова М.В., Кашина Е.М., Поддубская А.А. Управляющие функции мозга: функциональная магнитно-резонансная томография с использованием теста Струпа и теста серийного счета про себя у здоровых. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2018; 118 (11): 64–71. <https://doi.org/10.17116/jnevro201811811164>
 36. Буккиева Т.А., Чегина Д.С., Ефимцев А.Ю., Левчук А.Г., Исхаков Д.К., Соколов А.В., Фокин В.А., Труфанов Г.Е. Функциональная МРТ покоя. Общие вопросы и клиническое применение. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2019; 9 (2): 150–170. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-150-170>
 37. Bullmore E., Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nat. Rev. Neurosci.* 2009; 10 (3): 186–198. <https://doi.org/10.1038/nrn2575>



38. Liao X., Vasilakos A.V., He Y. Small-world human brain networks: perspectives and challenges. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2017; 77: 286–300. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.03.018>
39. Nekovarova T., Fajnerova I., Horacek J., Spaniel F. Bridging disparate symptoms of schizophrenia: a triple network dysfunction theory. *Front Behav Neurosci.* 2014; 8: 171. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00171>

References

- Craddock R.C., Jbabdi S., Yan C.G. et al. Imaging human connectomes at the macroscale. *Nat Methods.* 2013; 10: 524–539. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2482>
- Bergmann E., Gofman X., Kavushansky A., Kahn I. Individual Variability in Functional Connectivity Architecture of the Mouse Brain. *Commun. Biol.* 2020; 3: 738. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01472-5>
- Park H.J., Friston K. Structural and functional brain networks: from connections to cognition. *Science.* 2013; 342: 1238411. <https://doi.org/10.1126/science.1238411>
- Tarumov D.A., Abdulaev Sh.K., Trufanov A.G. et al. Functional magnetic resonance imaging tomography in assessing the functional state of the brain in patients with opioid addiction. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2018; 3 (63): 72–79. (In Russian)
- Biswal B. Resting state fMRI: a personal history. *Neuroimage.* 2012; 62 (2): 938–944. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.090>
- Soddu A., Vanhaudenhuyse A., Demertzi A. et al. Resting state activity in patients with disorders of consciousness. *Funct. Neurol.* 2011; 26: 37–43.
- Liu Y., Gao J.H., Liotti M. et al. Temporal dissociation of parallel processing in the human subcortical outputs. *Nature.* 1999; 400: 364–367. <https://doi.org/10.1038/22547>
- Tononi G., Sporns O., Edelman G.M. A measure for brain complexity: relating functional segregation and integration in the nervous system. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1994; 91: 5033–5037 <https://doi.org/10.1073/pnas.91.11.5033>
- Lanting C.P., de Kleine E., Langers D.R., van Dijk P. Unilateral tinnitus: changes in connectivity and response lateralization measured with fMRI. *PLoS One.* 2014; 9: 110704. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110704>
- Friston K.J. Modalities, modes, and models in functional neuroimaging. *Science.* 2009; 326: 399–403. <https://doi.org/10.1126/science.1174521>
- Biswal B., Yetkin F.Z., Haughton V.M., Hyde J.S. Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. *Magn. Reson. Med.* 1995; 34: 537–541. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910340409>
- Van den Heuvel M.P., Hulshoff Pol H.E. Exploring the brain network: a review on resting-state fMRI functional connectivity. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 2010; 20: 519–534. <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2010.03.008>
- Li K., Guo L., Nie J., Li G., Liu T. Review of methods for functional brain connectivity detection using fMRI. *Comput. Med. Imaging Graph.* 2009; 33: 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2008.10.011>
- Van de Ven V.G., Formisano E., Prvulovic D. Functional connectivity as revealed by spatial independent component analysis of fMRI measurements during rest. *Hum. Brain. Mapp.* 2004; 22: 165–178. <https://doi.org/10.1002/hbm.20022>
- Beckmann C.F., DeLuca M., Devlin J.T., Smith S.M. Investigations into resting-state connectivity using independent component analysis. *Philos. Trans. R. Soc. Lond B. Bio./Sci.* 2005; 360 (1457): 1001–1013. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1634>
- Bertolero M.A., Yeo B.T., D'Esposito M. The modular and integrative functional architecture of the human brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2015; 112 (49): 6798–6807. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510619112>
- Ma L., Wang B., Chen X., Xiong J. Detecting functional connectivity in the resting brain: a comparison between ICA and CCA. *Magn. Reson. Imaging.* 2007; 25 (1): 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2006.09.032>
- Kriegeskorte N., Douglas P.K. Cognitive computational neuroscience. *Nat. Neurosci.* 2018; 21: 1148–1160. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0210-5>
- Petersen S.E., Sporns O. Brain networks and cognitive architectures. *Neuron.* 2015; 88 (1): 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.027>
- Bullmore E.T., Bassett D.S. Brain graphs: graphical models of the human brain connectome. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* 2011; 7: 113–140. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-040510-143934>
- Van den Heuvel M.P., Sporns O. Network hubs in the human brain. *Trends Cogn. Sci.* 2013; 17 (12): 683–696. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.09>
- Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature.* 1998; 393 (6684): 440–442. <https://doi.org/10.1038/30918>
- Fleischer V., Radetz A., Ciolac D. et al. Graph theoretical framework of brain networks in multiple sclerosis: a review of concepts. *Neuroscience.* 2017; 403: 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.033>
- Miri Ashtiani S.N., Daliri M.R., Behnam H. et al. Altered topological properties of brain networks in the early MS patients revealed by cognitive task-related fMRI and graph theory. *Biomed. Signal. Process. Control.* 2018; 40: 385–395. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2017.10.006>
- Andersson J.L.R., Hutton C., Ashburner J. et al. Modelling geometric deformations in EPI time series. *NeuroImage.* 2001; 13: 90–919. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0746>
- Kremneva E.I., Sinitsyn D.O., Dobrynya L.A. et al. Resting state functional MRI in neurology and psychiatry. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2022; 122(2):5–14. <https://doi.org/10.17116/jnevro20221220215> (In Russian)
- Ashburner J., Friston K.J. Unified segmentation. *NeuroImage.* 2005; 26 (3): 839–851. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.018>
- Janine B., Smith St.M., Beckmann Ch.F. An introduction to resting state fMRI functional connectivity. Oxford University Press, 2017. 152 p. ISBN: 9780198808220
- Jafri M.J., Pearlson G.D., Stevens M., Calhoun V.D. A method for functional network connectivity among spatially independent resting-state components in schizophrenia. *Neuroimage.* 2008; 39 (4): 1666–1681. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.11.001>
- Suk J., Hwang S., Cheong S. Functional and Structural Alteration of Default Mode, Executive Control, and Salience Networks in Alcohol Use Disorder. *Front Psychiatry.* 2021; 12: 742228. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.742228>
- Menon B. Towards a new model of understanding – The triple network, psychopathology and the structure of the



- mind. *Med. Hypotheses*. 2019; 133: 109385. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.109385>
32. Bukkieva T.A., Pospelova M.L., Efimtsev A.Yu. et al. Functional MRI in the assessment of changes in the brain connectome in patients with post-mastectomy syndrome. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2021; 4 (12): 41–49. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-4-41-49> (In Russian)
33. Grebenshchikova R.V., Ananyeva N.I., Pichikov A.A. et al. Functional connectivity of brain structures in patients with anorexia nervosa based on resting state fMRI: prospective study. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023; 1 (14): 26–36. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-1-26-36> (In Russian)
34. Ublinskiy M.V., Semenova N.A., Manzhurtsev A.V. et al. Dysfunction of cerebellum functional connectivity between default mode network and cerebellar structures in patients with mild traumatic brain injury in acute stage. rsfMRI study. *Medical Visualization*. 2020; 24 (2): 131–137. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-131-137> (In Russian)
35. Dobrynina L.A., Gadzhieva Z.Sh., Morozova S.N. et al. Executive functions: fMRI of healthy volunteers during Stroop test and the serial count test. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2018; 118 (11): 64–71. <https://doi.org/10.17116/jnevro201811811164> (In Russian)
36. Bukkieva T.A., Chegina D.S., Efimtsev A.Yu. et al. Resting state functional MRI. General issues and clinical application. *REJR*. 2019; 9 (2): 150–170. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-150-170> (In Russian)
37. Bullmore E., Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nat. Rev. Neurosci*. 2009; 10 (3): 186–198. <https://doi.org/10.1038/nrn2575>
38. Liao X., Vasilakos A.V., He Y. Small-world human brain networks: perspectives and challenges. *Neurosci. Biobehav. Rev*. 2017; 77: 286–300. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.03.018>
39. Nekovarova T., Fajnerova I., Horacek J., Spaniel F. Bridging disparate symptoms of schizophrenia: a triple network dysfunction theory. *Front Behav Neurosci*. 2014; 8: 171. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00171>

Для корреспонденции*: Абдулаев Шамиль Казимагомедович – e-mail: a.shamil94@gmail.com

Абдулаев Шамиль Казимагомедович – научный сотрудник ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-5126-4212>

Тарумов Дмитрий Андреевич – доктор мед. наук, преподаватель первой кафедры терапии усовершенствования врачей ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-9874-5523>

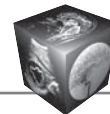
Богдановская Анна Сергеевна – ординатор кафедры психиатрии и наркологии ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0002-2656-9070>

Contact*: Shamil K. Abdulaev – e-mail: a.shamil94@gmail.com

Shamil K. Abdulaev – researcher of S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-5126-4212>

Dmitriy A. Tarumov– Doct. of Sci. (Med.), Lecturer of the 1st Department (Advanced therapy for doctors), Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-9874-5523>

Anna S. Bogdanovskaya – Resident, Department of Psychiatry and Narcology, I.I. Mechnikov North-Western State Medical University St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0002-2656-9070>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1411>

КТ-перфузия в диагностике злокачественных образований ротоглотки и мониторинге химиолучевого лечения

© Головахина А.В.^{1*}, Солодкий В.А.², Нуднов Н.В.²

¹ ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая онкологическая больница №1 ДЗ города Москвы”;
105005 Москва, ул. Бауманская, д. 17/1, Российская Федерация

² ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86,
Российская Федерация

Цель исследования: определить эффективность метода КТ-перфузии в диагностике плоскоклеточного рака ротоглотки и в оценке динамических изменений в пораженной области после химиолучевого лечения.

Материал и методы. Проанализированы результаты КТ-перфузии и КТ с внутривенным контрастированием у 27 пациентов в возрасте от 40 до 76 лет, которые были подразделены на 3 группы: 1-я (контрольная) группа пациентов с подозрением на наличие опухоли ротоглотки – 9 (33,4%) человек; 2-я группа первичных (нелеченых) пациентов – 8 (29,6%) человек с верифицированным диагнозом плоскоклеточного рака; 3-я группа пациентов с данным диагнозом только после химиолучевого лечения – 10 (37,0%) человек.

Результаты. Разработан собственный алгоритм КТ-перфузии области ротоглотки. Определены цифровые показатели, характеризующие наличие опухолевой ткани в тканях ротоглотки: артериальный кровоток (AF) и объем кровенаполнения (BV). При изучении показателей КТ-перфузии было установлено следующее: в группе нелеченых больных, в отличие от контрольной группы пациентов, статистически значимо были повышены значения эквивалентного объема кровенаполнения (BV) и скорость артериального кровотока (AF), тогда как у больных после химиолучевого лечения по сравнению с группой нелеченых пациентов показатели КТ-перфузии были статистически значимо снижены по следующим параметрам: эквивалентный объем кровенаполнения (BV) и скорость артериального кровотока (AF). Анализ результатов КТ-перфузии у пациентов после химиолучевого лечения выявил почти полное восстановление показателей тканевой перфузии по показателям AF и BV относительно показателей перфузии у пациентов контрольной группы. Показатель проницаемости сосудов (FE) имеет лишь второстепенное значение в выявлении опухолевого процесса.

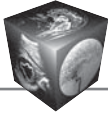
Заключение. Результаты нашего исследования свидетельствуют о диагностической эффективности метода КТ-перфузии в выявлении рака ротоглотки и в оценке соответствующих изменений в зоне поражения, возникающих после химиолучевого лечения. Изменения параметров КТ-перфузии взаимосвязаны с микроциркуляцией в зоне опухоли, что подтверждается статистически значимым снижением показателей BV и AF после проведенного химиолучевого лечения.

Ключевые слова: КТ-перфузия; рак ротоглотки; плоскоклеточная карцинома

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Головахина А.В., Солодкий В.А., Нуднов Н.В. КТ-перфузия в диагностике злокачественных образований ротоглотки и мониторинге химиолучевого лечения. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 57–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1411>

Поступила в редакцию: 03.10.2023. **Принята к печати:** 18.02.2024. **Опубликована online:** 22.02.2024.



CT-perfusion in the diagnosis of oropharyngeal cancer and monitoring of chemoradiotherapy

© Alla V. Golovyakhina^{1*}, Vladimir A. Solodkiy², Nikolai V. Nudnov²

¹ City Clinical Oncology Hospital No. 1; 17/1, Baumanskaya str., Moscow 105005, Russian Federation

² Russian Scientific Center of Roentgenradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

Purpose of the study: to identify diagnostic effectiveness of the CT perfusion method in diagnosing squamous cell carcinoma of the oropharynx and in assessing dynamic changes in the affected area after chemoradiotherapy.

Materials and methods. The results of CT perfusion and CT with intravenous contrast were analyzed in 27 patients aged 40 to 76 years, who were divided into three groups: 1) a control group of patients with suspected oropharyngeal tumors – 9 people (33.4%); 2) group of primary (untreated) patients – 8 people (29.6%) with a verified diagnosis of squamous cell carcinoma; 3) a group of patients with this diagnosis only after chemoradiotherapy – 10 people (37.0%).

Results. Our own algorithm for CT perfusion of the oropharynx region was developed. Digital indicators characterizing the presence of tumor tissue in the tissues of the oropharynx were determined: arterial blood flow (AF) and blood volume (BV). When studying CT perfusion indicators, the following was established: in the group of untreated patients, in contrast to the control group of patients, the values of equivalent blood volume (BV), arterial blood flow velocity (AF) and permeability (FE) were statistically significantly increased. Whereas in patients after chemoradiation treatment, compared with the group of untreated patients, CT perfusion indices were statistically significantly reduced in the following parameters: equivalent blood volume (BV), arterial blood flow velocity (AF). The vascular permeability indicator (FE) is only of secondary importance in identifying the tumor process. Analysis of the results of CT perfusion in patients after chemoradiation treatment revealed an almost complete restoration of tissue perfusion indices in terms of AF and BV relative to perfusion indices in patients in the control group.

Conclusion. The results of our study indicate the diagnostic effectiveness of CT perfusion in detecting oropharyngeal cancer and in assessing the corresponding changes in the affected area that occur after chemoradiotherapy. Changes in CT perfusion parameters are associated with microcirculation in the tumor area, which is confirmed by a statistically significant decrease in BV and AF parameters after chemoradiotherapy.

Keywords: CT-perfusion; oropharyngeal cancer; squamous cell carcinoma

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

For citation: Golovyakhina A.V., Solodkiy V.A., Nudnov N.V. CT-perfusion in the diagnosis of oropharyngeal cancer and monitoring of chemoradiotherapy. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 57–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1411>

Received: 03.10.2023.

Accepted for publication: 18.02.2024.

Published online: 22.02.2024.

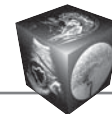
Введение

Злокачественные опухоли в области головы и шеи относятся к наиболее распространенным опухолевым поражениям в мире – примерно 6% всех случаев рака. Смертность составляет примерно 1–2% всех смертей от злокачественных опухолей [1]. При этом плоскоклеточная карцинома составляет более 95% всех случаев рака в области головы и шеи.

Частота заболеваемости раком ротоглотки увеличивается с каждым годом, большую часть заболевших составляет мужская популяция. По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, на 2018 г. показатель заболеваемости среди мужчин составил 2,8 случая на 100 000 населения, среди женщин – 0,48 случая.

КТ-перфузия представляет собой метод динамического контрастирования для количественной оценки микроциркуляции тканей [2]. Он был разработан почти 30 лет назад, в первую очередь для количественной оценки перфузии мозга у пациентов с острым инсультом, и недавно он был вновь открыт как многообещающий неинвазивный инструмент для оценки микроциркуляторных изменений, связанных с некоторыми новообразованиями, включая гепатоцеллюлярную карциному и рак поджелудочной железы, легкого, прямой кишки, головы и шеи [3–5].

В исследованиях областей, в которых была выявлена опухоль, отмечают более высокие показатели объема кровенаполнения и скорости кровотока. Эти результаты были связаны с неова-



скуляризацией опухоли. Это наблюдение впоследствии было доказано в исследованиях перфузии опухолей головы и шеи [6].

В исследовании D. Troeltzsch и соавт. было показано, что с помощью КТ-перфузии можно дифференцировать рецидив от постлучевого отека мягких тканей на фоне проведенного химиолучевого лечения ($p < 0,05$) [4]. На сегодняшний день имеется небольшое количество исследований по оценке КТ-перфузии злокачественных новообразований области мягких тканей головы или шеи. Однако имеющиеся статьи позволяют судить о высокой диагностической значимости методики [7, 8].

Цель исследования: определить эффективность метода КТ-перфузии в диагностике плоскоклеточного рака ротоглотки и в оценке динамических изменений в пораженной области после химиолучевого лечения.

Материал и методы

Проанализированы данные результатов КТ-перфузии и стандартного трехфазного исследования КТ 27 пациентов в возрасте от 40 до 76 лет, которые были разделены на 3 группы.

Контрольная (1-я) группа состояла из 9 (33,4%) пациентов, которые проходили обследование с подозрением на наличие злокачественного новообразования ротоглотки, но по результатам как инструментальных методов, так и биопсии не было обнаружено признаков опухоли в зоне интереса.

Первичная (2-я) группа – 8 (29,6%) пациентов, находившихся на первичном этапе обследования, у которых по результатам морфологического анализа было подтверждено наличие плоскоклеточного рака в ротоглотке.

Группа после химиолучевого лечения (3-я) – 10 (37,0%) пациентов, прошедших химиолучевое лечение по основному заболеванию, раку ротоглотки, не имеющих при этом в анамнезе хирургического лечения.

Исследование проводилось на компьютерном томографе Aquilion One фирмы Canon с 640 срезами и детектором шириной 160 мм и толщиной среза 0,5 мм.

Учитывая отсутствие в настоящее время стандартизированного протокола исследования КТ-перфузии ротоглотки, нами был разработан собственный алгоритм исследования. Сканирование проходило в краниокаудальном направлении с введением в периферическую вену через периферический кубитальный инъекционный катетер 18 G (внутренний просвет 1,2 мм) неионного низкоосмолярного рентгеноконтрастного препарата Омнипак. Протокол сканирования КТ-перфузии включал в себя нативную фазу сканирования для

оценки ориентировочной точки начала опухолевого образования и серию последовательных сканирований одновременно с введением контрастного препарата со скоростью 5,0 мл/с объемом 40 мл с последующим введением физиологического раствора со скоростью 5,0 мл/с объемом 20 мл. Время ротации трубки – 1,0 с, ширина поля сканирования – 16 мм.

Через 30 мин проводилась стандартная трехфазная КТ с внутривенным контрастированием со скоростью введения 3,5–4 мл/с в объеме 100 мл. Протоколом выбора трехфазной КТ являлось мультифазное сканирование, включавшее в себя нативную (без внутривенного введения контрастного препарата), артериальную и венозную фазы сканирования. Для инъекции контрастного препарата использовался автоматический инжектор OptiVantage.

В нашем исследовании была использована методика постпроцессорной обработки методом Патлака, или, по-другому, двухблочная модель, основанная на динамическом распределении контраста между двумя блоками – внутрисосудистым и внесосудистым. После внутривенного болюсного введения контрастного препарата измерялась степень его концентрации в исследуемой области, для регистрации этого вся опухоль сканировалась в различные интервалы времени [9].

Обработка полученных изображений осуществлялась на рабочей станции Vitrea с использованием протокола 4D Body Perfusion. В процессе обработки полученных изображений измерялась плотность ткани в двух различных областях интереса – ROI (region of interest) в афферентной артерии (внутренняя сонная артерия) и области, в которой определяется/ранее определялся опухолевый процесс, для получения кривой время/плотность с последующим выстраиванием перфузионных карт (рис. 1). Выстраивалась перфузионная карта с показателями артериального кровотока (AF), эквивалентного объема крови (BV) и проницаемости (FE) (рис. 2).

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программ Microsoft Office Excel 2016, SPSS Statistics, проверка выборок на соответствие нормальному закону распределения – с помощью метода Манна-Уитни, сравнения трех групп по числовым показателям – на основе непараметрического критерия Краскела-Уоллеса. Статистическая значимость различий групп для бинарных и номинальных показателей осуществлялась с использованием метода χ^2 Пирсона.

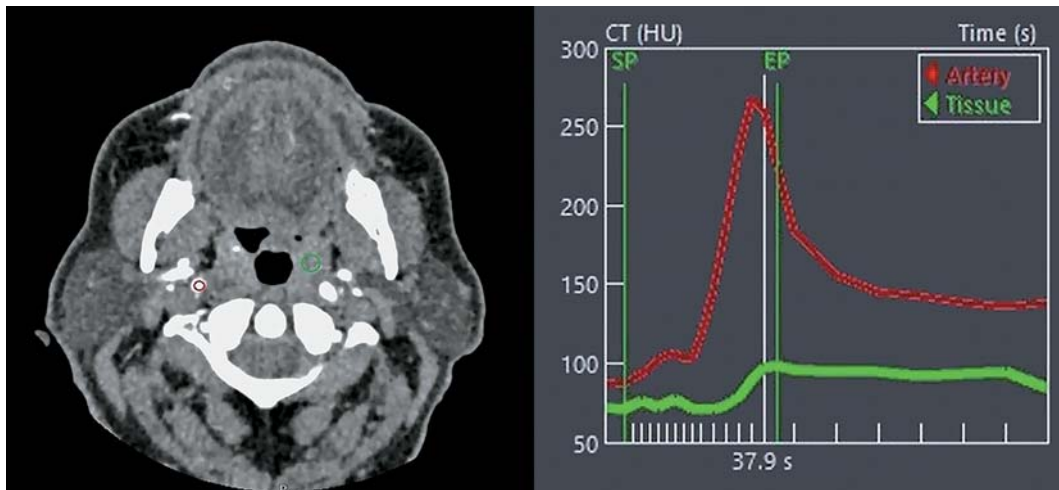


Рис. 1. Установка ROI в afferентную артерию (внутренняя сонная артерия) – красный кружок и в зону интереса – зеленый кружок, с построением кривой время/плотность.

Fig. 1. Setting the ROI in the afferent artery (internal carotid artery) – red circle and in the area of interest – green circle, with the construction of a time/density curve.

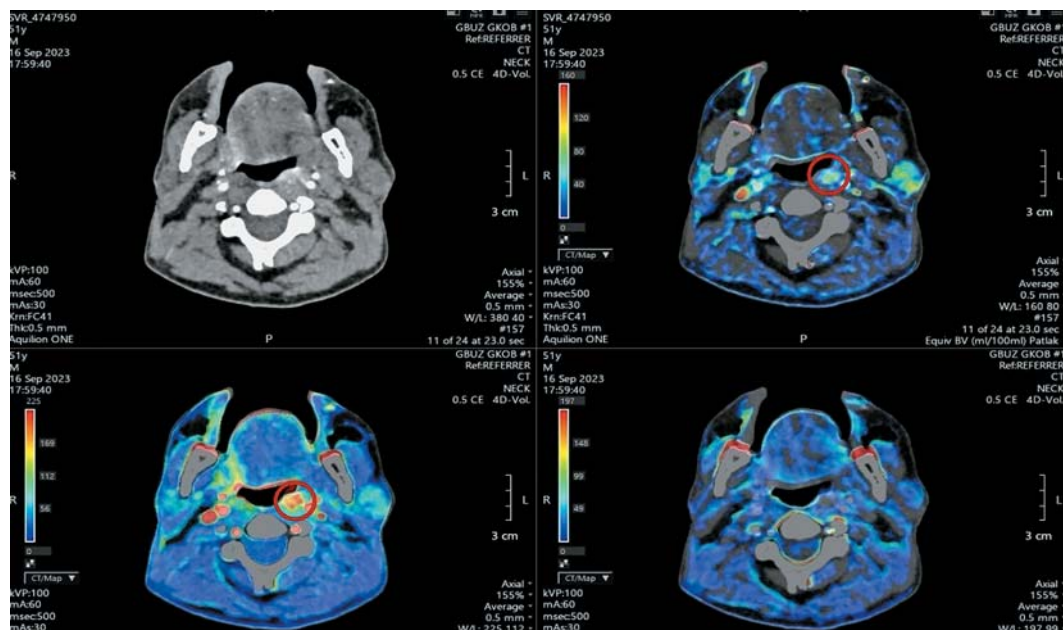
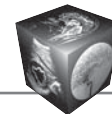


Рис. 2. Перфузионная карта пациента с верифицированным плоскоклеточным раком левой небной миндалины (красный круг).

Fig. 2. Perfusion chart of a patient with verified squamous cell carcinoma of the left palatine tonsil (red circle).



Результаты

Результаты работы основаны на анализе полученных данных лучевого обследования, включающие стандартный протокол КТ и КТ-перфузию.

При изучении показателей КТ-перфузии было установлено следующее: в группе пациентов с первично выявленным плоскоклеточным раком ротоглотки, в отличие от контрольной группы, статистически значимо были повышены значения эквивалентного объема кровенаполнения (BV), скорость артериального кровотока (AF), тогда как показатель проницаемости сосудистой стенки (FE) в зоне интереса был снижен (см. таблицу). Схемы 1–3 демонстрируют, что у пациентов с наличием в ротоглотке плоскоклеточного рака при проведении КТ-перфузии выявлено усиление кровотока в зоне интереса со снижением проницаемости сосудистой стенки, что коррелирует с данными литературы [10, 11], тогда как у пациентов после химиолучевого лечения статистически значимо были ниже показатели эквивалентного объема кровенаполнения (BV), скорость артериального кровотока (AF) по сравнению с группой

пациентов с первично выявленным плоскоклеточным раком ротоглотки.

Не было обнаружено статистически значимой корреляции показателя проницаемости сосудистой стенки (FE) во всех трех группах, что позволяет утверждать, что этот показатель недостаточно информативен по сравнению с показателями BV и AF.

При использовании методики двойного слепого просмотра результатов исследования двумя независимыми друг от друга рентгенологами во 2-й группе у 100% пациентов было подтверждено наличие злокачественного новообразования ротоглотки, что доказывалось данными морфологического исследования. Вместе с этим у пациентов из группы после химиолучевого лечения не было выявлено данных о продолженных росте/рецидиве в зоне ранее определяемой опухоли.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой диагностической значимости метода КТ-перфузии при первичном обследовании пациентов с подозрением на плоскоклеточный рак ротоглотки и последующем динамическим контролем после химиолучевого лечения.

Таблица. Показатели перфузии всех групп пациентов

Table. Perfusion indicators of all patient groups

Показатели Parameters	Референс Reference	Первичная группа Primary group	Группа после курса химиотерапии Group after a course of chemotherapy
Эквивалентный объем кровенаполнения (BV), мл/100 мл Equivalent blood volume (BV), ml/100 ml			
Число пациентов / Number of patients	9	8	10
Среднее значение / Average value	18.3 ± 5.4	44.9 ± 10.2	17.6 ± 8.6
Максимальное значение / Maximum value	35.40	64.4	32.50
Минимальное значение / Minimum value	5.9	39.10	6.8
Скорость артериального кровотока (AF), мл/мин/100 мл Arterial blood flow (AF), ml/min/100 ml			
Число пациентов / Number of patients	9	8	10
Среднее значение / Average value	38.5 ± 12.9	169.2 ± 37.2	56.5 ± 16.4
Максимальное значение / Maximum value	50.40	406.00	68.50
Минимальное значение / Minimum value	19.8	94.5	27.1
Проницаемость (FE), мл/мин/100 мл Vascular wall permeability (FE), ml/min/100 ml			
Число пациентов / Number of patients	9	8	10
Среднее значение / Average value	11.3 ± 5.1	6.2 ± 3.5	4.3 ± 2.2
Максимальное значение / Maximum value	21.70	12.10	6.80
Минимальное значение / Minimum value	6.60	2.70	1.10



Обсуждение

Полученные нами результаты позволяют говорить о том, что повышение параметров КТ-перфузии статистически коррелирует с наличием злокачественного новообразования в ротоглотке по показателям эквивалентного объема кровенаполнения (BV) и скорости артериального кровотока (AF) у всех обследуемых пациентов (100%) (схемы 1, 2), что может быть связано с процессом образования новых кровеносных сосудов в опухоли [12].

При этом наибольший вклад в оценку наличия плоскоклеточного рака ротоглотки вносит фактор "AF, ml/min/100ml" (см. схему 2).

Построение перфузионных карт выявило значительные различия в характере контрастирования в области с верифицированным плоскоклеточным раком по сравнению с пациентами, прошедшими химиолучевое лечение. Так, у пациентов со злокачественным новообразованием, не имеющих в анамнезе лечения, отмечалось интенсивное накопление контрастного препарата, тогда как у пациентов после химиолучевого лечения его накопление в области интереса было сопоставимо с накоплением у пациентов контрольной группы. Известно, что особую роль в изменении перфузии в мягких тканях играют нарушения кровотока [11], исходя из этого, полученные нами данные, могут быть связаны с локальным лучевым поражением мягких тканей, что приводит к ингибированию ангиогенеза, уменьшению поступления кислорода в клетки опухоли с последующим апоптозом клеток [13].

Показатель проницаемости сосудов (FE) недостаточно прогнозирует ответ по сравнению с BV и AF (схема 3): только отдельные авторы указывают его достижимую эффективность [14].

Анализ результатов КТ-перфузии у пациентов, прошедших курс химиолучевого лечения, выявил почти полное восстановление показателей тканевой перфузии до значений контрольной группы по параметрам AF и BV. Таким образом, на основании полученных данных при КТ-перфузии существует возможность оценить гемодинамические показатели в мягких тканях ротоглотки с одновременной оценкой анатомических структур [9].

Параметры КТ-перфузии позволяют объективно оценить эффект проведенного химиолучевого лечения. Оценка тканевой перфузии также может быть применена при стадировании опухолевого процесса, что позволяет расширить возможности врача-онколога в определении дальнейшей тактики лечения [14, 15].

Безусловно, количество обследованных пациентов с учетом начального этапа работы может

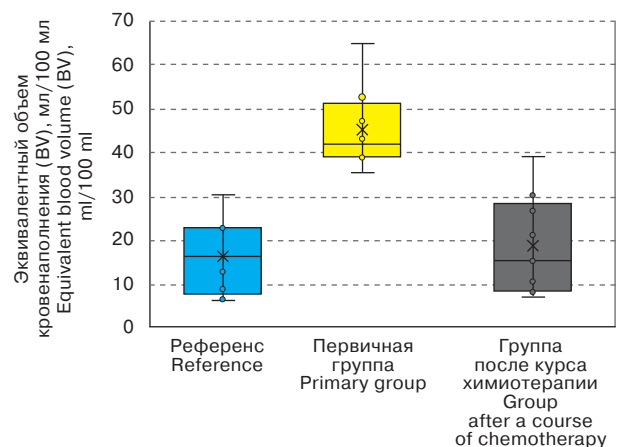


Схема 1. Сравнительная диаграмма эквивалентного объема кровенаполнения (BV) пациентов из трех исследуемых групп ($p < 0,001$).

Scheme 1. Comparative chart of equivalent blood volume (BV) of patients from the three study groups ($p < 0.001$).

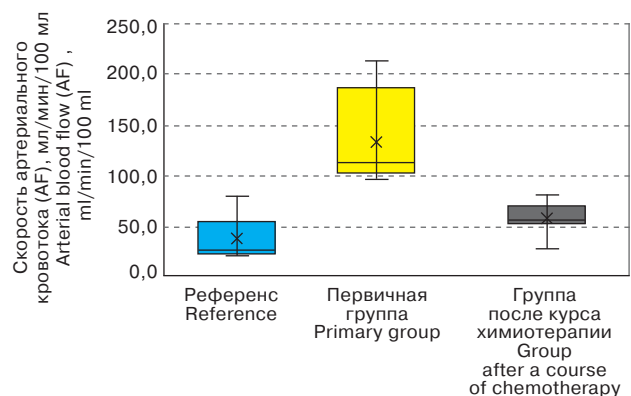


Схема 2. Сравнительная диаграмма скорости артериального кровотока (AF) пациентов из трех исследуемых групп ($p < 0,001$).

Scheme 2. Comparative diagram of arterial blood flow (AF) velocity of patients from the three study groups ($p < 0.001$).

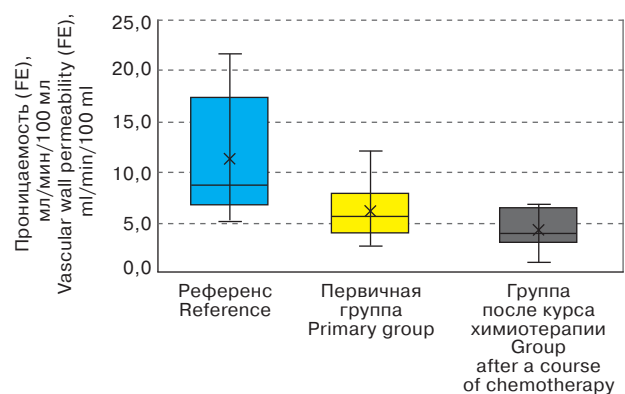
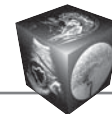


Схема 3. Сравнительная диаграмма проницаемости сосудистой стенки (FE) пациентов из трех исследуемых групп.

Scheme 3. Comparative diagram of vascular wall permeability (FE) of patients from the three study groups.



показаться ограниченным, однако в рамках нашего исследования этого количества пациентов было достаточно для получения статистически значимых результатов. Мы планируем продолжить исследование с большей выборкой пациентов.

Заключение

Разработанный нами протокол КТ-перфузии мягких тканей ротоглотки помогает составлять перфузионные карты и определять числовые показатели артериального кровотока, объема кровенаполнения и проницаемости сосудистой стенки. Использование КТ-перфузии на этапе первичного обследования пациента позволяет точнее выявлять распространенность злокачественного новообразования в тканях ротоглотки, что, в свою очередь, определяет выбор корректной тактики лечения.

Оценка тканевой микроциркуляции методом КТ-перфузии позволит проводить динамическое наблюдение пациентов после химиолучевого лечения.

Заявления и декларации

Авторы заявляют, что при подготовке данной рукописи не было получено никаких средств, грантов или другой поддержки. Авторы не имеют соответствующих финансовых или нефинансовых интересов, которые необходимо раскрывать.

Письменное информированное согласие было получено от каждого пациента после объяснения протокола, его целей и потенциальных рисков.

Участие авторов

Головяхина А.В. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Солодкий В.А. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Нуднов Н.В. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Golovyakhina A.V. – 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, 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, approval of the final version of the article.

Solodkiy V.A. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

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

Список литературы

1. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., Jemal A. Cancer statistics. *CA Cancer J. Clin.* 2022; 72 (1): 7–33. <https://doi.org/10.3322/caac.21708>
2. Balyan V., Das C.J., Sharma R., Gupta A.K. Diffusion weighted imaging: technique and applications. *Wld J. Radiol.* 2016; 8 (9): 785–798. <https://doi.org/10.4329/wjr.v8.i9.785>
3. Ursino S., Faggioni L., Guidoccio F. et al. Role of perfusion CT in the evaluation of functional primary tumour response after radiochemotherapy in head and neck cancer: preliminary findings. *Br. J. Radiol.* 2016; 89 (1065): 20151070. <https://doi.org/10.1259/bjr.20151070>
4. Troeltzsch D., Niehues S.M., Fluegge T. et al. The diagnostic performance of perfusion CT in the detection of local tumor recurrence in head and neck cancer. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2020; 76 (2): 171–177. <https://doi.org/10.3233/CH-209209>
5. Котляров П.М., Нуднов Н.В., Виниковецкая А.В., Егорова Е.В., Альбицкий И.А., Овчинников В.И., Гомболевский В.А. Перфузионная компьютерная томография в диагностике и оценке эффективности лечения злокачественных опухолей головного мозга. *Лучевая диагностика и терапия.* 2015; 2: 63–69.
6. Ding Z., Deng C., Wang Z. et al. Comparison of contrast-enhanced ultrasound and contrast-enhanced computed tomography for the diagnosis of cervical lymph node metastasis in squamous cell carcinoma of the oral cavity. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2021; 50 (3): 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2020.07.013>
7. Юдин А.Л., Щетинин Р.А., Юматова Е.А., Афанасьева Н.И. Перфузионная компьютерная томография в диагностике рака языка. *Вестник РНЦПР.* 2016; 16 (3).
8. Долгушин М.Б., Пронин И.Н., Фадеева Л.М. и др. Метод КТ перфузии в дифференциальной диагностике вторичного опухолевого поражения головного мозга. *Медицинская визуализация.* 2007; 4: 100–106.
9. Petralia G., Preda L., D'Andrea G. et al. CT perfusion in solid-body tumours. Part I: technical issues. *La Radiologia Medica.* 2010; 6 (115): 843–857.
10. Кораблев Р.В., Васильев А.Г. Неоангиогенез и опухолевый рост. *Российские биомедицинские исследования.* 2017; 2 (4): 3–10.
11. Ткаченко Б.И., Мазуркевич Г.С., Тюкавин А.И. Физиология кровообращения. Физиология сосудистой системы: Руководство по физиологии. Л.: Наука, 1984. 652 с.
12. Ash L., Teknos T.N., Gandhi D. et al. Head and neck squamous cell carcinoma: CT perfusion can help noninvasively predict intratumoral microvessel density. *Radiology.* 2009; 251 (2): 422–430. <https://doi.org/10.1148/radiol.2512080743>
13. Grabham P., Sharma P. The effects of radiation on angiogenesis. *Vasc. Cell.* 2013; 5 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/2045-824X-5-19>



14. Hansen M.L., Fallentin E., Lauridsen C. et al. Computed Tomography (CT) Perfusion as an Early Predictive Marker for Treatment Response to Neoadjuvant Chemotherapy in Gastroesophageal Junction Cancer and Gastric Cancer – A Prospective Study. *PLOS One*. 2014; 9 (5): e97605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097605>
15. Argiris A., Karamouzis M.V., Raben D. et al. Head and neck cancer. *Lancet*. 2008; 371 (9625):1695–1709. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60728-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60728-X)

References

1. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., Jemal A. Cancer statistics. *CA Cancer J. Clin.* 2022; 72 (1): 7–33. <https://doi.org/10.3322/caac.21708>
2. Balyan V., Das C.J., Sharma R., Gupta A.K. Diffusion weighted imaging: technique and applications. *Wld J. Radiol.* 2016; 8 (9): 785–798. <https://doi.org/10.4329/wjr.v8.i9.785>
3. Ursino S., Faggioni L., Guidoccio F. et al. Role of perfusion CT in the evaluation of functional primary tumour response after radiochemotherapy in head and neck cancer: preliminary findings. *Br. J. Radiol.* 2016; 89 (1065): 20151070. <https://doi.org/10.1259/bjr.20151070>
4. Troeltzsch D., Niehues S.M., Fluegge T. et al. The diagnostic performance of perfusion CT in the detection of local tumor recurrence in head and neck cancer. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2020; 76 (2): 171–177. <https://doi.org/10.3233/CH-209209>
5. Kotlyarov P.M., Nudnov N.V., Vinikovetskaya A.V. et al. Ct perfusion in diagnostic and estimation treatment efficacy of malignant cranial gliomas. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2015; 2: 63–69. (In Russian)
6. Ding Z., Deng C., Wang Z. et al. Comparison of contrast-enhanced ultrasound and contrast-enhanced computed tomography for the diagnosis of cervical lymph node metastasis in squamous cell carcinoma of the oral cavity. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2021; 50 (3): 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2020.07.013>
7. Yudin A.L., Shchetinin R.A., Yumatova E.A., Afanasieva N.I. Perfusion computed tomography in the diagnosis of tongue cancer. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology*. 2016; 16 (3). (In Russian)
8. Dolgushin M.B., Pronin I.N., Fadeeva L.M., Kornienko V.N. Perfusion Computed Tomography in Differential Diagnosis of Brain Metastases. *Medical Visualization*. 2007; 4: 100–106. (In Russian)
9. Petralia G., Preda L., D'Andrea G. et al. CT perfusion in solid-body tumours. Part I: technical issues. *La Radiologia Medica*. 2010; 6 (115): 843–857.
10. Korablev R.V., Vasilyev A.G. Neoangiogenesis and tumor growth. *Russian Biomedical Research*. 2017; 2 (4): 3–10. (In Russian)
11. Tkachenko B.I., Mazurkevich G.S., Tyukavin A.I. Physiology of blood circulation. Physiology of the vascular system: A guide to physiology. L.: Nauka, 1984. 652 p. (In Russian)
12. Ash L., Teknos T.N., Gandhi D. et al. Head and neck squamous cell carcinoma: CT perfusion can help noninvasively predict intratumoral microvessel density. *Radiology*. 2009; 251 (2): 422–430. <https://doi.org/10.1148/radiol.2512080743>
13. Grabham P., Sharma P. The effects of radiation on angiogenesis. *Vasc. Cell*. 2013; 5 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/2045-824X-5-19>
14. Hansen M.L., Fallentin E., Lauridsen C. et al. Computed Tomography (CT) Perfusion as an Early Predictive Marker for Treatment Response to Neoadjuvant Chemotherapy in Gastroesophageal Junction Cancer and Gastric Cancer – A Prospective Study. *PLOS One*. 2014; 9 (5): e97605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097605>
15. Argiris A., Karamouzis M.V., Raben D. et al. Head and neck cancer. *Lancet*. 2008; 371 (9625):1695–1709. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60728-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60728-X)

Для корреспонденции*: Головяхина Алла Владиславовна – e-mail: golovyakhina@yandex.ru

Головяхина Алла Владиславовна – врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая онкологическая больница №1 ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0003-7199-5324>

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, профессор, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>. E-mail: direktor@rncrr.ru

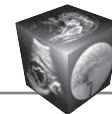
Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: nudnov@rncrr.ru

Contact*: Alla V. Golovyakhina – e-mail: golovyakhina@yandex.ru

Alla V. Golovyakhina – Radiologist, City Clinical Oncology Hospital No. 1, Moscow. <https://orcid.org/0009-0003-7199-5324>

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

Nikolai V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy 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



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1389>

Возможности ультразвуковой диагностики параганглиом шеи

© Тимина И.Е. *, Бурцева Е.А., Пяткова И.И., Кармазановский Г.Г.

ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

Цель исследования: оценка результатов ультразвукового исследования, обобщение критериев дифференциальной диагностики различных видов параганглиом в области шеи и разработка стандартного протокола ультразвукового исследования, предоставляющего информацию о резектабельности образований.

Материал и методы. Обследован 91 пациент (100 опухолей) с клиническим диагнозом: неврогенная опухоль шеи. Из 100 образований 71 (71%) составили каротидные параганглиомы, 18 (18%) – вагальные параганглиомы, 10 (10%) – невриномы и 1 (1%) – нейрофиброма. Всем пациентам проведено ультразвуковое исследование структуры опухоли в В-режиме, размеров и распространенности образований относительно основания черепа и цветное доплеровское картирование степени внутриопухолевого кровотока и взаимоотношения образований с сонными артериями.

Исследование позволило систематизировать основные ультразвуковые признаки, характерные для различных неврогенных опухолей шеи, среди которых мы выделили: четкие ровные контуры; наличие капсулы; неоднородную, преимущественно гипоехогенную структуру с гиперэхогенными включениями, напоминающую “соль–перец”. В дифференциальной диагностике решающую роль играли такие параметры, как локализация образования, особенности внутриопухолевого кровотока и взаимоотношение параганглиом с сонными артериями.

Результаты. Оценка структурных особенностей опухоли в В-режиме не показала значительных отличий разных параганглиом, невриномы и нейрофибромы, все образования имели четкие ровные контуры, четко визуализировалась их капсула.

Для 71 (100%) каротидной параганглиомы характерным признаком было расположение в области бифуркации общей сонной артерии с раздвижением устьев внутренней и наружной сонных артерий, что являлось 100% диагностическим критерием данной группы образований.

Вагальные параганглиомы или невриномы во всех наблюдениях располагались вне бифуркации сонной артерии, хотя и в непосредственной близости к сонным артериям.

Параганглиомы представляли собой гиперваскулярные опухоли с преобладанием артериальных сосудов, в отличие от невриномы и нейрофибромы, имеющих более бедную васкуляризацию с преобладанием венозных сосудов в структуре опухоли.

В 8 (44%) случаях вагальные параганглиомы прорастали в адвентицию сонных артерий, что при ультразвуковом исследовании характеризовалось локальным повышением кровотока на этом участке в сочетании с турбулентностью.

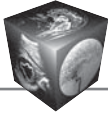
Заключение. Предложенный алгоритм ультразвукового исследования дает возможность уже на первичном этапе инструментальной диагностики выявить объемные образования, дифференцировать их между собой и с другими образованиями шеи и предположить степень травматичности предполагаемого оперативного вмешательства.

Ключевые слова: параганглиомы шеи; вагальные параганглиомы; невриномы; неврогенное образование; ультразвуковое исследование

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Тимина И.Е., Бурцева Е.А., Пяткова И.И., Кармазановский Г.Г. Возможности ультразвуковой диагностики параганглиом шеи. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 65–75.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1389>

Поступила в редакцию: 20.07.2023. Принята к печати: 27.09.2023. Опубликовано online: 26.12.2023.



Possibilities of ultrasound diagnostics of paragangliomas of the neck

© Irina E. Timina*, Elena A. Burtceva, Irina I. Pyatkova, Grigory G. Karmazanovsky

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow 117997, Russian Federation

The purpose of the study is to evaluate the results of ultrasound examination, generalize the criteria for differential diagnosis of various types of paragangliomas in neck area and the development of a standard ultrasound protocol that provides information about the resectability of formations.

Material and methods. 91 patients (100 tumors) with a clinical diagnosis of neurogenic neck tumor were examined, of which 71 (71%) were carotid paragangliomas, 18 (18%) – vagal paragangliomas, 10 (10%) – neurinomas and 1 (1%) – neurofibroma. All patients underwent ultrasound examination, including examination of the tumor structure in B-mode, assessment of the size and prevalence formations relative to the base of the skull and color Doppler mapping to assess the degree of intra-tumor blood flow and the relationship of formations with carotid arteries.

The study allowed us to systematize the main ultrasound signs characteristic of various neurogenic neck tumors, among which we identified: clear, even contours; the presence of a capsule; a heterogeneous, predominantly hypoechoic structure with hyperechoic inclusions resembling “salt-pepper”. The following parameters played a crucial role in differential diagnosis: localization of formation, features of intra-tumor blood flow and the relationship of paragangliomas with carotid arteries.

Results. Evaluation of the structural features of the tumor in the B-mode did not show significant differences between various paragangliomas, neurinomas and neurofibromas, all formations had clear, even contours, their capsule was clearly visualized. For carotid paragangliomas in all 71 (100%) observations, the characteristic feature was the location in the bifurcation area of the common carotid artery, with the mouths of the internal and external carotid arteries moving apart, which was 100% the diagnostic criterion of this group of formations. Vagal paragangliomas or neurinomas in all cases were located outside the bifurcation of the carotid artery, although in close proximity to the carotid arteries. The nature and degree of intra-tumor vascularization is another argument in the differential diagnosis of paragangliomas, which, unlike other neurogenic tumors, are highly vascularized tumors. The study of the nature of the intracellular blood flow showed that arterial paragangliomas predominate vessels, unlike neurinomas and neurofibromas, have significantly poorer vascularization with a predominance of venous vessels in the structure of the tumor. In 8 (44%) cases, vagal paragangliomas sprouted into the adventitia of the carotid arteries, which was characterized by a local increase in blood flow in this area in combination with turbulence during ultrasound.

Conclusion. The proposed algorithm of ultrasound examination of neurogenic formations in the neck area makes it possible already at the primary stage instrumental diagnostics to identify volumetric formations, differentiate them between themselves and with other neck formations and to assume the degree of traumatism of the proposed surgical intervention.

Keywords: paragangliomas of the neck; vagal paragangliomas; neurinomas, neurogenic education; ultrasound examination

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Timina I.E., Burtseva E.A., Pyatkova I.I., Karmazanovsky G.G. Possibilities of ultrasound diagnostics of paragangliomas of the neck. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 65–75. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1389>

Received: 20.07.2023.

Accepted for publication: 27.09.2023.

Published online: 26.12.2023.

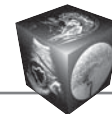
Введение

Точность и безопасность ультразвукового исследования (УЗИ) делают его методом диагностики первой линии в выявлении параганглиом шеи. Квалифицированно выполненное УЗИ может дать ответ на вопрос о происхождении образования в области шеи и возможности его резектабельности.

Диагностика параганглиом шеи вследствие их достаточно редкой встречаемости и скудности

клинической симптоматики очень часто вызывает трудности при выполнении УЗИ. Понимание происхождения параганглиом чрезвычайно важно и, безусловно, дает ключ к алгоритму диагностики.

Неорганные опухоли шеи также чрезвычайно разнородны и в зависимости от их генеза подразделяются на нейроэктодермальные (неврогенные), мезенхимальные (фиброзные, жировые, мышечные, сосудистые) или дисэмбриональные (тимомы, тератомы). Согласно гистологической



классификации Г.В. Фалилеева (1970), среди нейрогенных опухолей выделяют невриномы, нейрофибромы, ганглионевромы, менингиомы и параганглиомы [1].

Параганглиомы представляют собой группу нейроэндокринных опухолей, которые возникают в парасимпатических и симпатических ганглиях, рассеянных по всему организму от черепа до тазового дна. Возникающие из параганглионарных клеток, выполняющих различные регуляторные задачи в организме, включая функции хеморецепторов, позволяющих реагировать организму на такие стрессы, как гипоксия, гиперкапния и гипергликемия, эти опухоли ранее назывались хемодектомами. Сейчас в литературе используется термин “параганглиомы”, исходя из того, что опухоли происходят из параганглионарных клеток. Параганглиомы головы и шеи составляют примерно от 65 до 70% всех параганглиом и 0,6% среди всех случаев рака головы и шеи [2, 3]. Общая заболеваемость параганглиомами составляет от 0,3 до 1 на 100 000 человек и в настоящее время они отнесены к орфанным заболеваниям [4].

В области головы и шеи параганглионарные клетки преимущественно сконцентрированы в 4 очагах: в каротидном тельце, в адвентиции луковичи внутренней яремной вены, вдоль анатомического хода блуждающего нерва и *ganglion nodosum nervi vagi*, в области среднего уха по ходу барабанной ветви IX черепного нерва и ушной ветви X черепного нерва.

Наиболее частой параганглиомой является опухоль, исходящая из каротидного гломуса, – каротидная параганглиома, на долю которой, по данным различных авторов, приходится около 62–90% параганглионарных новообразований в области головы и шеи. На втором месте находится вагальная хемодектома, частота встречаемости которой достигает от 7 до 40% всех параганглиом головы и шеи. В подавляющем большинстве случаев параганглиомы клинически протекают бессимптомно и не более чем в 5% случаев могут вызывать симптомы гиперкатехолемии, такие как сердцебиение, гипертония, беспокойство [2].

Цель исследования: оценка результатов УЗИ, обобщение критериев дифференциальной диагностики различных видов параганглиом в области шеи и разработка стандартного протокола УЗИ, дающего информацию о резектабельности образований.

Материал и методы

В отделении ультразвуковых методов диагностики и лечения НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского за период январь 2011 г. – декабрь 2021 г.

обследован 91 пациент (100 опухолей) с клиническим диагнозом: неврогенная опухоль шеи, из которых 67 (74%) составили женщины, 24 (26%) – мужчины. Возраст пациентов находился в диапазоне 19–79 лет (средний возраст $46,5 \pm 13,5$ года). У 9 (9,9%) больных диагностировано двустороннее поражение.

Протокол УЗИ у пациентов с неврогенными опухолями шеи включал следующие аспекты:

1. Оценка структуры опухоли (однородная/неоднородная), эхогенности, контуров (четкие/нечеткие, ровные/неровные), визуализация капсулы.
2. Оценка размеров и локализации опухоли.
3. Топография сонных артерий (СА) и их взаимоотношение с опухолью (с учетом расположения опухоли относительно бифуркации СА, протяженности поражения каротидных артерий и степени их обрастания).

4. Расположение верхнего полюса опухоли относительно основания черепа.

5. Состояние дистального (свободного от опухоли) участка внутренней сонной артерии (ВСА) (диаметр, протяженность до входа в череп, характеристики кровотока, оценка анатомического хода).

6. Оценка степени интенсивности и характера внутриопухолевого кровотока с определением основных питающих сосудов (ветви наружной сонной артерии (НСА), щитошейный ствол, позвоночная артерия).

7. Характеристики кровотока по СА для определения наличия или отсутствия их сдавления, прорастания опухолевой тканью.

У пациентов с каротидными параганглиомами для планирования хирургического вмешательства принципиальным моментом исследования является определение взаимоотношения образования с СА. В своей работе мы использовали классификацию Л.А. Атанасяна (1969) [5], согласно которой выделяют 4 варианта взаимоотношений между опухолью и СА:

- 1 – опухоль раздвигает СА и довольно рыхло связана с адвентицией;

- 2 – опухоль муфтообразно охватывает НСА;

- 3 – опухоль муфтообразно охватывает ВСА;

- 4 – опухоль охватывает и сдавливает бифуркацию и все ветви СА.

Результаты

Распределение 100 образований в зависимости от результатов гистологического исследования опухоли было следующим: каротидные параганглиомы – 71 (71%), вагальные параганглиомы – 18 (18%), невриномы – 10 (10%), нейрофиброма – 1 (1%).



Ультразвуковая картина при исследовании в В-режиме была схожей у всех диагностированных нейрогенных образований и представлена легковизуализируемым солидным образованием, неоднородным по структуре, преимущественно имеющим пониженную эхогенность (гипоэхогенное) с наличием множественных мелких гиперэхогенных вкраплений. Чередование гипо- и гиперэхогенного компонента напоминает “соль-перец” по аналогии с описанием компьютерных и магнитно-резонансных томограмм. Во всех случаях контуры образования были четкими и ровными. При больших размерах образования границы могли терять четкость в местах плотного прилегания к паравerteбральным мышцам. Все опухоли имели четко выраженную капсулу различной толщины (рис. 1).

Оценка структурных особенностей опухоли в В-режиме не показала значительных отличий различных параганглиом, невриноом и нейрофибром. Более того, не было никаких отличительных признаков в пользу злокачественного или доброкачественного характера опухоли. Ни в одном из наблюдений при первичном обращении пациентов мы не выявили вторично измененных лимфатических узлов.

Локализация образований позволяла заподозрить тот или иной вид опухоли. Так, каротидные параганглиомы располагались в сонном треугольнике, в области бифуркации общей сонной артерии (ОСА), раздвигая устья ВСА и НСА, что являлось 100% диагностическим критерием этих образований.

Вагальные параганглиомы или невриномы были расположены вне каротидной бифуркации, хотя и в непосредственной близости и контакте с СА.

Нейрофиброма в нашем наблюдении располагалась паравerteбрально и имела связь с позвоночными сосудами в виде сосудистого пучка, исходящего из костного канала позвоночника между поперечными отростками IV–V шейных позвонков (рис. 2).

Вторым этапом УЗИ было изучение внутриопухолевого кровотока в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК). Параганглиомы, как каротидные, так и вагальные, во всех наблюдениях являлись гипervasкулярными образованиями и при исследовании в режиме ЦДК были буквально пронизаны многочисленными, преимущественно артериальными сосудами (рис. 3).

В невриномах васкуляризация значительно слабее и в структуре опухоли определялись преимущественно венозные сосуды (рис. 4).

Ретроспективный анализ результатов УЗИ показал, что никаких различий в особенностях струк-

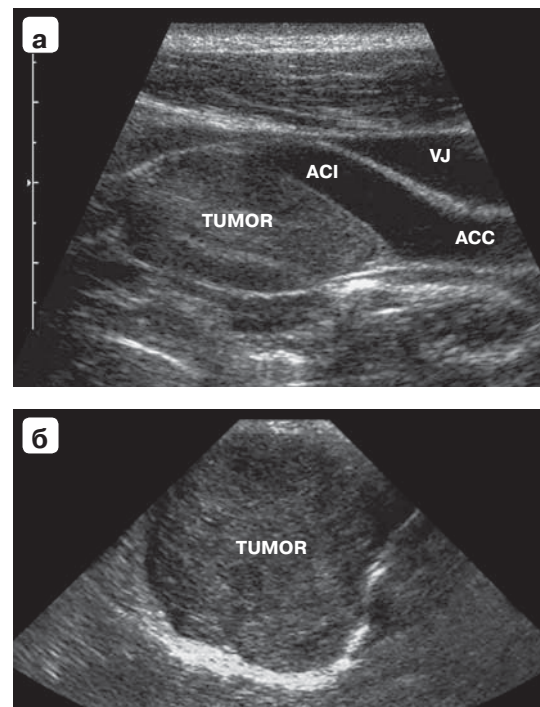


Рис. 1. Ультразвуковое изображение в В-режиме. **а** – каротидная параганглиома небольших размеров, расположенная в каротидной бифуркации (ACC – общая сонная артерия, ACI – внутренняя сонная артерия, VJ – внутренняя яремная вена); **б** – невринома.

Fig. 1. Ultrasound image, B-mode. **a** – carotid paraganglioma small size, located in carotid bifurcation (ACC- common carotid artery; ACI- internal carotid artery; VJ- internal jugular vein); **b** – neurofibroma.

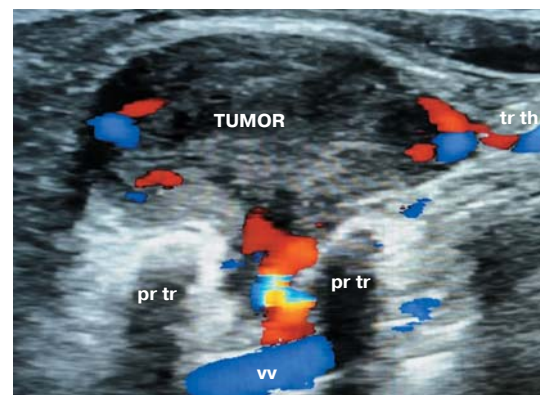


Рис. 2. Ультразвуковое изображение в режиме ЦДК. Нейрофиброма, расположенная паравerteбрально, кровоснабжение опухоли происходит из щитошейного ствола и сосудов, исходящих из сегмента V₂ позвоночных артерии и вены (pr tr – поперечные отростки шейных позвонков; vv – позвоночная вена).

Fig. 2. Ultrasound image, color Doppler mapping mode. Neurofibroma located in paravertebral region, blood supply from truncus thyrocervicalis and blood vessels from V₂ segment of vertebral artery and vein (pr tr – transverse processes of the cervical vertebrae; vv – vertebral vein).

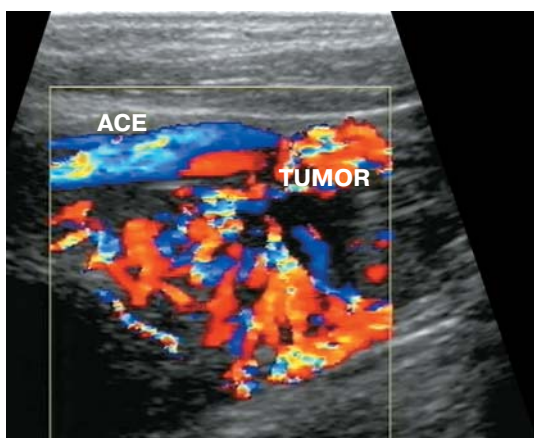
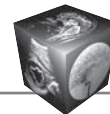


Рис. 3. Ультразвуковое изображение в режиме ЦДК. Каротидная хемодектома. Внутриопухолевый кровоток (ACE – наружная сонная артерия).

Fig. 3. Ultrasound image, color Doppler mapping mode. Carotid paraganglioma. Intratumor blood flow (ACE- Artery carotid externa).

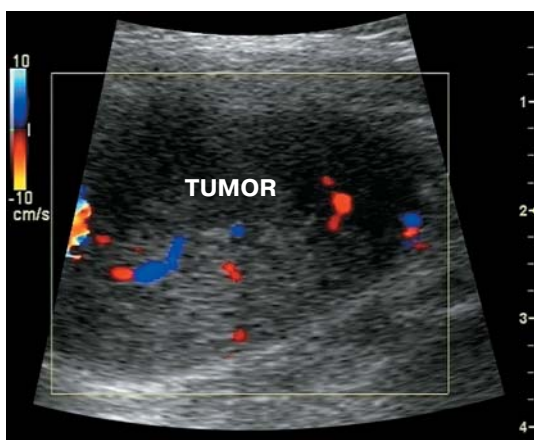


Рис. 4. Ультразвуковое изображение в режиме ЦДК. Невринома. Внутриопухолевый кровоток.

Fig. 4. Ultrasound image, color Doppler mapping mode. Nevrinoma. Intratumor blood flow .

туры опухоли и характере внутриопухолевого кровотока у пациентов со злокачественным течением заболевания не выявлено.

Следующим этапом УЗИ являлась оценка взаимоотношения опухоли с СА.

Одним из наиболее характерных признаков каротидных параганглиом, как уже было сказано выше, является то, что, исходя из каротидного гломуса и располагаясь в каротидной бифуркации, по мере своего роста она раздвигает ВСА и НСА. Согласно классификации Л.А. Атанасяна, из 71 каротидной параганглиомы I тип выявлен у 33 (46%) пациентов, II тип – у 9 (13%), III тип – у 5 (7%), IV тип – у 24 (34%). При IV типе размер образова-

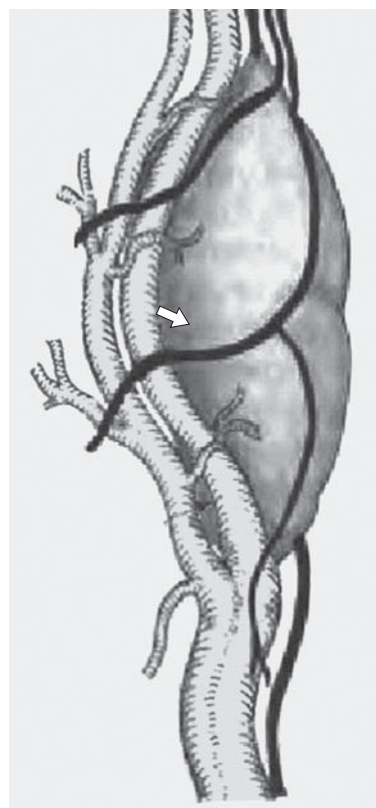


Рис. 5. Вагальная параганглиома, ее взаимоотношение с СА. Опухоль, отодвигающая ВСА и НСА, не раздвигая их.

Fig. 5. Vagal paraganglioma, relationship with carotid artery. Tumor that pushed away ICA and ACE, without pushing them apart.

ний во всех наблюдениях превышал 34 мм, находясь в диапазоне от 34 до 100 мм.

Вагальная хемодектома может происходить из одного из ганглиев блуждающего нерва или возникать в любом месте по ходу блуждающего нерва, но обычно в области его узловатого узла или в надподъязычной зоне. Характерной особенностью вагальных параганглиом является рост опухоли по периневрию блуждающего нерва, плотный контакт с ВСА с оттеснением ее кпереди и кнутри по мере роста опухоли и распространением ее в окологлоточное пространство, что обусловлено именно заднелатеральным ходом блуждающего нерва по отношению к ВСА и НСА, давая такой результирующий эффект и заставляя смещаться эти сосуды кпереди, не раздвигая их (см. рис. 3). Вагальные параганглиомы больших размеров могут окутывать бифуркацию СА (никогда не раздвигая ВСА и НСА!) и внедряться в основание черепа (рис. 5).

Среди наших пациентов у 12 (67%) опухоль локализовалась в надподъязычной зоне, при этом

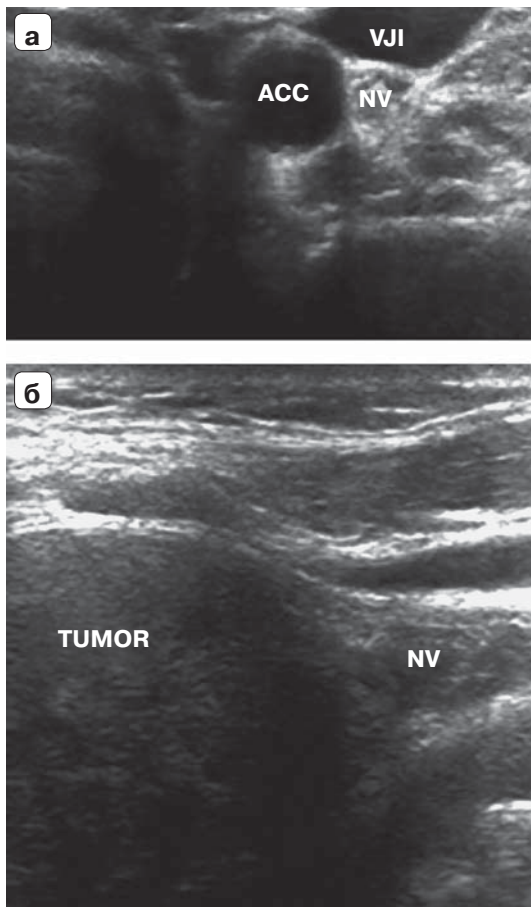
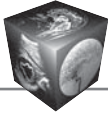


Рис. 6. Ультразвуковое изображение в В-режиме. **а** – в поперечном сечении изображение ОСА и внутренней яремной вены, между которыми визуализируется ствол блуждающего нерва; **б** – визуализируется в продольном сечении ствол блуждающего нерва, который, расширяясь, переходит в опухолевую массу вагальной параганглиомы (ACC – общая сонная артерия; VJI – внутренняя яремная вена; NV – блуждающий нерв).

Fig. 6. Ultrasound image, B-mode. **a** – cross-section image ACC and jugular vein, between which trunk of the vagus nerve; **b** – longitudinal section trunk of the vagus nerve, which expands and crosses to tumor mass of vagal paragangliomas (ACC – common carotid artery; VJI – vein jugular interna, NV – nervus vagus).

у 2 пациентов опухоль окутывала бифуркацию ОСА, у 6 – ВСА и НСА в начальном отделе были погружены в опухоль на $1/3$ – $2/3$ диаметра с признаками гемодинамически значимой экстравазальной компрессии СА. В остальных 4 случаях ВСА и НСА, тесно контактируя с капсулой опухоли, были ею оттеснены.

На рис. 6 представлена вагальная параганглиома, располагающаяся в надподъязычной области. Можно визуализировать и связь опухоли со стволом блуждающего нерва.

Несколько реже (у 6 (33%) пациентов) рост вагальной параганглиомы происходил из нодозного узла блуждающего нерва, при этом ВСА и НСА располагались в структуре образования, ближе к ее латеральному контуру. Из них в 2 случаях ВСА располагалась в центральной части опухоли, отмечались признаки экстравазальной компрессии ВСА, что свидетельствовало о прорастании опухоли в адвентицию сосуда. Следует отметить, что у всех пациентов с вагальными параганглиомами независимо от размеров образования каротидная бифуркация не раздвинута, а ВСА и НСА в той или иной степени были смещены.

Невриному характеризуют следующие особенности: визуализация опухоли удлиненной или округлой формы с четкими ровными контурами, в капсуле, следующей за длинной осью нерва. Смещение сосудистых структур является регулярным и характерным для пораженного нерва: смещение ОСА или ВСА кпереди при шванном блуждающего нерва и медиальное смещение ВСА при шванномах подъязычного нерва [6].

Так, в наших наблюдениях в 5 (50%) случаях невриномы находились на 2–4 см выше бифуркации СА, при этом ВСА и НСА располагались по боковой (медиальной) стенке образования. В остальных 5 (50%) наблюдениях невриномы были на уровне бифуркации ОСА, при этом образование оттесняло ВСА и НСА кпереди. Ни в одном наблюдении у пациентов со шванномами не выявлено признаков экстравазальной компрессии СА.

Во всех наблюдениях мы оценивали невриномы как гиповаскулярное образование с преобладанием в их структуре сосудов с венозным кровотоком.

В планировании хирургического удаления опухоли огромное значение имеет выявление на экстракраниальном уровне дистального отдела ВСА, располагающегося вне опухоли, поэтому одним из основных этапов исследования становится визуализация свободного дистального отдела ВСА, который находится вне образования и имеет неизменный спектр кровотока (рис. 7).

Компрессия и прорастание опухолевых масс в адвентицию СА являются важнейшим фактором, предполагающим выполнение реконструктивного сосудистого этапа хирургического вмешательства. Ультразвуковым критерием компрессии и прорастания опухоли в адвентицию СА становится регистрация локального изменения кровотока в виде повышения скорости кровотока более 150 см/с и признаки турбулентности потока крови (рис. 8).

У 2 (3%) пациентов с каротидной параганглиомой и у 2 (11%) больных с вагальной параганглио-

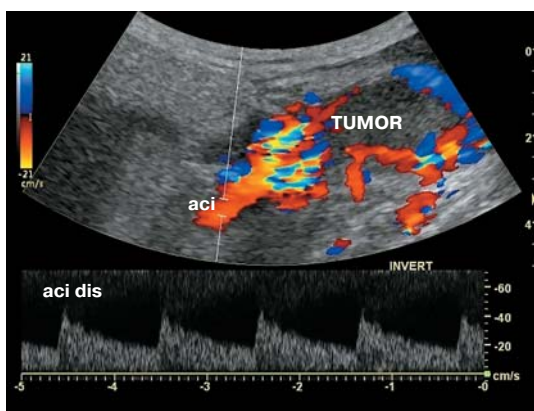
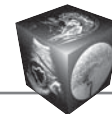


Рис. 7. Ультразвуковое изображение в режиме ЦДК. Дистальный отдел ВСА располагается вне опухоли (aci dis – дистальный отдел внутренней сонной артерии).

Fig. 7. Ultrasound image, color Doppler mapping mode. Distal part of ICA located outside the tumor (aci dis – distal part of artery carotid interna).

мой при размерах образований более 65 мм верхний полюс опухоли располагался у основания черепа, в этих наблюдениях выявить дистальный отдел ВСА, свободный от образования, не представлялось возможным. В остальных 69 (97%) случаях каротидных параганглиом и 16 (89%) вагальных параганглиом дистальный отдел опухоли не распространялся до основания черепа и удавалось визуализировать дистальный, свободный от опухоли сегмент ВСА протяженностью от 1 до 45 мм.

В нашем исследовании признаки злокачественности в виде местного рецидива были выявлены у 2 (2%) пациентов. У 1 пациента после удаления каротидной параганглиомы рецидив был диагностирован на уровне каротидной бифуркации в области резекции через 3 года после оперативного лечения. Еще у 1 пациента рецидив вагальной хемодектомы определялся в области нодозного узла блуждающего нерва, выше зоны резекции.

В 1 наблюдении диагностирован метастаз каротидной параганглиомы в лимфатический узел по ходу грудино-ключично-сосцевидной мышцы через 3 года после оперативного лечения. Вторично измененный лимфатический узел при УЗИ имел структурные характеристики, напоминающие параганглиому: четкие ровные контуры, наличие капсулы, неоднородная, преимущественно гипоехогенная структура по типу “соль–перец”. При исследовании в режиме ЦДК лимфатический узел был гиперваскулярным с преобладанием артериального кровотока с характерным для параганглиомы хаотичным, “клубкообразным” распо-

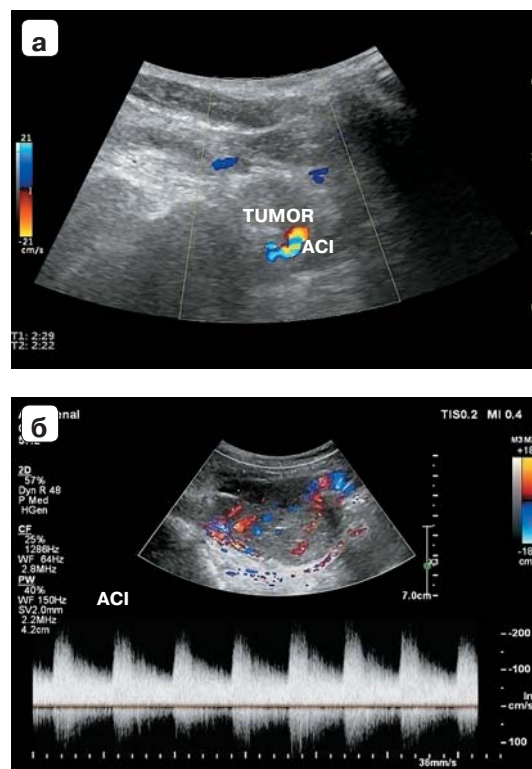


Рис. 8. Ультразвуковое изображение в режиме ЦДК. **а** – вагальная хемодектома из нодозного узла блуждающего нерва. Опухоль распространяется до сосцевидного отростка и самый дистальный отдел ВСА на экстракраниальном уровне расположен внутри опухоли; **б** – спектр кровотока в дистальном отделе ВСА, расположенном внутри опухоли. Определяется значимая экстравазальная компрессия артерии на основании регистрации повышения пиковой систолической скорости кровотока (до 200 см/с) и турбулентного характера кровотока.

Fig. 8. Ultrasound image, color Doppler mapping mode. **a** – vagal paraganglioma from nodose node of nervus vagus. The tumor spreads to the mastoid process and distal part of ACI in extracranial level located inside the tumor; **b** – blood flow spectrum in distal part of ACI, located inside the tumor. Extravasal compression is determined when registering an increase in peak systolic blood flow velocity and turbulent nature of blood flow.

ложением сосудов, преимущественно артериального типа, пронизывающих образование (рис. 9).

Основные ультразвуковые признаки, характерные для параганглиом шеи, систематизированные нами, а именно: особенности структуры образований при исследовании в В-режиме, особенности внутриопухолевого кровотока, позволяющего дифференцировать параганглиомы от других нейrogenных опухолей и опухолей шеи другого происхождения, характер взаимоотношения их с СА представлены в таблице.

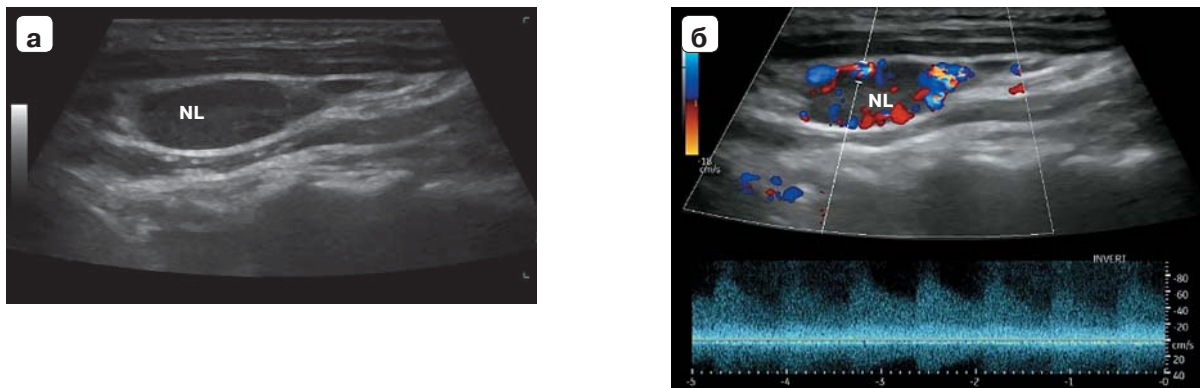
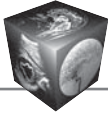


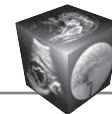
Рис. 9. Данные исследований. **а** – ультразвуковое изображение в В-режиме метастаза каротидной параганглиомы в шейный лимфатический узел; **б** – ультразвуковое изображение в режиме ЦДК и спектр доплеровского сдвига частот. Внутритропухольный кровоток в метастазе каротидной параганглиомы в шейный лимфатический узел, преобладают артериальные сосуды, пронизывающие образование (NL – лимфатический узел).

Fig. 9. **a** – Ultrasound image, B-mode, metastas of carotid paraganglioma in cervical lymph node; **б** – Ultrasound image, color Doppler mapping mode and spector of blood flow intratumor blood flow in metastas of carotid paraganglioma (NL – lymph node).

Таблица. Основные ультразвуковые характеристики исследованных образований шеи

Table. The main ultrasound characteristics of the studied tumors oh neck

Вид образования Type of tumor	Структура образования в В-режиме Structure of the tumor in B-mode	Степень внутритропухольного кровотока Intensity of the tumor vascularization n (%)	Взаимоотношение с сонными артериями, n (%) Relationship with carotid arteries, n (%)		Отсутствие свободного дистального отдела ВСА, n (%) Unavailability free distal part of ICA, n (%)
			Раздвигание бифуркации ОСА Dilution to the sides bifurcation of artery carotid communis	Прорастание артерий Invading carotid artery	
Каротидная параганглиома Carotid paraganglioma n = 71	Неоднородное преимущественно гипозоногенное с четкими ровными контурами Heterogeneous, mainly hypoehogenic, with smooth, clear contours (100%)	Гиперваскулярные с преобладанием артериального кровотока Hypervascular with predominance arterial blood flow 71 (100%)	Да / Yes 71 (100%)	Нет / No (0%)	2 (3%)
Вагальная параганглиома Vagal paraganglioma n = 18	Неоднородное преимущественно гипозоногенное с четкими ровными контурами Heterogeneous, mainly hypoehogenic, with smooth, clear contours (100%)	Гиперваскулярные с преобладанием артериального кровотока Hypervascular with predominance arterial blood flow 18 (100%)	Нет / No 18 (100%)	4 (22%)	2 (11%)
Невринома Nevrinoma n = 10	Неоднородное преимущественно гипозоногенное с четкими ровными контурами Heterogeneous, mainly hypoehogenic, with smooth, clear contours (100%)	Гиповаскулярные с преобладанием венозного кровотока – 9 (90%), аваскулярные – 1 (10%) Hypovascular with predominance venous blood flow – 9 (90%), avascular – 1 (10%)	Нет / No 10 (100%)	Нет / No (0%)	Нет / No (0%)



Как видно из представленной таблицы, из всех опухолей только в 2 наблюдениях вагальные параганглиомы прорастали в адвентицию СА, что делало их хирургическое удаление сопряженным с необходимостью выполнения сосудистого этапа операции. В обоих случаях в ходе операции не удалось отделить опухоль от ВСА и патологоанатомическое исследование подтвердило прорастание опухоли в адвентицию ВСА. Отсутствие свободного от образования дистального отдела ВСА у 2 пациентов с каротидной параганглиомой и 2 больных с вагальной параганглиомой сопряжено с их размерами более 65 мм.

Проанализированная в ходе исследования общность ультразвуковых признаков неорганных нейроэктодермальных опухолей шеи позволила нам выстроить диагностический алгоритм для УЗИ. Выявление в В-режиме характерного солидного образования с четко определяемыми ровными контурами, в капсуле, имеющего неоднородную, преимущественно гипоехогенную структуру, напоминающую “соль–перец”, и располагающегося вблизи СА или в области каротидной бифуркации, позволяет предположить параганглиому. Исследование в режиме ЦДК внутриопухолевого кровотока при выявлении гиперваскулярного образования с расположением сосудов в виде “клубка” и преобладанием артериальных сосудов подтверждает предположение о параганглиоме, в то время как умеренная или низкая васкуляризация с преобладанием венозных сосудов свидетельствует в пользу невриномы. Характер взаимоотношения с СА позволяет диагностировать каротидные параганглиомы, поскольку их расположение в области каротидной бифуркации и “раздвигание” ВСА и НСА является патогномичным признаком этих опухолей. Для вагальных параганглиом характерно оттеснение ВСА и НСА кпереди. Наконец, для планирования операции предоставляем информацию о наличии свободного от опухоли дистального сегмента ВСА, поскольку этот аспект может определить степень травматичности операции и стать решающим в судьбе пациента.

Обсуждение

Несмотря на то что параганглиомы в области шеи являются редкими заболеваниями и отнесены к орфанным, понимание ключевых вопросов этиологии, а также общности инструментальной картины может способствовать быстрой и точной диагностике и направлению пациентов на лечение в профильные медицинские центры.

Наличие общих признаков различных параганглиом по данным лучевых методов исследования, таких как УЗИ, КТ и МРТ, дает возможность практи-

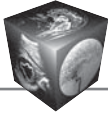
чески безошибочно поставить верный диагноз. УЗИ является методом диагностики первой линии при подозрении на наличие новообразований в области шеи. Наше исследование показало, что основные признаки, такие как особенности локализации, характерная для всех нейрогенных опухолей структура, взаимоотношение с СА, особенности внутриопухолевого кровотока, позволяют при УЗИ достоверно выявить и дифференцировать этот достаточно редкий тип опухолей. К характерным ультразвуковым признакам параганглиом следует отнести их четко определяемую солидную структуру с четкими ровными контурами, с наличием капсулы. Неоднородную гипоехогенную структуру опухолевой массы с наличием множественных гиперэхогенных включений, которую мы описывали во всех наблюдениях, в литературе авторы характеризуют термином “соль–перец” не только по данным УЗИ, но и при других лучевых исследованиях [7].

Локализация солидного образования в характерных зонах шеи – сонный треугольник, по ходу блуждающего нерва или в зоне его нодозного узла также является аргументом в диагностике с другими солидными новообразованиями в области шеи, а также позволяет дифференцировать между собой каротидную и вагальную параганглиомы, что обусловлено, прежде всего, происхождением этих опухолей [7, 8].

Также не случайным становится и взаимоотношение образований с СА. Так, каротидная параганглиома растет по адвентиции СА, “раздвигая” ВСА и НСА. Вагальная же параганглиома распространяется по периневрию блуждающего нерва, что обуславливает оттеснение ВСА и НСА кпереди, поскольку блуждающий нерв располагается заднелатерально по отношению к СА.

Одним из важнейших вопросов в лечении этих больных является оценка их злокачественности. Ранее считалось, что большинство параганглиом головы и шеи является доброкачественными, и лишь в 6–19% случаев они дают метастазы за пределы опухоли, что значительно снижает выживаемость пациентов. Однако с 2017 г. Международное агентство по изучению рака не разделяет параганглиомы на доброкачественные и злокачественные. Все экстраадренальные параганглиомы рассматривают как опухоли, имеющие определенный потенциал злокачественности [9].

В настоящее время нет четких гистологических маркеров метастазирования, однако предполагается, что опухоли размером более 5 см и с наличием мутаций гена последовательности сукцинатдегидрогеназы более подвержены метастазированию. Чаще всего метастазирование происходит



в регионарные лимфатические узлы, но имеет место и отдаленное метастазирование в легкие и кости. Известно, что параганглиомы могут иметь семейную этиологию, особенно среди лиц с мутациями генетических последовательностей фермента сукцинатдегидрогеназы. Доля наследственных случаев параганглиом может достигать 33–50%. Существует мнение, что наследование определенных генетических изменений, таких как мутация гена онкосупрессора VHL, мутация протоонкогена RET и мутация гена-онкосупрессора NF-1, может повысить риск злокачественных форм заболевания [10, 11]. Мультифокальность и двусторонние поражения связаны именно с наследственными синдромами [12]. Наше исследование показало, что по данным УЗИ нет признаков, свидетельствующих о злокачественности образования (при ретроспективном анализе данных пациентов с двусторонним поражением, рецидивами параганглиомы и метастазом в шейный лимфатический узел). Анализ литературных источников свидетельствует, что не выявлено признаков злокачественности параганглиом и по результатам других лучевых методов исследования.

Основным методом лечения пациентов с неврогенными опухолями шеи считаются открытая операция и полное удаление опухоли, особенно в случае каротидных параганглиом. Успех оперативного вмешательства во многом определяется объемом полученной на дооперационном этапе информации о распространенности опухолевого поражения и взаимоотношения образования с каротидными сосудами с целью выработки определенной оперативной тактики. Зачастую именно сосудистый этап операции радикального иссечения параганглиомы является основным и решающим в судьбе больного.

Особенностью параганглиом является склонность к циркулярному обрастанию СА, инфильтративный рост вдоль сосудисто-нервного пучка с распространением к основанию черепа. Это обстоятельство зачастую приводит к диагностическим дооперационным трудностям оценки резектабельности опухоли и хирургическим интраоперационным сложностям, сопряженным с повреждением и перевязкой магистральных сосудов в ходе выполнения оперативного лечения, а также к повреждению черепно-мозговых нервов. Оценка распространенности опухоли по отношению к основанию черепа становится еще одним важным критерием предоперационной диагностики для минимизации таких осложнений, как повреждение черепных нервов и величина интраоперационной кровопотери [13].

С точки зрения хирургических аспектов предполагаемого оперативного вмешательства с учетом оценки степени риска предстоящей операции эффективно использование топографо-анатомической классификации W.R. Shamblyn и соавт. (1971) [14], основанной на размере опухоли, степени контакта опухоли с СА и, как следствие, сложности хирургического доступа. Но ранее в 1967 г. Л.А. Атанасян предложил классификацию взаимоотношения каротидной параганглиомы с СА, которую мы и использовали в своей работе [5].

Учитывая особенности роста этих образований, их тесную связь с СА, уже на этапе первичного обследования важно ориентировать этих пациентов на лечение в специализированных медицинских центрах, обладающих компетенциями не только в онкологии, но и в области сосудистой хирургии, поскольку зачастую именно сосудистый этап операции дает возможность обеспечить радикальное удаление опухоли [8].

Заключение

В представленной работе впервые предложен алгоритм этапов УЗИ, который позволит точно дифференцировать параганглиомы от других многочисленных и разнородных образований в области шеи. Локализация опухоли, характер внутриопухолевого кровотока и их взаимоотношение с СА дают возможность оценить происхождение нейrogenной опухоли. Алгоритм исследования разработан таким образом, что уже при первичном УЗИ хирургу возможно составить представление о ее резектабельности.

Участие авторов

Тимина И.Е. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста.

Бурцева Е.А. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

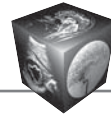
Пяткова И.И. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

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

Authors' participation

Timina I.E. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, writing text.

Burtseva E.A. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data



Pyatkova I.I. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

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

Список литературы [References]

1. Фалилеев Г.В. Опухоли шеи. М.: Медицина, 1978. 168 с. Falileev G.V. Neck tumors. M.: Medicine, 1978. 168 p. (In Russian)
2. Erikson D., Kudva Y.C., Ebersold M.J. et al. Benign paragangliomas: clinical presentation and treatment outcomes in 236 patients. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2001; 86 (11): 5210–5216. <https://doi.org/10.1210/jcem.86.11.8034>
3. Cass N.D., Schopper N.A., Lubin J.A. et al. The changing paradigm of head and neck paragangliomas: what every otolaryngologist needs to know. *Ann. Otol. Rhinol. Laringol.* 2020; 129 (11): 1135–1143. <https://doi.org/10.1177/0003489420931540>
4. Чупин А.В., Вердикханов Н.И., Головюк А.Л. Параганглиомы шеи. Хирургия. Журнал имени Н.И. Пирогова. 2022; 7: 64–70. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202207164>
Chupin A.V., Verdikhanov N.I., Golovyuk A.L. Modern conceptions on neck paragangliomas. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2022; 7: 64–70. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202207164> (In Russian)
5. Атанасян Л.А. Хемодектомы. М.: Медицина, 1967. 92 с. Atanasyan L.A. Chemodectomy. Moscow: Medicine, 1967. 92 p. (In Russian)
6. Guichard J.P., Fanhry N., Franc J., et al. Morphological and functional imaging of neck paragangliomas. *Eur. Ann. Otorhin., Head and Neck Des.* 2017; 134 (4): 243–248.
7. Thelen J., Bhatt A. Multimodality imaging of paragangliomas of head and neck. *Insights Imaging.* 2019; 10: 29.
8. Sajid M.S., Hamilton J., Baker D.M. A multicenter review of carotid body tumor management. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2007; 34 (2): 127–130. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2007.01.015>
9. Guilmette J., Sadov P.M. A guide to Pheochromocytomas and Paragangliomas. *Surg. Pathol. Clin.* 2019; 12 (4): 951–965. <https://doi.org/10.1016/j.path.2019.08.009>
10. Trache M.C., Bottcher A., Betz C.S. Heredity head and neck paraganglioma: from basis to practical consequences. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2023; 31 (2): 111–117. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000867>
11. Hensen E.F., Bayley J.P. Recent advances in the genetics of SDH-related paraganglioma and pheochromocytoma. *Fam. Cancer.* 2011; 10 (2): 355–363. <https://doi.org/10.1007/s10689-010-9402-1>
12. Williams M.D. Paragangliomas of the head and neck. An Overview from diagnosis to genetics. *Head and Neck Pathol.* 2017; 11 (3): 278–287. <https://doi.org/10.1007/s12105-017-0803-4>
13. Kim G.Y., Lawrence P.F., Moridzadeh R.S. et al. New predictors of complications in carotid body tumor resection. *J. Vasc. Surg.* 2017; 65 (6): 1673–1679. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2016.12.124>
14. Shamblin W., Remine W., Sheps S., Harrison E. Carotid body tumor (chemodectoma). *Am. J. Surg.* 1971; 122: 732–739. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(71\)90436-3](https://doi.org/10.1016/0002-9610(71)90436-3)

Для корреспонденции*: Для корреспонденции*: Тимина Ирина Евгеньевна – e-mail: timina68@mail.ru

Тимина Ирина Евгеньевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики и лечения ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7026-9417>

Бурцева Елена Анатольевна – доктор мед. наук, врач отделения ультразвуковой диагностики и лечения ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0009-1852-1326>

Пяткова Ирина Игоревна – научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики и лечения ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4510-9395>

Кармазановский Григорий Григорьевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9357-0998>

Contact*: Irina E. Timina – e-mail: timina68@mail.ru

Irina E. Timina – Doct. of Sci. (Med.), Leading Researcher of the Department of Ultrasound Diagnostics A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7026-9417>

Elena A. Burtceva – Doct. of Sci. (Med.), doctor of the Department of Ultrasound Diagnostics A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-1852-1326>

Irina I. Pyatkova – Researcher of the Department of Ultrasound Diagnostics A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4510-9395>

Grigory G. Karmazanovsky – Russian Academy of Sciences (RAS) Full Member, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Diagnostic Radiology Department at the Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9357-0998>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1329>

Согласованность эхокардиографической оценки тяжести митральной регургитации методами волюметрии и PISA с данными МРТ у пациентов со вторичной митральной регургитацией со сниженной фракцией выброса

© Базылев В.В., Бабуков Р.М. *, Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И.

ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России; 440071 Пенза, ул. Стасова, 6, Российская Федерация

Цель исследования: сравнить согласованность эхокардиографических показателей $V_{\text{мр}}$ и фракции регургитации (ФР), полученных методом PISA и волюметрическим методом, с показателями $V_{\text{мр}}$ и ФР, полученных с помощью МРТ, у пациентов со вторичной митральной регургитацией (МР) со сниженной ФВ ЛЖ.

Материал и методы. В анализ были включены данные 433 пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ (менее 35%). Пациенты были разделены на 2 группы:

1-я группа: 286 пациентов, средний возраст 64 ± 10 лет, у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось методом PISA.

2-я группа: 147 пациентов, средний возраст 63 ± 11 лет, у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось волюметрическим методом.

Результаты. Выявлена умеренная корреляционная связь между показателями, полученными по данным МРТ и эхокардиографии в зависимости от применяемого метода: волюметрический метод – $V_{\text{мр}}$ $r = 0,54$, $p = 0,01$ и ФР $r = 0,56$, $p = 0,01$, метод PISA – $V_{\text{мр}}$ $r = 0,36$, $p = 0,01$ и ФР $r = 0,3$, $p = 0,01$. Согласованность в категориальных оценках тяжести МР между методом PISA и МРТ составила 27% в диагностике тяжелой МР и 50% в диагностике умеренной МР. Согласие в категориальных оценках тяжести МР между волюметрическим методом и МРТ составило 46% в диагностике тяжелой МР и 65% в диагностике умеренной МР. При анализе методом Бланда–Альтмана средняя разница $V_{\text{мр}}$ между методом PISA и МРТ составила $7,6 \pm 13$ мл с пределами совпадения (30; –25 мл), а средняя разница $V_{\text{мр}}$ между волюметрическим методом и МРТ составила $-2,5 \pm 7,3$ мл с пределами совпадения (–12; 17 мл).

Заключение. Показатели МРТ и эхокардиографии вне зависимости от применяемого метода имеют умеренную согласованность в оценке $V_{\text{мр}}$ и ФР у пациентов со вторичной МР при сниженной ФВ. Волюметрический метод может являться методом выбора при расчетах количественных показателей тяжести МР, так как обладает лучшей согласованностью с данными МРТ в сравнении с методом PISA.

Ключевые слова: митральная регургитация; волюметрический метод; фракция регургитации; МРТ

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

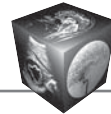
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И. Согласованность эхокардиографической оценки тяжести митральной регургитации методами волюметрии и PISA с данными МРТ у пациентов со вторичной митральной регургитацией со сниженной фракцией выброса. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 76–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1329>

Поступила в редакцию: 03.02.2023.

Принята к печати: 26.06.2023.

Опубликована online: 30.09.2023.



Consistency of echocardiographic assessment of the severity of mitral regurgitation using volumetric and PISA methods with MRI data in patients with secondary mitral regurgitation with reduced ejection fraction

© Vladlen V. Bazylev, Ruslan M. Babukov*, Fedor L. Bartosh, Alena V. Levina, Artur I. Mikulyak

Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza; 6, Stasova str., Penza 440071, Russian Federation

Objectives: to compare the consistency of echocardiographic Vmr and FR obtained by PISA and volumetric methods with Vmr and FR obtained by MRI in patients with secondary MR with reduced LV EF.

Materials and methods. The analysis included data from 433 patients with secondary mitral regurgitation with reduced LV EF (less than 35%). The patients were divided into 2 groups:

Group 1 – 286 patients with an average age of 64 ± 10 years, in whom the calculation of R_{vol} and RF was carried out by the PISA method.

Group 2 – 147 patients with an average age of 63 ± 11 years, in whom the calculation of R_{vol} and RF was carried out by the volumetric method.

Results. A moderate correlation was found between the indicators obtained by MRI and echocardiography, regardless of the method used, volumetric method $R_{vol} r = 0.54$, $p = 0.01$ and RF $r = 0.56$, $p = 0.01$, PISA method R_{vol} , $r = 0.36$, $p = 0.01$ and RF, $r = 0.3$, $p = 0.01$. The agreement in MR severity categorical scores between PISA and MRI was 27% in the diagnosis of severe mitral regurgitation and 50% in the diagnosis of moderate MR. The consistency in categorical MR severity scores between volumetric and MRI was 46% in the diagnosis of severe mitral regurgitation and 65% in the diagnosis of moderate MR. In the Bland–Altman analysis, the average difference in R_{vol} between PISA and MRI was 7.6 ± 13 ml with coincidence limits (30; –25 ml), the average difference in R_{vol} between volumetric and MRI was -2.5 ± 7.3 ml with coincidence limits (–12; 17 ml).

Conclusions. MRI and echocardiography regardless of the method used have only a moderate correlation in the assessment of R_{vol} and RF in patients with secondary MR with reduced EF. The volumetric method may be the method of choice when calculating quantitative indicators of MR severity, as it has better agreement with MRI data compared to the PISA method.

Keywords: mitral regurgitation; volumetric method; regurgitation fraction; MRI

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

For citation: Bazylev V.V., Babukov R.M., Bartosh F.L., Levina A.V., Mikulyak A.I. Consistency of echocardiographic assessment of the severity of mitral regurgitation using volumetric and PISA methods with MRI data in patients with secondary mitral regurgitation with reduced ejection fraction. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 76–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1329>

Received: 03.02.2023.

Accepted for publication: 26.06.2023.

Published online: 30.09.2023.

Список сокращений

MP – митральная регургитация

MPT – магнитно-резонансная томография

ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка

V_{MP} – объем митральной регургитации

ФР – фракция регургитации

ERO – эффективная площадь регургитирующего отверстия

PISA – проксимальная изоскоростная поверхность

КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка

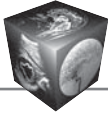
КСО ЛЖ – конечный систолический объем левого желудочка

эфУОЛЖ – эффективный ударный объем левого желудочка

ВТЛЖ – выносящий тракт левого желудочка

Введение

Митральная регургитация (MP) является вторым по распространенности клапанным пороком сердца после аортального стеноза [1]. Тяжелая MP связана со снижением выживаемости и требует хирургической коррекции [1]. Эхокардиография



на сегодняшний день остается первоочередным и наиболее широко используемым методом визуализации для оценки тяжести МР. Магнитно-резонансная томография (МРТ) сердечно-сосудистой системы также за последние годы зарекомендовала себя как надежный неинвазивный метод визуализации, обладающий высокими диагностическими и прогностическими способностями при оценке выраженности МР, а также размера и функции желудочков сердца [2–4]. В современных рекомендациях указывается, что МРТ может быть хорошим дополнительным методом для уточнения степени МР, особенно когда существуют сомнения после проведенной эхокардиографии [5, 6].

Ряд исследований у пациентов с первичной МР с сохраненной фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) продемонстрировали, что эхокардиография обладает низкой или умеренной согласованностью с МРТ в оценке показателей объема ($V_{\text{мр}}$) и фракции митральной регургитации (ФР). Согласно нескольким исследованиям, МРТ обеспечивала лучшую воспроизводимость данных показателей, а их значения обладали лучшим влиянием на прогноз по сравнению с эхокардиографией [7–13]. Данные о согласованности эхокардиографических показателей и МРТ у пациентов при вторичной МР и сниженной ФВ ЛЖ ограничены. Согласно текущим руководствам, количественные показатели МР ($V_{\text{мр}}$, ФР и эффективная площадь регургитирующего отверстия – ERO) являются основными параметрами в оценке тяжести вторичной МР у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ. Для расчета количественных показателей в клинической практике наиболее часто используют метод площади проксимальной изоскоростной поверхности (PISA) и волюметрический метод (разница ударного объема (УО) ЛЖ по методу Симпсона и УО в выносящем тракте левого желудочка (ВТЛЖ), полученного с помощью уравнения непрерывности). В ранних исследованиях оба метода продемонстрировали хорошую диагностическую способность в определении степени МР и были рекомендованы в эхокардиографических руководствах [14–18].

В нашем исследовании мы сравнили согласованность этих двух эхокардиографических методов в расчетах количественных показателей с данными, полученными с помощью МРТ.

Цель исследования: сравнить согласованность эхокардиографических показателей $V_{\text{мр}}$ и ФР, полученных методом PISA и волюметрическим методом, с показателями $V_{\text{мр}}$ и ФР, полученных с помощью МРТ, у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ.

Материал и методы

Ретроспективно были отобраны данные 570 пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ, которым были выполнены эхокардиография и МРТ. Из отобранного числа пациентов были исключены пациенты с низким качеством визуализации, ФВ ЛЖ более 35%, постоянной формой фибрилляции предсердий, умеренной и тяжелой аортальной регургитацией, тяжелым и умеренным митральным стенозом, сопутствующим дефектом межжелудочковой и межпредсердной перегородки, а также неполными эхокардиографическими и МРТ-данными для анализа. В анализ были включены данные 433 пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ (менее 35%).

Пациенты были разделены на 2 группы.

1-я группа: 286 пациентов (средний возраст 64 ± 10 лет), у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось методом PISA.

2-я группа: 147 пациентов (средний возраст 63 ± 11 лет), у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось волюметрическим методом.

Эхокардиография. Эхокардиографические измерения проводили в соответствии с рекомендациями Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации [18]. При каждом обследовании регистрировали артериальное давление и частоту сердечных сокращений. Конечный диастолический объем ЛЖ (КДО ЛЖ), конечный систолический объем ЛЖ (КСО ЛЖ), ФВ ЛЖ и объем левого предсердия вычисляли по методу Симпсона методом *Biplane*. Измерения диаметра ВТЛЖ были произведены в парастернальной проекции по длинной оси в середине систолы методом от внутреннего края к внутреннему краю не более чем на 10 мм от аортального клапана. Эффективный ударный объем левого желудочка (эфУОЛЖ) измеряли с помощью импульсно-волнового (ИВ) доплеровского режима в ВТЛЖ из интегралов линейной скорости по уравнению непрерывности потока. Оценка тяжести МР проводилась по мультипараметрическому принципу, опираясь в основном на количественные показатели $V_{\text{мр}} \geq 30$ мл, ФР $\geq 50\%$ и значения ERO $\geq 0,2 \text{ см}^2$ [18].

Vena contracta измерялась в парастернальной проекции по длинной оси как самая узкая часть струи. Поток МР и интеграл линейной скорости потока определяли с использованием непрерывного доплеровского режима. Размер PISA измеряли в апикальных 3- или 4-камерных проекциях в середине систолы с нижним пределом Найквиста, установленным на уровне от 30 до 40 см/с.

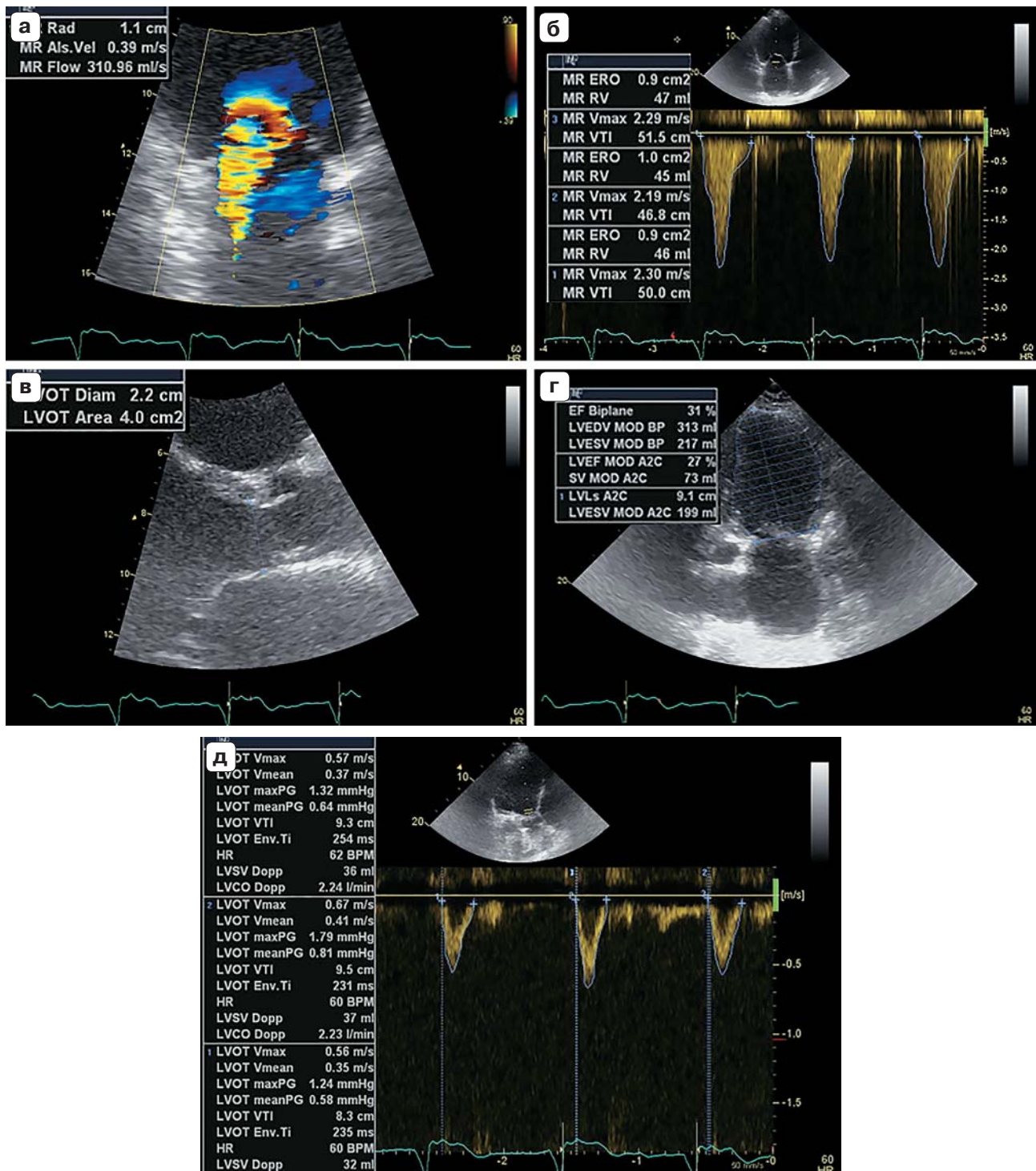
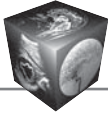


Рис. 1. Эхокардиографические измерения объема МР методом PISA (а, б) и волюметрическим методом (в–д). а – цветное доплеровское картирование, измерение радиуса PISA; б – ИВ-доплерография в апикальном 5-камерном сечении, транслировка потока с вычислением объема МР; в – измерение диаметра ВТЛЖ в парастернальном сечении по длинной оси; г – измерение УО ЛЖ по методу Симпсона; д – ИВ-доплерография в апикальном 5-камерном сечении, транслировка потока с вычислением эффективного УО ЛЖ.

Fig. 1. Echocardiographic measurements of MR volume by the PISA method (а, б) and volumetric method (в–д). а – color Doppler mapping, measurement of the PISA radius; б – IV-Dopplerography in the apical 5-chamber section, flow tracing with the calculation of MR volume; в – measurement of the diameter of the LVL in the parasternal section by long axis; г – measurement of LV shock volume by the Simpson method; д – IV-Dopplerography in the apical 5-chamber section, flow tracing with calculation of the effective impact volume of LV.



Волюметрический метод. Значения V_{MP} , ФР и ERO волюметрическим методом рассчитывали по формулам:

$$\begin{aligned} V_{MP} &= \text{УОЛЖ} - \text{эфУОЛЖ}; \\ \text{ФР} &= V_{MP} / \text{УОЛЖ} \times 100; \\ \text{ERO} &= V_{MP} / \text{VTI} \text{ (потока митральной} \\ &\text{регургитации),} \end{aligned}$$

где V_{MP} – объем МР; УОЛЖ – ударный объем ЛЖ, вычисленный по методу Симпсона; эфУОЛЖ – эффективный ударный объем ЛЖ, рассчитанный по уравнению непрерывности в ВТЛЖ; ERO – площадь эффективного регургитирующего отверстия; VTI – интеграл линейной скорости потока МР (рис. 1).

Волюметрический метод применяли у пациентов при эксцентричной струе (эффekte Коанда).

Метод PISA. Значения V_{MP} , ФР и ERO при применении метода рассчитывали по формулам:

$$\begin{aligned} \text{ERO} &= Q_{\max} / V_{\max}; \\ V_{MP} &= \text{ERO} \times \text{VTI}; \\ \text{ФР} &= V_{MP} / \text{УОЛЖ} \times 100, \end{aligned}$$

где ERO – площадь эффективного регургитирующего отверстия; Q_{\max} – объемная скорость регургитации; V_{\max} – максимальная скорость потока МР при использовании непрерывноволнового доплера; V_{MP} – объем митральной регургитации; VTI – интеграл линейной скорости потока МР (см. рис. 1).

Изображения были получены с синхронизацией с ЭКГ и задержкой дыхания. При каждом обследовании проводили регистрацию артериального давления и частоты сердечных сокращений. Объем МР по МРТ определяли из разницы между УО ЛЖ, полученным методом Симпсона из киноизображений, и УО в восходящей аорте, полученным с помощью фазово-контрастных изображе-

ний. Фазово-контрастные изображения были получены ортогонально проксимальной части аорты для количественной оценки потока с использованием параметров: TR = 57 мс, TE = 1,21 мс, кодирование скорости (V_{enc}) – 230 см/с; поле зрения – 376 мм; матрица – 256 × 128; толщина среза – 8 мм.

Полученные показатели объема МР и ФР классифицировали в соответствии с рекомендациями Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации по степеням: тяжелая МР ($V_{MP} > 30$ мл и ФР > 50%), умеренная МР ($V_{MP} < 30$ мл и ФР от 30 до 50%) и легкая МР ($V_{MP} < 30$ мл и ФР < 30%) [18].

Статистика. База данных составлялась в виде электронных таблиц в программе Microsoft Office Excel. Обработка данных производилась в демо-версии SPSS Statistics. Результаты представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее значение, SD – стандартное отклонение. Значимость различий между количественными признаками определялась при помощи t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при уровне $p < 0,05$. Корреляцию между значениями оценивали с помощью метода линейной регрессии с оценкой корреляции Пирсона (r) и дисперсионного компонентного анализа. Согласованность методов была оценена методом Бланда–Альтмана с построением диаграмм и вычислением среднего различия между методами.

Результаты

Из 433 пациентов, включенных в исследование, 352 (81%) пациента имели ишемическую МР и 81 (19%) пациент имел МР неишемического характера, вызванную различными видами кардиомиопатий. В табл. 1, 2 представлены исходные клинические и эхокардиографические данные пациентов. Среднее время между эхокардиографическим

Таблица 1. Клинико-морфологические характеристики пациентов

Table 1. Clinical and morphological characteristics of patients

Клинические характеристики / Clinical characteristics	n = 433
Возраст, годы / Age, years	63.8 ± 11
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	28.5 ± 5.8
ППТ, м ² / BSA, m ²	1.86 ± 2.3
Перенесенный инфаркт миокарда / Previous myocardial infarction	352 (81%)
Инфаркт миокарда, осложненный ишемической кардиомиопатией Myocardial infarction complicated by ischemic cardiomyopathy	208 (59%)
Инфаркт миокарда, осложненный аневризмой верхушки ЛЖ Myocardial infarction complicated by aneurysm of the LV apex	124 (36%)
Инфаркт миокарда, осложненный аневризмой нижней стенки ЛЖ Myocardial infarction complicated by an aneurysm of the inferior wall of the LV	20 (5%)
Дилатационная кардиомиопатия / Dilated cardiomyopathy	81 (19%)

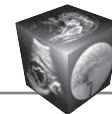


Таблица 1 (окончание)
Table 1 (end)

Морфологические характеристики митральной регургитации Morphological characteristics of mitral regurgitation	
Тентеринг задней створки МК / Tethering the posterior leaflet of the mitral valve	127 (29%)
Дилатация фиброзного кольца МК / Mitral valve annulus dilatation	242 (56%)
Тентеринг задней и передней створок МК / Tenting mitral valve leaflets	44 (10%)
Разрыв хорд задней створки МК / Rupture of the chords of the posterior valvular valve	19 (4%)
Разрыв заднемедиальной папиллярной мышцы / Posteromedial papillary muscle rupture	1 (1%)

Примечание. ИМТ – индекс массы тела, ППТ – площадь поверхности тела, ЛЖ – левый желудочек, МК – митральный клапан.

Note. BMI – body mass index, BSA – body surface are, LV – left ventricle, MV – mitral valve.

Таблица 2. Эхокардиографические и МРТ-характеристики пациентов
Table 2. Echocardiographic and MRI characteristics of patients

Показатели / Parameters	n = 433
Эхокардиографические показатели Echocardiographic parameters	
КДО ЛЖ, мл / LV EDV, ml	293 ± 78
КСО ЛЖ, мл / LV ESV, ml	223 ± 51
ФВ ЛЖ, % / LV EF, %	24 ± 5
УО ЛЖ, мл / LV SV, ml	70 ± 16
ЭФУОЛЖ, мл / Effective LV SV, ml	46 ± 10,6
ЕРО, см ² / ERO, cm ²	0.2 ± 0.1
VC, мм / VC, mm	5 ± 1,7
Скорость пика E, м/с / Peak velocity E, m/s	1.1 ± 0.3
V _{MP} , мл / R _{Vol} , ml	24 ± 11
ФР _{MP} , % / RF _{MP} , %	32 ± 11
Объем левого предсердия, мм ³ Left ventricle volume, mm ³	134 ± 39
Голосистолический поток МР / Holosystolic flow of MR	370 (85%)
СДЛА / SDLA	46 ± 8
Легкая МР / Mild MR	57 (13%)
Умеренная МР / Moderate MR	273 (63%)
Тяжелая МР / Severe MR	103 (24%)
Показатели МРТ Parameters MRI	
КДО ЛЖ, мл / EDV, ml	330 ± 86
КСО ЛЖ, мл / ESV, ml	254 ± 66
ФВ ЛЖ, % / LV EF, %	23 ± 4
УО ЛЖ, мл / LV SV, ml	75 ± 19
ЭФУОЛЖ, мл / Effective LV SV, ml	56 ± 11,5
V _{MP} , мл / R _{Vol} , ml	19 ± 11
ФР _{MP} , % / RF _{MP} , %	23 ± 15
Объем левого предсердия, мм ³ Left ventricle volume, mm ³	143 ± 47
Легкая МР / Mild MR	169 (39%)
Умеренная МР / Moderate MR	212 (49%)
Тяжелая МР / Severe MR	52 (12%)

Примечание. Здесь и в табл. 3: КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка, КСО ЛЖ – конечный систолический объем левого желудочка, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, УО ЛЖ – ударный объема левого желудочка, ЭФУОЛЖ – эффективный ударный объем левого желудочка, ЕРО – площадь эффективно регургитирующего отверстия, VC – ширина *vena contracta*, МР – митральная регургитация, V_{MP} – объем митральной регургитации, ФР_{MP} – фракция митральной регургитации, СДЛА – систолическое давление в легочной артерии.

Note. Here and in the Table 3: BMI – body mass index, BSA – body surface area, LV EDV – final end diastolic volume LV, LV ESV – final systolic volume LV, LV EF – ejection fraction LV, LV SV – shock volume LV, Effective LV SV – effective percussive volume LV, ERO – area of the effective regurgitating orifice, VC – width of the *vena contracta*, MR – mitral regurgitation, RVol – volume of mitral regurgitation, RF MR – fraction of mitral regurgitation, SDLA – systolic pressure in the pulmonary artery.

**Таблица 3.** Сравнение эхокардиографических показателей и показателей МРТ**Table 3.** Comparison of echocardiographic parameters and MRI parameters

Показатели Parameters	МРТ MRI	Волюметрический метод Volumetric methods	p	МРТ MRI	Метод PISA PISA method	p
КДО ЛЖ, мл / LV EDV, ml	334 ± 78	299 ± 78	<0.001	335 ± 71	296 ± 78	<0.001
КСО ЛЖ, мл / LV ESV, ml	259 ± 38	228 ± 25	<0.001	225 ± 37	226 ± 28	<0.001
УО ЛЖ, мл / LV SV, ml	75 ± 15	71 ± 14	<0.001	78 ± 16	70 ± 13	<0.001
ЭфУОЛЖ, мл Effective LV SV, ml	53 ± 11	52 ± 10	0.2	55 ± 12	40 ± 10	<0.001
ФВ ЛЖ, % / LV EF, %	23 ± 6,4	26 ± 7	<0.001	24 ± 6	24 ± 4	<0.001
V _{мр} , мл / RVol, ml	22 ± 14	19 ± 15	0.01	23 ± 13	30 ± 15	<0.001
ФР _{мр} , % / RF _{мр} , %	29 ± 14	27 ± 16	0.01	23 ± 13	41 ± 16	<0.001

Таблица 4. Сравнение категориальных оценок тяжести МР в группе метода PISA и МРТ**Table 4.** Comparison of categorical assessments of the severity of MR in the PISA group and MRI

Эхокардиография Echocardiography	МРТ / MRI			Всего / Total
	тяжелая / severe	умеренная / moderate	малая / mild	
Малая / Mild	0	2 (4%)	42 (96%)	44
Умеренная / Moderate	10 (6%)	91 (50%)	80 (44%)	181
Тяжелая / Severe	16 (27%)	39 (65%)	5 (8%)	60

Таблица 5. Сравнение категориальных оценок тяжести МР в группе с волюметрическим методом эхокардиографии и МРТ**Table 5.** Comparison of categorical assessments of the severity of mitral regurgitation in the group with the volumetric method of echocardiography and MRI

Эхокардиография Echocardiography	МРТ / MRI			Всего / Total
	тяжелая / severe	умеренная / moderate	малая / mild	
Малая / Mild	0	1 (7%)	12 (93%)	13
Умеренная / Moderate	6 (6.4%)	60 (65.5%)	26 (28.2%)	92
Тяжелая / Severe	20 (46.5%)	20 (46.5%)	3 (7%)	43

исследованием и МРТ составило $1,1 \pm 0,3$ дня. Не было статистически значимой разницы в частоте сердечных сокращений и систолическом артериальном давлении во время проведения эхокардиографии и МРТ: 84 ± 12 и 82 ± 12 , $p = 0,09$; 110 ± 15 мм рт.ст. и 114 ± 13 мм рт.ст., $p = 0,07$ соответственно. Среднее значение объемных показателей ЛЖ было меньше в обеих анализируемых эхокардиографических группах по сравнению с показателями МРТ. Средние значения показателей V_{мр} и ФР были выше в группе PISA по сравнению с данными МРТ. В группе с волюметрическим методом среднее значение V_{мр} и ФР было меньше по сравнению с данными МРТ (табл. 3). Выявлена умеренная корреляционная связь между показателями

полученными по данным МРТ и эхокардиографии в зависимости от применяемого метода: волюметрический метод – V_{мр} ($r = 0,54$, $p = 0,01$) и ФР ($r = 0,56$, $p = 0,01$); метод PISA: V_{мр} ($r = 0,36$, $p = 0,01$) и ФР ($r = 0,3$, $p = 0,01$). Согласованность в категориальных оценках тяжести МР между методом PISA и МРТ в диагностике тяжелой МР составила 27%, а в диагностике умеренной МР – 50%, легкой – 96% (табл. 4). Согласие в категориальных оценках тяжести МР между волюметрическим методом и МРТ составило 46% в диагностике тяжелой МР, 65% в диагностике умеренной МР и 93% в диагностике легкой МР (табл. 5).

При анализе методом Бланда–Альтмана средняя разница V_{мр} и ФР между методом PISA и МРТ

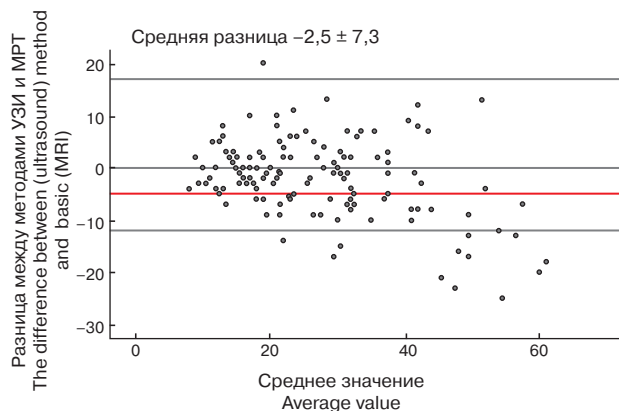
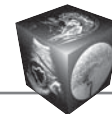


Рис. 2. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей R_{vol} волюметрического метода и МРТ.

Fig. 2. The Blend–Altman diagram of the consistency of R_{vol} parameters of the volumetric method and MRI.

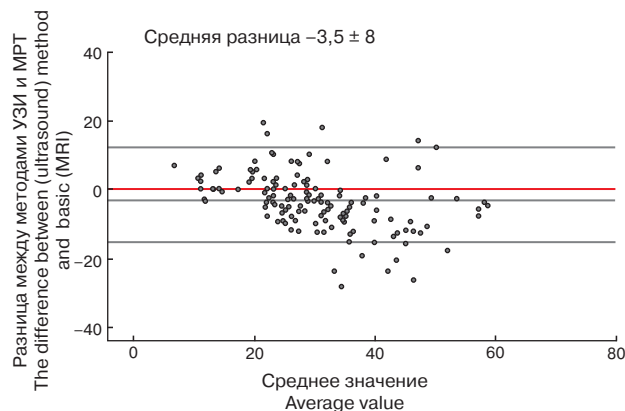


Рис. 4. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей ФР волюметрического метода и МРТ.

Fig. 4. The Blend–Altman diagram of the consistency of RF parameters of the volumetric method and MRI.

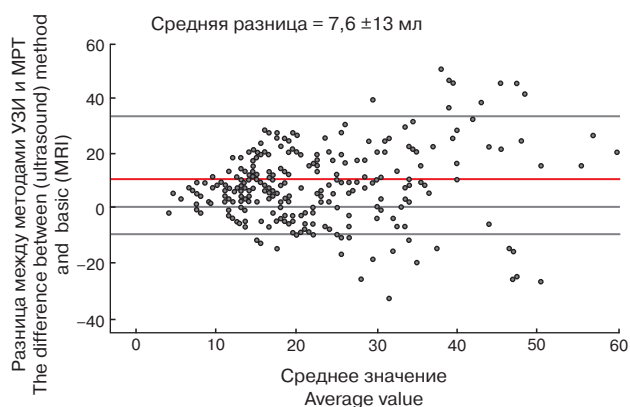


Рис. 3. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей R_{vol} метода PISA и МРТ.

Fig. 3. The Blend–Altman diagram of the consistency of the R_{vol} parameters of the PISA method and MRI.



Рис. 5. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей ФР метода PISA и МРТ.

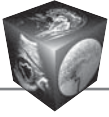
Fig. 5. The Blend–Altman diagram of the consistency of the RF parameters of the PISA method and MRI.

составила $7,6 \pm 13$ мл и $7 \pm 13,6\%$ с пределами совпадения (30; -25 мл), (33; $-19,6\%$) соответственно, а средняя разница V_{mp} и ФР между волюметрическим методом и МРТ составила $-2,5 \pm 7,3$ мл и $-3,5 \pm 8\%$ с пределами совпадения (-12 ; 17 мл) и ($-12,7$; 15,5%) соответственно (рис. 2–5).

Не было выявлено статистически значимой корреляционной связи между значениями КДО ЛЖ и показателями V_{mp} ($r = 0,3$, $p = 0,2$) и ФР ($r = 0,26$, $p = 0,2$) в группе метода PISA. В группе с волюметрическим методом значения КДО ЛЖ имели умеренную корреляционную связь с показателями V_{mp} ($r = 0,28$, $p = 0,04$) и ФР ($r = 0,3$, $p = 0,03$).

Обсуждение

МРТ – это новый метод в оценке тяжести МР, который может обеспечить всестороннюю оценку митрального клапана и МР. Согласно современным данным, МРТ обладает лучшей точностью и воспроизводимостью при оценке тяжести МР по сравнению с эхокардиографическим методом. Такое суждение сложилось после ряда сравнительных исследований, где было продемонстрировано, что МРТ и эхокардиография обладают низкой или умеренной согласованностью в оценке количественных показателей тяжести регургитации митрального клапана у пациентов с первичной МР [7–13].

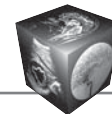


Оценка тяжести вторичной МР по сравнению с первичной является более сложной задачей, особенно у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ, так как применение многих эхокардиографических параметров может быть ограничено. В современных руководствах при оценке тяжести МР со сниженной ФВ ЛЖ основными параметрами МР являются: V_{MP} , ERO и ФР, но на сегодняшний день отсутствует согласованность в пороговых значениях этих параметров между Американской и Европейской ассоциациями сердечно-сосудистой визуализации. Американская ассоциация сердечно-сосудистой визуализации предлагает определять МР как тяжелую при значениях: $ERO \geq 0,4 \text{ см}^2$, $V_{\text{MP}} \geq 60 \text{ мл}$ и $\text{ФР} \geq 50\%$, а Европейская ассоциация сердечно-сосудистой визуализации – при значениях: $ERO \geq 0,2 \text{ см}^2$, $V_{\text{MP}} \geq 30 \text{ мл}$ и $\text{ФР} \geq 50\%$ [17–18]. В нашем центре при оценке тяжести МР мы придерживались рекомендаций Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации. Несмотря на то что в нашем исследовании оба метода продемонстрировали лишь умеренную корреляционную связь с данными МРТ, при использовании волюметрического метода коэффициент корреляции между эхокардиографией и МРТ был выше. Также нужно отметить, что была лучше согласованность в категориальной оценке тяжести МР при использовании волюметрического метода. Из 60 пациентов с диагнозом тяжелой МР по данным эхокардиографии, определенной с помощью метода PISA, лишь у 16 (27%) пациентов была подтверждена тяжелая МР по данным МРТ, в то время как в группе с волюметрическим методом из 44 пациентов с тяжелой МР по данным эхокардиографии она была подтверждена у 25 (46%) пациентов по данным МРТ. Нужно отметить, что расхождения в обеих группах иногда были очень существенными: до 8% пациентов в группе PISA и 7% в группе волюметрического метода с диагнозом тяжелой МР по данным эхокардиографии были реклассифицированы на легкую по данным МРТ. Согласованность результатов эхокардиографии и МРТ была самой высокой при диагностике легкой МР: метод PISA – 93%, волюметрический метод – 96% (см. табл. 4, 5). Это свидетельствует в пользу того, что с увеличением тяжести МР возрастают трудности эхокардиографической диагностики. Маловероятно, что плохая корреляция между МРТ и эхокардиографией связана с некачественными изображениями, так как из исследования были исключены пациенты с низким качеством визуализации. К тому же эхокардиографические и МРТ-исследования были оценены опытными врачами, оценку тяжести МР проводили на основе комплексного подхода согласно

Европейским рекомендациям. Также маловероятно, что разница в степени тяжести МР связана с одновременным получением двух визуализирующих методов, так как 96% пациентов, включенных в наше исследование, эхокардиографическое и МРТ-сканирование проводили в один день. В нашем исследовании не было достоверной разницы в показателях артериального давления и частоты сердечных сокращений в момент проведения эхокардиографии и МРТ. Ввиду этого, на наш взгляд, влияние факторов, которые могли способствовать изменению степени выраженности МР в нашем исследовании, минимально.

По данным нашего исследования средние значения V_{MP} и ФР при расчете с помощью метода PISA были выше по сравнению с МРТ. Анализ методом Бланда–Альтмана выявил достаточно большую среднюю разницу $V_{\text{MP}} = 7,6 \pm 13 \text{ мл}$ и $\text{ФР} 7 \pm 13,6\%$ между методом PISA и МРТ с широкими пределами совпадения (30; –25 мл) и (33; –19,6%) соответственно, в то время как средняя разница показателей между волюметрическим методом и МРТ была значительно меньше: $V_{\text{MP}} -2,5 \pm 7,3 \text{ мл}$ и $\text{ФР} -3,5 \pm 8\%$ соответственно, с меньшими пределами совпадения (–12; 17 мл) и (–12,7; 15,5%). Нужно отметить, что при увеличении среднего значения V_{MP} отмечалось увеличение разницы между двумя методами, это свидетельствует в пользу того, что с увеличением тяжести МР возрастают трудности эхокардиографической диагностики МР.

В ранее проведенных исследованиях уже сообщалось, что метод PISA может переоценивать показатели V_{MP} , ФР и ERO и имеет низкую согласованность с данными МРТ [8, 9]. Большая вариабельность между методом PISA и МРТ у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ связана с тем, что при расчете методом PISA существует обязательное предположение, что фиброзное кольцо митрального клапана имеет плоскую геометрию и конвергенция полусферического потока имеет круглое регургитирующее отверстие. Однако часто при вторичной МР со сниженной ФВ геометрия фиброзного кольца митрального клапана далеко не плоская, а регургитирующее отверстие имеет овальную, щелевидную или эллиптическую форму, что сказывается на точности в расчете по методу PISA. Еще больше может усложнять ситуацию то, что расчет количественных показателей ERO, V_{MP} и ФР методом PISA очень сильно зависит от правильного измерения радиуса зоны конвергенции проксимального потока МР. Поскольку оценка радиуса имеет квадратичное отклонение, ошибка в 1 мм при его измерении может привести к ошибке в расчете ERO и V_{MP} на 30–40% с последующей неправильной класси-



фикацией тяжести МР. Кроме того, поскольку расчет ERO основан на значении максимальной скорости МР, а уравнение для расчета предполагает, что ERO постоянна на всем протяжении систолы (что часто неверно), логично предположить, что максимальное рассчитанное значение ERO может быть часто больше истинного, особенно у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ. В уравнении для расчета $V_{\text{мр}}$ систолический средний градиент давления (который рассчитывается из интегралов линейной скорости кровотока МР) между ЛЖ и левым предсердием является значимой переменной в расчетах тяжести МР, на которую может оказывать влияние ряд факторов (включая сократимость левого желудочка, УО ЛЖ, системное артериальное давление, реологические свойства крови). Следовательно, игнорирование любого из этих факторов может спровоцировать ошибки в расчетных показателях $V_{\text{мр}}$, ФР и ERO.

В нашем исследовании было отмечено, что значения $V_{\text{мр}}$ и ФР, рассчитанные методом PISA, не имели корреляционной связи с КДО ЛЖ, в то время как значения $V_{\text{мр}}$ и ФР, рассчитанные волюметрическим методом, имели хоть и слабую, но статистически достоверную корреляционную связь с КДО ЛЖ. В исследовании A. Altes и соавт., в котором проводилось сравнение волюметрического метода и метода PISA с данными МРТ у пациентов с первичной МР, было продемонстрировано, что только значения $V_{\text{мр}}$, вычисленные волюметрическим методом, и МРТ, имели высокую корреляционную связь со значениями КДО ЛЖ [13]. Более низкая корреляционная связь $V_{\text{мр}}$ и ФР, рассчитанных волюметрическим методом, с КДО ЛЖ у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ, по нашему мнению, обусловлена тем, что у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ увеличение ЛЖ может происходить не только за счет увеличенной преднагрузки ЛЖ вследствие МР, но и за счет процесса постинфарктного ремоделирования ЛЖ (компенсаторной дилатацией ЛЖ для поддержания необходимого ударного объема по закону Франка–Старлинга).

В проведенном исследовании мы не оценивали влияние количественных показателей МР на отдаленный прогноз, хотя на сегодняшний день существуют данные, что значения $V_{\text{мр}}$ и ERO, вычисленные волюметрическим методом, имеют более высокие прогностические способности летальных событий по сравнению со значениями $V_{\text{мр}}$ и ERO, вычисленными методом PISA, у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ [19].

Несомненно, волюметрический метод также подвержен ошибкам в расчетах, связанных с ошибками в измерении диаметра ВТЛЖ, фено-

мена ракурса верхушки ЛЖ и трудностями дифференцировки истинных границ эндокарда ЛЖ, что может приводить к недооценке КДО ЛЖ и КСО ЛЖ и последующих расчетов $V_{\text{мр}}$ и ФР. Возможно, именно по этой причине мы получили лишь умеренную согласованность волюметрического метода с МРТ. По нашему мнению, у пациентов со вторичной МР целесообразно рассчитывать показатели $V_{\text{мр}}$ и ФР с помощью волюметрического метода, так как можно обойти некоторые ограничения, присущие методу PISA (эксцентрическая струя или множественные регургитации, вариабельность потока регургитации и т.д.), а при скрупулезности исследователя возможно минимизировать влияние вышеперечисленных факторов на расчетные показатели. Учитывая данные нашего и ранее проведенных исследований, мы считаем, что у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ для расчета количественных показателей ($V_{\text{мр}}$, ФР и ERO) необходимо отдавать предпочтение волюметрическому методу.

Заключение

Показатели МРТ и эхокардиографии вне зависимости от применяемого метода имеют умеренную согласованность в оценке $V_{\text{мр}}$ и ФР у пациентов со вторичной МР при сниженной ФВ ЛЖ. Волюметрический метод может являться методом выбора при расчетах количественных показателей тяжести МР, так как обладает лучшей согласованностью с данными МРТ в сравнении с методом PISA.

Участие авторов

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

Бабуков Р.М. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, концепция и дизайн исследования, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, подготовка изображений, ответственность за целостность всех частей статьи.

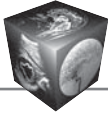
Бартош Ф.Л. – проведение исследования, сбор и обработка данных, участие в научном дизайне.

Лёвина А.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Микуляк А.И. – участие в научном дизайне.

Authors' participation

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



Babukov R.M. – conducting research, collection and analysis of data, concept and design of the study, writing text, preparation and creation of the published work images creation, analysis and interpretation of the obtained data.

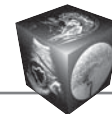
Bartosh F.L. – conducting research, collection and analysis of data, participation in scientific design.

Levina A.V. – conducting research, collection and analysis of data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Mikulyak A.I. – participation in scientific design.

Список литературы / References

1. lung B., Baron G., Butchart E.G. et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on Valvular Heart Disease. *Eur. Heart J.* 2003; 24 (13): 1231–1243. [http://doi.org/10.1016/s0195-668x\(03\)00201-x](http://doi.org/10.1016/s0195-668x(03)00201-x)
2. Garg P., Swift A.J., Zhong L. et al. Assessment of mitral valve regurgitation by cardiovascular magnetic resonance imaging. *Nat. Rev. Cardiol.* 2020; 17 (5): 298–312. <http://doi.org/10.1038/s41569-019-0305-z>
3. Myerson S.G., d'Arcy J., Christiansen J.P. et al. Determination of clinical outcome in mitral regurgitation with cardiovascular magnetic resonance quantification. *Circulation.* 2016; 133 (23): 2287–2296. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.017888>
4. Uretsky S., Argulian E., Narula J., Wolff S.D. Use of cardiac magnetic resonance imaging in assessing mitral regurgitation: current evidence. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 71: 547–563. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.009>
5. Baumgartner H., Falk V., Bax J.J. et al. ESC Scientific Document Group. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* 2017; 38 (36): 2739–2791. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx391>
6. Otto C.M., Nishimura R.A., Bonow R.O. et al. 2020 ACC/AHA Guideline for the management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2021; 143 (5): e35–e71. <http://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000932>
7. Maki J.H., Otto C.M. Prospective comparison of valve regurgitation quantitation by cardiac magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 6 (1): 48–57. <http://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.112.975623>
8. Uretsky S., Gillam L., Lang R. et al. Discordance between echocardiography and MRI in the assessment of mitral regurgitation severity: a prospective multicenter trial. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2015; 65 (11): 1078–1088. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.12.047>
9. Penicka M., Vecera J., Mirica D.C. et al. Prognostic implications of magnetic resonance-derived quantification in asymptomatic patients with organic mitral regurgitation: comparison with doppler echocardiography-derived integrative approach. *Circulation.* 2018; 137 (13): 1349–1360. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.029332>
10. Van De Heyning CM, Magne J, Piérard LA. et al. Assessment of left ventricular volumes and primary mitral regurgitation severity by 2D echocardiography and cardiovascular magnetic resonance. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2013; 11: 46. <http://doi.org/10.1186/1476-7120-11-46>
11. Lopez-Mattei J.C., Ibrahim H., Shaikh K.A. et al. Comparative assessment of mitral regurgitation severity by transthoracic echocardiography and cardiac magnetic resonance using an integrative and quantitative approach. *Am. J. Cardiol.* 2016; 117 (2): 264–270. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2015.10.045>
12. Uretsky S., Morales D.C.V., Aldaia L. et al. Characterization of primary mitral regurgitation with flail leaflet and/or wall-impinging flow. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 78 (25): 2537–2546. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.09.1382>
13. Altes A., Levy F., Iacuzio L. et al. Comparison of mitral regurgitant volume assessment between proximal flow convergence and volumetric methods in patients with significant primary mitral regurgitation: an echocardiographic and cardiac magnetic resonance imaging study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2022; 35 (7): 671–681. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2022.03.005>
14. Recusani F., Bargiggia G.S., Yoganathan A.P. et al. A new method for quantification of regurgitant flow rate using color Doppler flow imaging of the flow convergence region proximal to a discrete orifice. An in vitro study. *Circulation.* 1991; 83 (2): 594–604. <http://doi.org/10.1161/01.cir.83.2.594>
15. Enriquez-Sarano M., Miller F.A. Jr., Hayes S.N. et al. Effective mitral regurgitant orifice area: clinical use and pitfalls of the proximal isovelocity surface area method. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1995; 25 (3): 703–709. [http://doi.org/10.1016/0735-1097\(94\)00434-R](http://doi.org/10.1016/0735-1097(94)00434-R)
16. Enriquez-Sarano M., Bailey K.R., Seward J.B. et al. Quantitative Doppler assessment of valvular regurgitation. *Circulation.* 1993; 87 (3): 841–848. <http://doi.org/10.1161/01.cir.87.3.841>
17. Zoghbi W.A., Adams D., Bonow R.O. et al. Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation: a report from the American Society of Echocardiography developed in collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30 (4): 303–371. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2017.01.007>
18. Lancellotti P., Tribouilloy C., Hagendorff A. et al. Scientific document committee of the European Association of Cardiovascular Imaging. Recommendations for the echocardiographic assessment of native valvular regurgitation: an executive summary from the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 14 (7): 611–644. <http://doi.org/10.1093/ehjci/jet105>
19. Igata S., Cotter B.R., Hang C.T. et al. Optimal quantification of functional mitral regurgitation: comparison of volumetric and proximal isovelocity surface area methods to predict outcome. *J. Am. Heart Assoc.* 2021; 10 (11): e018553. <http://doi.org/10.1161/JAHA.120.018553>



Для корреспонденции*: Бабуков Руслан Медарисович – 440071 Пенза, ул. Стасова, 6. Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии Минздрава России. Тел.: +7-937-421-69-69. E-mail: cardio-penza@yandex.ru; ruslan.babukov@mail.ru

Базылев Владлен Владленович – доктор мед. наук, профессор, главный врач ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0001-6089-9722>

Бабуков Руслан Медарисович – врач-кардиолог, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0002-7338-9462>

Бартош Фёдор Леонидович – канд. мед. наук, заведующий отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0001-5482-3211>

Лёвина Алёна Витальевна – врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0002-3210-3974>

Микуляк Артур Иванович – канд. мед. наук, заведующий кардиохирургическим отделением №1, врач сердечно-сосудистый хирург ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0002-9519-5036>

Contact*: Ruslan M. Babukov – 6, Stasova str., Penza 440071, Russian Federation. Phone: +7-937-421-69-69.

E-mail: cardio-penza@yandex.ru; ruslan.babukov@mail.ru

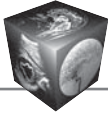
Vladlen V. Bazylev – Doct. of Sci. (Med.), Chief Physician of the Federal Centre for Cardiovascular Surger, Penza. <https://orcid.org/0000-0001-6089-9722>

Ruslan M. Babukov – doctor cardiologist, ultrasound diagnosis doctor Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. <https://orcid.org/0000-0002-7338-9462>

Fedor L. Bartosh – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of the of functional and ultrasound diangistics Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5482-3211>

Alena V. Levina – ultrasound diagnosis doctor Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. <https://orcid.org/0000-0002-3210-3974>

Artur I. Mikulyak –Cand. Sci. (Med.), Head of cardiovascular surgery department №1, Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. <https://orcid.org/0000-0002-9519-5036>.



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1328>

Современный взгляд на легочную секвестрацию

© **Винокуров А.С.**^{1, 2, 3, 4*}, **Смирнова А.Д.**², **Беленькая О.И.**^{1, 2}, **Юдин А.Л.**¹

¹ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

² ГБУЗ “Городская клиническая больница им. В.П. Демикова ДЗ города Москвы”; 109263 Москва, ул. Шкулёва, д. 4, Российская Федерация

³ ГБУЗ “Московский многопрофильный клинический центр «Коммунарка» ДЗ города Москвы”; 108814 Москва, п. Коммунарка, ул. Сосенский стан, д. 8, Российская Федерация

⁴ ГБУЗ “Московский клинический центр инфекционных болезней «Вороновское» ДЗ города Москвы”; 142165 Москва, поселение Вороновское, квартал №10, Российская Федерация

Введение. Секвестрация легкого является одним из наиболее часто встречающихся пороков развития этого органа в клинической практике. Но несмотря на это, возможны сложности в интерпретации лучевых данных, что приводит к нарушению методики проводимого исследования у таких больных, а следовательно, отсутствию успеха проводимой терапии и правильной маршрутизации.

Цель исследования: представить обзор литературы по современным данным, связанным с секвестрацией легкого, выделить важные клинические аспекты данной аномалии и особенности тактики. Также в обзоре описана лучевая картина секвестрации с упором на КТ-семиотику и представлены лучевые изображения; рассмотрены методологические предложения по объему сканирования у данных больных на основе собственного опыта работы.

Материал и методы. Рассмотрены как “классические”, так и современные отечественные и зарубежные научные источники по вопросам секвестрации легкого у взрослых и детей с описанием морфологии поражения, клинической картины и актуальной лучевой картины; освещены современные особенности хирургического лечения таких больных.

Результаты и их обсуждение. Нередко секвестрация легких манифестирует уже в зрелом возрасте, не создавая впечатления врожденной аномалии, скрываясь под “масками” абсцедирующей пневмонии, неоплазиями. Клиническая картина секвестрации легкого не является специфичной и характерна для многих респираторных заболеваний, но при этом аномалия требует иной тактики ведения, чем обычные воспалительные процессы, и связана с необходимостью консультации торакального хирурга. В связи с ограниченностью дифференцировки структуры секвестра при рентгенографии в современных условиях при подозрении на секвестрацию показано проведение КТ с обязательной ангиографией. Аберрантный сосуд может отходить не только от грудной, но и брюшной аорты, ее ветвей.

Заключение. Правильная интерпретация выявленных лучевых данных позволяет маршрутизировать пациентов в стационар с отделением торакальной хирургией, так как в подавляющем большинстве случаев для предупреждения повторных эпизодов воспаления секвестра необходимо его удаление. Расширение зоны сканирования ниже диафрагмы может быть полезным, так как часть секвестров кровоснабжается из брюшной аорты и ее висцеральных ветвей – это предотвратит необходимость проведения повторных КТ-ангиографий, а информация об источнике кровоснабжения крайне важна для хирургов.

Ключевые слова: легкие; аномалия, секвестр; абсцессы; пневмония; ангиография

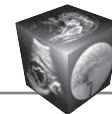
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Винокуров А.С., Смирнова А.Д., Беленькая О.И., Юдин А.Л. Современный взгляд на легочную секвестрацию. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 88–96. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1328>

Поступила в редакцию: 02.02.2023.

Принята к печати: 08.02.2023.

Опубликована online: 30.09.2023.



An actual concept of pulmonary sequestration

© Anton S. Vinokurov^{1,2,3,4*}, Alexandra D. Smirnova², Olga I. Belenkaya^{1,2}, Andrey L. Yudin¹

¹ Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanova str., Moscow 117997, Russian Federation

² Demikhov City Hospital of Moscow City Health Department; 4, Shkuleva str., Moscow 109263, Russian Federation

³ Moscow Multidisciplinary Clinical Center “Kommunarka” of Moscow City Health Department; 8, Sosenskiy stan str., Moscow 108814, Kommunarka, Russian Federation

⁴ Moscow Clinical Center for Infectious Diseases “Voronovskoye” of Moscow City Health Department; quarter №10, Voronovskoye settlement, Moscow 142165, Russian Federation

Annotation. Pulmonary sequestration is one of the most common malformations of this organ in clinical practice. But there may be difficulties in interpreting of radiology studies, which leads to a violation of the methodology of the study in such patients, and consequently – the lack of success of the therapy and the correct routing.

Purpose of the study. To present a literature review of current data related to lung sequestration, to discuss important clinical aspects of this abnormality and features of tactics. The review also describes the radiology patterns of sequestration with an emphasis on CT signs; typical images and methodological specificity of scanning in these patients are present and based on own practice experience.

Materials and methods. Both “classical” and modern local and foreign scientific papers about lung sequestration in adults and children are considered with a description of the morphology of the lesion, the clinical symptoms and the actual CXR and CT imaging; modern features of surgical treatment of such patients are presented.

Results. Often, lung sequestration manifests itself already in adulthood, without creating the impression of a congenital anomaly, hiding under the “masks” of abscessing pneumonia, neoplasm. The clinical course of lung sequestration is not specific and is characteristic of many respiratory complaints, but at the same time – the anomaly requires a different management tactics than ordinary inflammatory processes and is associated with the need to consult a thoracic surgeon. Due to the limited differentiation of the sequestration structure in CXR, in current time, if sequestration is suspected, CT with angiography is indicated. An aberrant vessel can trace not only from the thoracic, but also from the abdominal aorta, its branches.

Conclusion. The correct interpretation of the revealed CT-signs allowed routing patients to a hospital with thoracic surgery department because in the majority of cases, to prevent repeated episodes of sequestr inflammation, it is necessary to remove it. The expansion of the scanning area below the diaphragm can be useful because some of the sequestrers are supplied with blood from the abdominal aorta and its visceral branches – this will prevent repeated CT-angiography studies because information about the source of blood supply is extremely important for surgeons.

Keywords: lungs, abnormality; sequester; abscesses; pneumonia; angiography

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

For citation: Vinokurov A.S., Smirnova A.D., Belenkaya O.I., Yudin A.L. An actual concept of pulmonary sequestration. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 88–96. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1328>

Received: 02.02.2023.

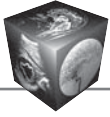
Accepted for publication: 08.02.2023.

Published online: 30.09.2023.

Секвестрации легкого (СЛ) – группа заболеваний, включающих отграниченные от нормальной ткани аномально развитые участки легкого (секвестры) и системное артериальное кровоснабжение нормального или патологически развитого фрагмента легкого в различных сочетаниях [1]. Данное состояние было впервые описано К. Rokytansky еще в 1861 г. и долгое время считалось казуистикой, а D.M. Pryce в 1946 г. ввел в практику термин “секвестрация” [2, 3]. Наличие системного артериального кровоснабжения ткани легкого является решающим в диагностике СЛ – aberrantная артерия присутствует в 99% случаев [4–6]. Секвестры изначально не сообщаются с функционирующими воздухоносными путями, но со-

общение может формироваться под действием повторяющихся эпизодов воспалений. В 1974 г. исследования R. Sade и соавт. показали, что правильнее употреблять термин “спектр легочной секвестрации”, поскольку существуют различные комбинации системного и легочного кровоснабжения, венозного дренажа как нормальной, так и измененной части легкого [4, 7]. Спектр СЛ состоит из сочетания различных патологических элементов: он начинается с аномального кровоснабжения обычной по структуре легочной ткани и заканчивается нарушенным строением паренхимы с нормальным кровоснабжением [5, 6, 8].

Наиболее распространена точка зрения, что СЛ является результатом образования допол-



нительного зачатка легкого, расположенного каудально по отношению к нормальным зачаткам, что чаще происходит между 4-й и 8-й неделями гестации [4, 5].

Выделяют 2 основные формы СЛ: интралобарную (внутридолевую) и экстралобарную (внедолевую). При интралобарном варианте порока патологический процесс локализуется в толще легкого и окружен нормально развитой тканью, тогда как при экстралобарном процессе – вне ткани, как внутри, так и снаружи от висцеральной плевры [9]. По данным различных авторов [6, 8–10], интралобарная секвестрация составляет 75–86%, а экстралобарная – 14–25% от всех СЛ. Экстралобарные секвестры могут располагаться не только в грудной полости, но и ниже диафрагмы. И.В. Новикова и соавт. описывают промежуточный вариант секвестрации (от интра- к экстралобарному), который был выявлен ими у абортированных плодов [11].

Макроскопически интралобарная СЛ представляет собой ткань легкого с множественными либо одной крупной кистой различных размеров [1]. Изнутри кисты выстланы цилиндрическим или многослойным плоским эпителием и заполнены слизистым содержимым [3]. Окружающая паренхима обычно с признаками хронического воспаления и фиброза, фрагменты бронхов и бронхиол нередко окружены коллагеновыми волокнами, имеются бронхоэктазы. В свою очередь, экстралобарная СЛ выглядит в виде отдельного фрагмента ткани размером 0,5–15 см овальной или пирамидальной формы серовато-беловатого или розоватого цвета. После перенесенного воспаления могут определяться участки склероза и сращения с окружающими органами и тканями [1, 4, 6].

Важный момент – оценка кровоснабжения СЛ. Приток крови к внутридолевому секвестру осуществляется в основном через артерию от грудной или брюшной части аорты, в отдельных случаях кровоснабжение может быть из двух источников. Гораздо реже кровь поступает через ветви подключичной, безымянной, легочной или венечной артерии, а также через межреберные сосуды [1, 3, 9]. Кровоснабжение внедолевой СЛ осуществляется короткими ветвями грудного или брюшного отдела аорты (в 80% наблюдений), ветвями других артерий большого круга кровообращения (в 15%) или через легочную артерию (в 5%) [11]. В отдельных наблюдениях кровь поступает по ветвям селезеночной артерии, чревного ствола и почечных артерий [1, 9, 12]. Китайские авторы S. Ren и соавт. на материале большой выборки пациентов (n = 97) с СЛ отметили кровоснабжение из грудной аорты в 87,4%, в 10,5% из брюшной

аорты и 1,1% – из чревного ствола [13]. Прижизненно, особенно у детей, не всегда удается выявить aberrантный сосуд по данным УЗИ из-за мелкого его калибра, близости к сердцу, даже при использовании цветового картирования [11]. Отток от СЛ, как правило, осуществляется в легочные вены (до 96,9% всех интралобарных СЛ), но возможны и варианты – например, в *v.azygos*, *v. cava inferior* [13, 14].

Клинически СЛ может протекать бессимптомно и стать случайной находкой при проведении рентгенологических исследований (25%), выполненных по другим показаниям либо при проверочной флюорографии. Пациенты длительно могут не подозревать о наличии аномалии, если она не манифестирует в детстве. При присоединении воспалительного процесса СЛ чаще проявляется общей и легочной симптоматикой – в первую очередь, это рецидивирующие пневмонии – до 70% [4, 6, 15]. При инфицировании в СЛ происходит нагноение кист, расплавление стенок, формируется связь с нормально развитым бронхиальным деревом, что проявляется в виде усиления кашля и изменения его характера на гнойный, могут наблюдаться эпизоды кровохарканья [3], в тяжелых случаях СЛ манифестирует urgently при аррозии сосуда и формировании альвеолярного кровотечения либо гемоторакса. Также пациенты жалуются на постоянный кашель, боль в спине или постоянную одышку при физической нагрузке [1], в ряде случаев СЛ является причиной сепсиса [16]. Может формироваться вторичное инфицирование кист микобактериями туберкулеза, грибковой флорой [17], что требует лабораторного подтверждения.

Как правило, СЛ впервые проявляется в позднем детстве или в молодом возрасте. При значительных размерах и локализации экстралобарная секвестрация обычно проявляется клинически в раннем младенчестве дыхательной недостаточностью, застойной сердечной недостаточностью с высоким выходом (из-за шунтирования справа налево) и иногда спонтанным легочным или плевральным кровотечением [1]. Экстралобарные секвестры редко инфицируются – они отделены от трахеобронхиального дерева плеврой и главным образом опасны у плода из-за компрессионного воздействия на прилежащие структуры при их крупном размере [11].

Сопутствующие врожденные аномалии чаще регистрируют при экстралобарной секвестрации. Примерно 50–60% пациентов имеют еще одну врожденную аномалию: диафрагмальная грыжа, врожденная кистозно-аденоматозная мальформация (КАМ, также используется понятие врожден-

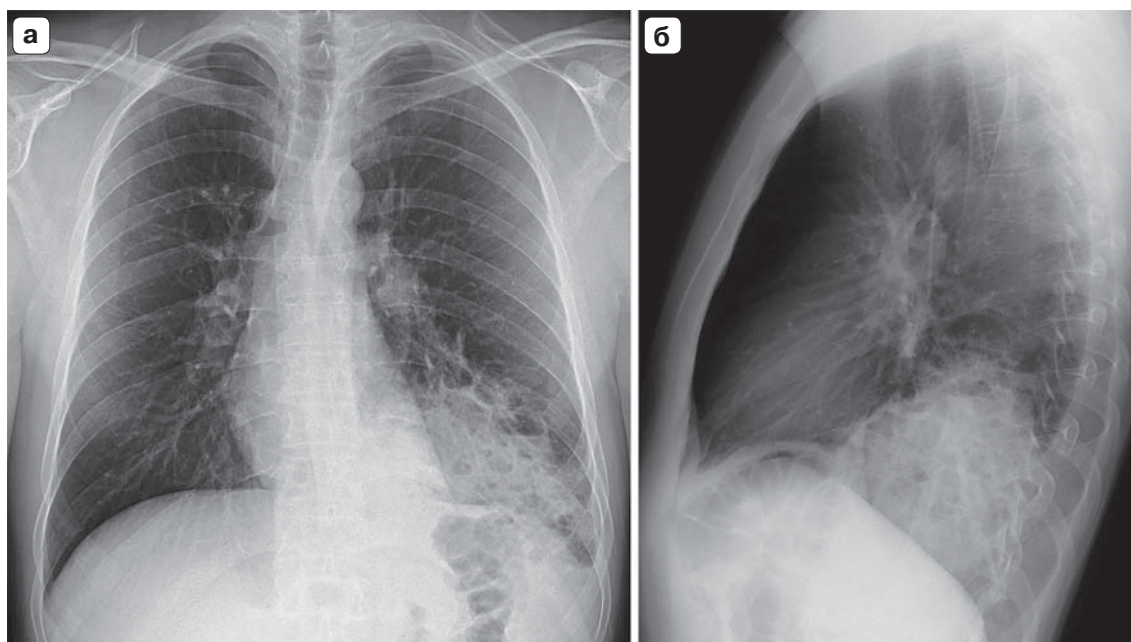
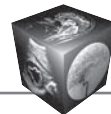


Рис. 1. Рентгенограммы ОГК в прямой (а) и левой боковой (б) проекциях пациента А., 27 лет. В нижней доле левого легкого (S_{IX} , S_X) – ограниченное затемнение неправильной формы с наличием неоднородных просветлений, в том числе с горизонтальными уровнями в верхней его части. Реберно-диафрагмальный синус слева затенен.

Fig. 1. CXR in posterior-anterior (a) and left lateral (b) projections of male patient A. 27 y.o. In the lower lobe of the left lung (S_{IX} , S_X) – a limited opacity with irregular shape with the presence of inhomogeneous nodules, including horizontal levels (gas/fluid) in its upper part. The costal-diaphragmatic sinus on the left is shaded.

ной мальформации дыхательных путей), дефект позвоночника, врожденный порок сердца, трахеопищеводный свищ, гипоплазия легких, бронхогенная киста и врожденный мегаколон. Врожденная диафрагмальная грыжа является самой распространенной [1, 4, 10]. Сообщается о КАМ легкого II типа у 15–25% пациентов с экстралобарной секвестрацией [2].

СЛ следует подозревать в следующих случаях: 1) младенцы с кровохарканьем и рецидивирующим респираторным дистресс-синдромом, затруднениями при кормлении; 2) в любом возрасте: при рецидивирующих пневмониях, абсцессе легкого и кровохарканье при исключении остальных заболеваний и отсутствии иных факторов риска для возникновения повторных инфекций (иммунодефициты).

В качестве первого диагностического метода при подозрении на наличие наддиафрагмального новообразования у ребенка может быть рекомендовано УЗИ [5], а у взрослых – рентгеновские методы. На рентгенограмме большинство СЛ выглядит в виде ограниченного затемнения неправильной или округлой формы в нижних долях (рис. 1) [4, 10]. Примерно в 25% наблюдений определяются жидкостно-воздушные уровни. Достаточно часто имеются признаки текущей или перенесен-

ной пневмонии в виде неоднородных окружающих затемнений или деформации легочного рисунка. Но образования малых размеров могут не визуализироваться при рентгенографическом исследовании. Большим недостатком рутинной рентгенографии является отсутствие возможности визуализации aberrантного сосуда, а применение прямой ангиографии ограничено.

КТ – лучший метод визуализации СЛ, который дает наибольшую информацию об анатомии бронхов и поражении легочной ткани [18]. Интралобарные СЛ преимущественно располагаются в медиобазальных отделах легких – слева почти в 3 раза чаще, чем справа [13]. КТ-семиотика СЛ и окружающей ткани будет зависеть от количества обострений, формирования связи с бронхиальной системой и текущего состояния кист (наличие содержимого). СЛ представлена участком консолидации неоднородной структуры за счет разного размера включений жидкостной плотности либо кавитаций и может напоминать опухолевое образование, особенно при нативном сканировании (рис. 2). Некоторые СЛ состоят из нескольких кист без значимого окружающего уплотнения (кисты диаметром 2–4 см), отмечаются отграниченные участки с наличием капсулы и уровней воздух-жидкость. Эмфизематозные изменения легкого

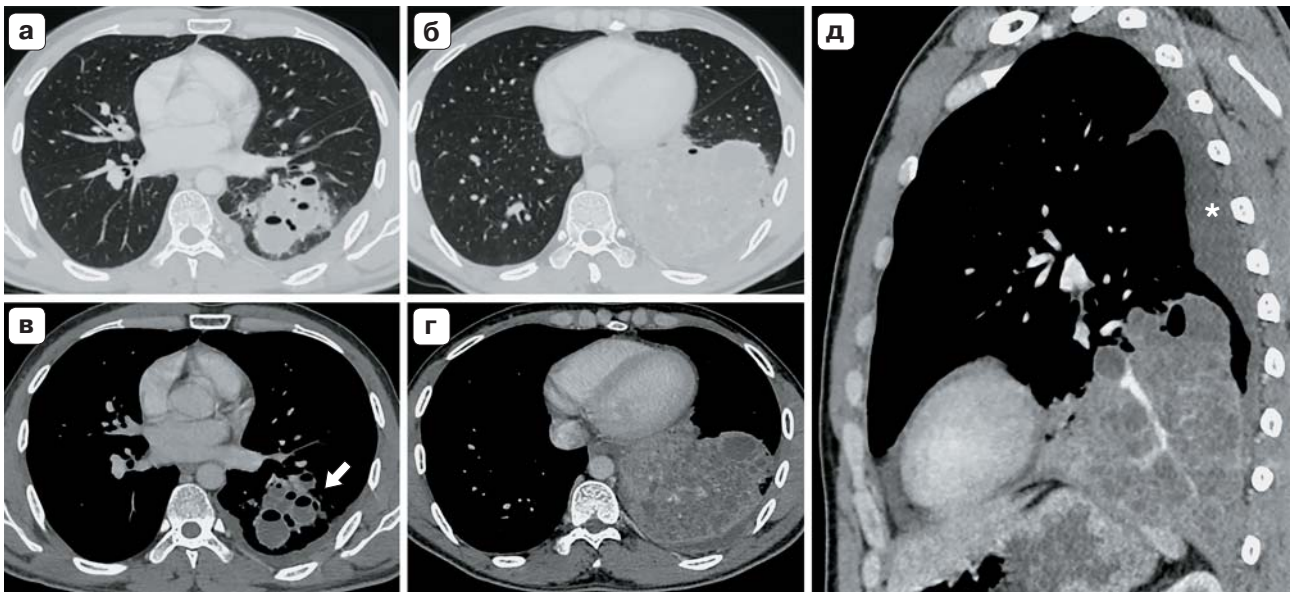
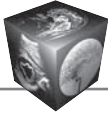


Рис. 2. КТ ОГК пациента А., 27 лет, после внутривенного контрастного усиления в аксиальной (а–г) и сагиттальной (д) плоскостях; легочное электронное окно – а, б; мягкотканное – в–д. В нижней доле левого легкого – крупное уплотнение, которое фактически занимает 2 сегмента и состоит из системы кист/полостей. В окружающей их ткани проходят ветви артериальных и венозных сосудов, просветы бронхов не видны. В части из кист имеются газожидкостные уровни (стрелка). Перифокально в верхних отделах – инфильтративные изменения. Малый плевральный выпот слева (*).

Fig. 2. Chest CT images of male patient A. 27 y.o. in axial (а–г) and sagittal (д) planes after intravenous CE; lung window – а, б; soft tissue window – в–д. In the lower lobe of the left lung – a large opacity, which actually occupies 2 segments and consists of a system of cysts/cavities. Branches of arterial and venous vessels pass through the surrounding tissue, the bronchial lumen is not visible. Some of the cysts have gas-liquid levels (arrow). Around in the upper part – pneumonic infiltration. Small pleural effusion on the left (*).

часто наблюдаются вокруг СЛ – возможно, из-за скопления воздуха в “переходной зоне” между секвестрированным сегментом и нормальным легким, в окружающей СЛ ткани с нормальным строением после эпизодов воспаления возможно формирование бронхоэктазов [13]. Иногда встречаются участки кальцификации в секвестрированном сегменте или в аномальной артерии.

При проведении контрастного исследования отмечается неоднородное накопление контрастного препарата СЛ, за исключением содержимого кист [1]. В динамике секвестр на фоне антибактериальной терапии сам по себе почти не уменьшается в размерах и лишь при формировании сообщения с бронхиальным деревом в просвете кист появляются газожидкостные уровни и возможно его уменьшение под действием эластических сил легких. Их уровень при следующем обострении может увеличиваться, что заметно лишь при наличии предыдущих КТ органов грудной клетки (ОГК), в случае санации кисты имеют тонкую стенку (рис. 3). Во время эпизода инфицирования кист можно отметить инфильтративный пневмонический процесс не только внутри, но и в перифокаль-

ной зоне СЛ – в виде уплотнений “матового стекла”, консолидаций, а также бронхогенных очагов. В описанном случае [19] можно наблюдать уплотнение легочной ткани с “сухими” кистами и уменьшение объема доли с подъемом диафрагмы – подобные изменения образуются в исходе острого воспалительного процесса в случае полного дренирования содержимого кист в бронхиальную систему. Но подобное происходит далеко не во всех случаях течения СЛ – в кистах остается содержимое либо часть кист не дренируется вовсе, что является предиктором рецидивов. В качестве реактивных изменений могут встречаться увеличенные единичные медиастинальные лимфатические узлы, плевральный выпот в активную фазу воспаления.

Аберрантную артерию часто можно идентифицировать и при нативном сканировании, особенно если она отходит от грудной аорты, однако для подтверждения всегда используется КТ-ангиография. Наш опыт показывает, что у пациентов с подозрением на СЛ целесообразно несколько расширять зону сканирования и захватывать верхнюю треть живота, так как аберрантная артерия может отходить ниже диафрагмы от аорты или ее

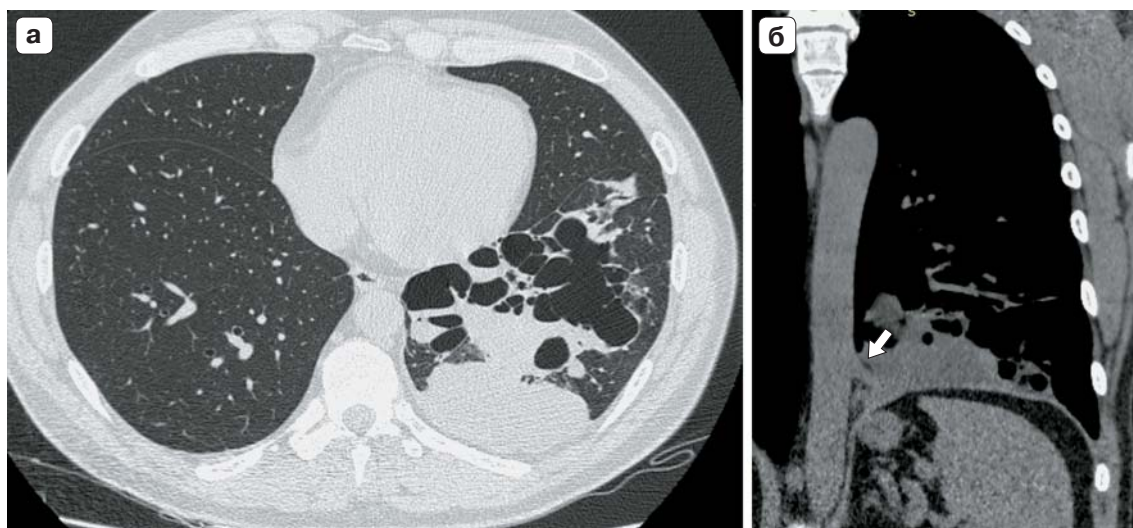
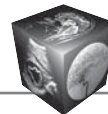


Рис. 3. КТ ОГК в аксиальной (а) и корональной (б) плоскостях пациента С., 33 лет; легочное (а) и мягкотканное (б) электронные окна. У другого пациента кровоснабжение секвестра более типичное – из ветви от грудной аорты (стрелка). Часть кист на данном уровне санирована от содержимого и имеет тонкую стенку.

Fig. 3. Axial (a) and coronal (b) planes chest CT images of patient S., 33 y.o.; lung (a) and soft-tissue (b) windows. In another patient, the sequestration blood supply is more common – from a branch from the T-aorta (arrow). Some of the cysts at this level is sanitized from the fluid and have a thin wall.

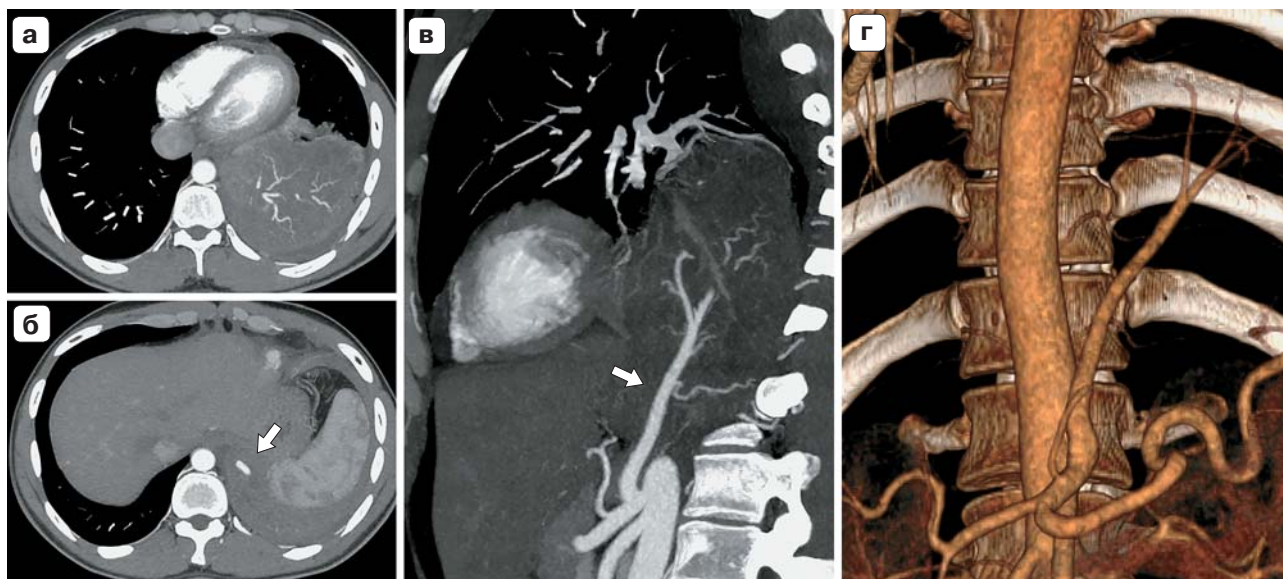
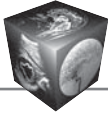


Рис.4. КТ-ангиография грудной аорты в аксиальной (а, б) и сагиттальной (в) плоскостях с MIP-реформацией пациента А., 27 лет, объемная реконструкция аорты на уровне чревного ствола (г). Хорошо видно, что уплотнение в нижней доле левого легкого имеет артериальное кровоснабжение из дополнительной ветви *tr. coeliacus* (стрелка), по диаметру aberrантный сосуд больше, чем остальные ветви чревного ствола.

Fig. 4. CT angiography of the T-aorta in axial (a, б) and sagittal (в) planes with MIP-reformation of patient A., 27 y.o., VR of the aorta at the level of *tr. coeliacus* (г). It is clearly visible that the opacity in the lower lobe of the left lung has arterial blood supply from the additional branch of *tr. coeliacus* (arrow), the diameter of the aberrant vessel is larger than the rest of the branches of the *tr. coeliacus*.



висцеральной ветви – несмотря на редкий тип отхождения от чревного ствола, это позволит избежать повторных сканирований, когда сосуд оказывается на границе сканирования и не входит целиком в зону исследования (рис. 4).

В редких случаях возможно использование магнитно-резонансной томографии (в том числе МР-ангиографии), а также радионуклидного исследования – однако в рутинной клинической практике эти методы не находят широкого применения [2, 8, 9, 20].

Сама по себе СЛ имеет довольно характерную КТ-семиотику, но в ряде случаев требуется дифференциальная диагностика. Важнейшая деталь – наличие системного кровотока, что будет отсутствовать при иных заболеваниях. В первую очередь, это инфекционные абсцессы в легких (редко сгруппированы так близко как кисты в СЛ и обычно не характеризуются множественностью, имеют в остром периоде довольно толстую стенку) [21], опухолевыми образованиями (иная структура самой ткани опухоли и ее краев, возможность регионарного метастазирования), а также КАМ (изначально представлены именно воздушными кистами и только при осложнении появляется содержимое внутри, в отличие от СЛ – участок КАМ связан с бронхиальной системой в ряде типов) [22].

Хирургический метод лечения (в объеме резекции секвестра либо лобэктомии), как и ранее, является методом выбора как у пациентов с легочными симптомами, так и у клинически бессимптомных пациентов с СЛ с целью предотвращения дальнейшего инфицирования [15]. В настоящее время, кроме традиционной торакотомии, может использоваться видеоассистированная торакоскопическая техника [12], а также применяется предварительная эндоваскулярная эмболизация сосуда до операции для уменьшения кровопотери [16]. Антибактериальная терапия используется для купирования обострений воспалительного процесса в рамках комплексной терапии. От врача-рентгенолога важным будет указание в протоколе КТ место отхождения питающего СЛ сосуда – это может потребовать привлечения в операционную бригаду абдоминального либо сосудистого хирурга в случае сложной его конфигурации.

Заключение

Несмотря на редкую встречаемость, интралобарная СЛ имеет достаточно типичную КТ-семиотику, что в совокупности с проведенной КТ-ангиографией позволяет поставить верный диагноз. С экстралобарной СЛ возможно больше сложностей в диагностике в связи с различным спектром локализаций, но данный вид СЛ чаще встречается

в педиатрической практике. Врачам следует быть настороженными в отношении СЛ у пациентов с повторяющимися респираторными воспалительными эпизодами и наличием кистозных/полостных структур в нижних долях легких – обязательно требуется поиск аберрантной артерии для исключения порока развития. Отсутствие подобного диагностического поиска приведет к повторению воспалительных эпизодов у пациента, требующего консультации торакального хирурга для решения вопроса об оперативном лечении.

Участие авторов

Винокуров А.С. – концепция и дизайн исследования, написание текста, подготовка и редактирование текста.

Смирнова А.Д. – обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных.

Беленькая О.И. – подготовка, создание опубликованной работы, участие в научном дизайне.

Юдин А.Л. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Vinokurov A.S. – concept and design of the study, writing text, preparation and creation of the published work.

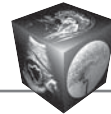
Smirnova A.D. – review of publications, analysis and interpretation of the obtained data.

Belenkaya O.I. – preparation and creation of the published work, participation in scientific design.

Yudin A.L. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы

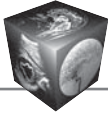
1. Туманова У.Н., Дорофеева Е.И., Дегтярев Д.Н. Секвестрация легкого: классификация, диагностика, лечение. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2018; 97: 163–171. <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2018-97-2-163-171>
2. Ильина Н.А. Компьютерно-томографическая ангиография в дифференциальной диагностике экстралобарной секвестрации легких у новорожденных. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2015; 14 (1): 26–31. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2015-14-1-26-31>
3. Гольдштейн В.Д. Пороки развития легких в клинической практике. М.: БИНОМ, 2013. 208 с.
4. Lawal L., Mikroulis D., Eleftheriadis S. et al. Adenocarcinoma in pulmonary sequestration. *Asian Cardiovasc. Thorac. Ann.* 2011; 19: 433–435. <https://doi.org/10.1177/0218492311419796>
5. Dhingsa R., Coakley F.V., Albanese C.T. et al. Prenatal sonography and MR imaging of pulmonary sequestration. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 180: 433–437. <https://doi.org/10.2214/ajr.180.2.1800433>
6. Cunha S.A., Klepetko W. Intrapulmonary Lung Sequestration. *Port. J. Card. Thorac. Vasc. Surg.* 2022; 29 (3): 85. <https://doi.org/10.48729/pjctvs.282>



7. Gabelloni M., Faggioni L., Accogli S. et al. Pulmonary sequestration: What the radiologist should know. *Clin Imaging*. 2020; 73: 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.11.040>
8. Haider A., Hoonpongsimanont W. Uncommon etiology of chest pain: pulmonary sequestration. *West J. Emerg. Med.* 2013; 14: 638–639. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2007.04.003>
9. Cruz-Martinez R., Méndez A., Dueñas-Riaño J. et al. Fetal laser surgery prevents fetal death and avoids the need for neonatal sequestrectomy in cases with bronchopulmonary sequestration. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2015; 46: 627–628. <https://doi.org/10.1002/uog.14921>
10. Sun X., Xiao Y. Pulmonary sequestration in adult patients: a retrospective study. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2015; 48: 279–282. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu397>
11. Новикова И.В., Венчикова Н.А., Соловьева И.В. и др. Секвестрация легких: анатомические варианты, сопутствующие аномалии, и ассоциация с кистозно-аденоматозным пороком развития II типа. *Пrenatalная диагностика*. 2016; 15 (3): 219–226.
12. Shafiq M., Ali A., Dawar U., Setty N. Rare cause of haemoptysis: bronchopulmonary sequestration. *BMJ Case Rep.* 2021; 14 (3): e239140. <https://doi.org/10.1136/bcr-2020-239140>
13. Ren S., Yang L., Xiao Y. et al. Pulmonary sequestration in adult patients: a single-center retrospective study. *Respir. Res.* 2023; 24 (1): 13. <https://doi.org/10.1186/s12931-023-02320-w>
14. Pauels L., De Waele M., Medart L., Debruche M. Two unusual variants of pulmonary intra-lobar sequestration. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2022; 35 (2): ivac189. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivac189>
15. Tunsupon P., Arshad A., Patel S., Mador M.J. Incidental finding of bronchopulmonary sequestration in a 64-Year-Old female. *Ochsner J.* 2017; 17 (3): 288–291.
16. Patel A.J., Mangel T., Perris R. et al. VATS surgical anatomical resection of bronchopulmonary sequestration presenting as chest sepsis. *J. Cardiothorac. Surg.* 2022; 17 (1): 130. <https://doi.org/10.1186/s13019-022-01887-7>
17. Vasireddy A., Venkatesan A., Gonuguntla A. et al. Mycobacterium tuberculosis infection of an intralobar pulmonary sequestration. *Proc. (Bayl. Univ. Med. Cent.)*. 2022; 35 (4): 552–554. <https://doi.org/10.1080/08998280.2022.2062980>
18. Long Q., Zha Y., Yang Z. Evaluation of pulmonary sequestration with multidetector computed tomography angiography in a select cohort of patients: A retrospective study. *Clinics*. 2016; 71 (7): 392–398. [https://doi.org/10.6061/clinics/2016\(07\)07](https://doi.org/10.6061/clinics/2016(07)07)
19. Weingartz L., Peine B., Humble J. et al. Case report: Asymptomatic bronchopulmonary sequestration in an adult with dual celiac and aortic supply. *Radiol. Case Rep.* 2022; 17 (11): 4218–4222. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2022.08.041>
20. Yang L., Yang G. Extralobar pulmonary sequestration with a complication of torsion: A case report and literature review. *Medicine (Baltimore)*. 2020; 99 (29): e21104. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000021104>
21. Винокуров А.С., Смирнова А.Д., Беленькая О.И., Юдин А.Л., Юматова Е.А. Клинико-рентгенологические варианты поражения легких при инфекции, вызванной *Staphylococcus aureus*. *Клиническая практика*. 2021; 12 (3): 71–89. <https://doi.org/10.17816/clinpract71642>
22. Овсянников Д.Ю., Фролов П.А., Семенов П.А. Врожденная мальформация дыхательных путей. *Педиатрия*. 2018; 97 (1): 152–161. <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2018-97-1-152-161>

References

1. Tumanova U.N., Dorofeeva E.I., Podurovskaya Yu.L. et al. Pulmonary sequestration: classification, diagnostics, treatment. *Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky*. 2018; 97 (2): 163–171. (In Russian)
2. Iliina N.A., Myagkova I.E. Computed tomography-assisted angiography in the differential diagnosis of extralobar pulmonary sequestration in newborns. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2015; 14 (1): 26–31. (In Russian)
3. Goldstein V.D. Lung malformations in clinical practice. M.: BINOM, 2013. 208 p. (In Russian)
4. Lawal L., Mikroulis D., Eleftheriadis S. et al. Adenocarcinoma in pulmonary sequestration. *Asian Cardiovasc. Thorac. Ann.* 2011; 19: 433–435. <https://doi.org/10.1177/0218492311419796>
5. Dhingsa R., Coakley F.V., Albanese C.T. et al. Prenatal sonography and MR imaging of pulmonary sequestration. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 180: 433–437. <https://doi.org/10.2214/ajr.180.2.1800433>
6. Cunha S.A., Klepetko W. Intrapulmonary Lung Sequestration. *Port. J. Card. Thorac. Surg.* 2022; 29 (3): 85. <https://doi.org/10.48729/pjctvs.282>
7. Gabelloni M., Faggioni L., Accogli S. et al. Pulmonary sequestration: What the radiologist should know. *Clin Imaging*. 2020; 73: 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.11.040>
8. Haider A., Hoonpongsimanont W. Uncommon etiology of chest pain: pulmonary sequestration. *West J. Emerg. Med.* 2013; 14: 638–639. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2007.04.003>
9. Cruz-Martinez R., Méndez A., Dueñas-Riaño J. et al. Fetal laser surgery prevents fetal death and avoids the need for neonatal sequestrectomy in cases with bronchopulmonary sequestration. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2015; 46: 627–628. <https://doi.org/10.1002/uog.14921>
10. Sun X., Xiao Y. Pulmonary sequestration in adult patients: a retrospective study. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2015; 48: 279–282. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu397>
11. Novikova I.V., Venchikova N.A., Solovyeva I.V. et al. Pulmonary sequestration: anatomic variants, association with congenital cystic adenomatoid malformation and other anomalies. *Prenatal. Diagnosis*. 2016; 15 (3): 219–226. (In Russian)
12. Shafiq M., Ali A., Dawar U., Setty N. Rare cause of haemoptysis: bronchopulmonary sequestration. *BMJ Case Rep.* 2021; 14 (3): e239140. <https://doi.org/10.1136/bcr-2020-239140>
13. Ren S., Yang L., Xiao Y. et al. Pulmonary sequestration in adult patients: a single-center retrospective study. *Respir. Res.* 2023; 24 (1): 13. <https://doi.org/10.1186/s12931-023-02320-w>
14. Pauels L., De Waele M., Medart L., Debruche M. Two unusual variants of pulmonary intra-lobar sequestration. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2022; 35 (2): ivac189. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivac189>
15. Tunsupon P., Arshad A., Patel S., Mador M.J. Incidental finding of bronchopulmonary sequestration in a 64-Year-Old female. *Ochsner J.* 2017; 17 (3): 288–291.



16. Patel A.J., Mangel T., Perris R. et al. VATS surgical anatomical resection of bronchopulmonary sequestration presenting as chest sepsis. *J. Cardiothorac. Surg.* 2022; 17 (1): 130. <https://doi.org/10.1186/s13019-022-01887-7>
17. Vasireddy A., Venkatesan A., Gonuguntla A. et al. Mycobacterium tuberculosis infection of an intralobar pulmonary sequestration. *Proc. (Bayl. Univ. Med. Cent.)*. 2022; 35 (4): 552–554. <https://doi.org/10.1080/08998280.2022.2062980>
18. Long Q., Zha Y., Yang Z. Evaluation of pulmonary sequestration with multidetector computed tomography angiography in a select cohort of patients: A retrospective study. *Clinics*. 2016; 71 (7): 392–398. [https://doi.org/10.6061/clinics/2016\(07\)07](https://doi.org/10.6061/clinics/2016(07)07)
19. Weingartz L., Peine B., Humble J. et al. Case report: Asymptomatic bronchopulmonary sequestration in an adult with dual celiac and aortic supply. *Radiol. Case Rep.* 2022; 17 (11): 4218–4222. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2022.08.041>
20. Yang L., Yang G. Extralobar pulmonary sequestration with a complication of torsion: A case report and literature review. *Medicine (Baltimore)*. 2020; 99 (29): e21104. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000021104>
21. Vinokurov A.S., Smirnova A.D., Belenkaya O.I. et al. Clinical and Radiological Variants of Lung Damage in the Infection Caused by Staphylococcus aureus. *Journal of Clinical Practice*. 2021; 12 (3): 71–89. <https://doi.org/10.17816/clinpract71642> (In Russian)
22. Ovsyannikov D.Y., Frolov P.A., Semenov P.A. Congenital malformation of pulmonary respiratory tract. *Pediatrics*. 2018; 97 (1): 152–161. (In Russian)

Для корреспонденции*: Винокуров Антон Сергеевич – e-mail: antonvin.foto@gmail.com

Винокуров Антон Сергеевич – ассистент кафедры лучевой диагностики и терапии МБФ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова; врач-рентгенолог отделения МРТ и КТ ГКБ им. В.П. Демикова и ОЛД ММКЦ «Коммунарка», МКЦИБ «Вороновское» ДЗ города Москвы. E-mail: antonvin.foto@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-0745-3438>

Смирнова Александра Дмитриевна – врач-рентгенолог отделения МРТ и КТ ГКБ им. В.П. Демикова ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5470-0999>

Беленькая Ольга Игоревна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и терапии МБФ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова; заведующая отделением МРТ и КТ ГКБ им. В.П. Демикова ДЗ города Москвы, Москва. E-mail: Olga-belenkaya@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1121-8040>

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии МБФ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва. E-mail: prof_yudin@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-0310-0889>

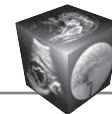
Contact*: Anton S. Vinokurov – e-mail: antonvin.foto@gmail.com

Anton S. Vinokurov – assistant professor of radiology department, Pirogov Russian national research medical university; radiologist of MRI and CT departments, Demikhov City Hospital and radiology department ММСС «Коммунарка» and Clinical Center of Infection Diseases «Voronovskoe», Moscow. E-mail: antonvin.foto@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-0745-3438>

Alexandra D. Smirnova – radiologist of MRI and CT departments, Demikhov City Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5470-0999>

Olga I. Belenkaya – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of radiology department, Pirogov Russian national research medical university; Head of MRI and CT department, Demikhov City Hospital, Moscow. E-mail: Olga-belenkaya@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1121-8040>

Andrey L. Yudin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, head of radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. E-mail: prof_yudin@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-0310-0889>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1352>

Особенности рентгенологических проявлений при диагностике нетуберкулезных микобактериозов. Обзор литературы

© Хомутова Е.Ю. *, Порох В.И., Новиков П.В., Уралбаев А.А.

ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России; 644099 Омск, ул. Ленина, 12, Российская Федерация

Цель литературного обзора: определение рентгенологической картины нетуберкулезного микобактериоза (НТМБ) и оценка возможностей лучевых методов исследования при сочетании туберкулеза и НТМБ легких у пациента с ВИЧ-инфекцией.

Материал и методы. Проведен обзор литературы по базам научных статей PubMed, ELibrary и Google Scholar по ключевым словам «нетуберкулезный микобактериоз легких», «компьютерная томография», «туберкулез легких». Внимание было сосредоточено на полнотекстовых статьях. Приведено клиническое наблюдение пациента, находящегося на лечении в БУЗОО «Клинический противотуберкулезный диспансер» города Омска с 2019 по 2022 г. с диагнозом: диссеминированный туберкулез легких, двусторонний, в фазе инфильтрации, туберкулезный спондилит Th_{VII-IX}, осложненный паравертебральным абсцессом. Критерием включения было сочетание НТМБ и туберкулеза легких у ВИЧ-инфицированного больного. Пациенту было выполнено комплексное лабораторно-инструментальное обследование, включавшее обзорную рентгенографию органов грудной клетки, компьютерную томографию, как первично при поступлении, так и в динамике.

Результаты. Характерными для НТМБ рентгенологическими изменениями являются: поражение правой средней и язычковых долей легких с наличием диффузных бронхоэктазов, изменения по типу «деревя в почках», уплотнение легочной ткани по типу «матового стекла» с наличием центрилобулярных узелков, асимметричные мелкие плотные очаги с перибронхиальным расположением, апикальное расположение тонкостенных полостей с утолщением костальной плевры, а также фокусы воспалительной инфильтрации. Отсутствие специфических симптомов для данной патологии требует дальнейших исследований в данной области. Выделение характерных рентгенологических особенностей позволит ускорить диагностику инфекции и определить правильную тактику ведения больных.

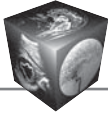
Заключение. Рентгеносемиотика НТМБ отличается большой вариабельностью проявлений. Наиболее информативным методом лучевой диагностики НТМБ является мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). Благодаря МСКТ у врача-рентгенолога есть возможность точной оценки локализации и характера очагов, а также оценки динамики и распространенности процесса. Наиболее характерными рентгенологическими симптомами являются поражение правой средней и язычковых долей легких с наличием диффузных бронхоэктазов, изменения по типу «деревя в почках», уплотнение легочной ткани по типу «матового стекла» с наличием центрилобулярных узелков, асимметричные мелкие плотные очаги с перибронхиальным расположением, апикальное расположение тонкостенных полостей с утолщением костальной плевры, а также фокусы воспалительной инфильтрации. Отсутствие специфических симптомов для данной патологии требует дальнейших исследований в этой области. Выделение характерных рентгенологических особенностей позволит ускорить диагностику инфекции и определить правильную тактику ведения больных.

Ключевые слова: нетуберкулезный микобактериоз; лучевая диагностика; МСКТ; туберкулез легких; ВИЧ-инфекция

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Хомутова Е.Ю., Порох В.И., Новиков П.В., Уралбаев А.А. Особенности рентгенологических проявлений при диагностике нетуберкулезных микобактериозов. Обзор литературы. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 97–109. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1352>

Поступила в редакцию: 22.03.2023. **Принята к печати:** 16.06.2023. **Опубликована online:** 15.09.2023.



Features of radiological manifestations in the diagnosis of nontuberculous mycobacteriosis. Literature review Clinical observation

© Elena Yu. Khomutova*, Vera I. Porokh, Pavel V. Novikov, Alisher A. Uralbayev

Omsk State Medical University; 12, Lenina str., Omsk 644099, Russian Federation

Purpose of the study. The purpose of this literature review is to determine the radiographic features in the diagnosis of non-tuberculous mycobacteriosis (NTMB) and to assess the possibility of radiological diagnosis of a combination of tuberculosis and non-tuberculous mycobacteriosis of the lungs in a patient with HIV infection.

Materials and methods. A review of the literature on the bases of scientific articles PubMed, ELibrary and Google Scholar. Attention was focused on full-text articles. The article presents a clinical observation of a patient being treated at the Clinical TB Dispensary in Omsk from 2019 to 2022 with a diagnosis of disseminated pulmonary tuberculosis, bilateral, in the infiltration phase, tuberculous spondylitis Th_{VII-IX}, complicated by a paravertebral abscess.

Results. The radiological changes characteristic of NTMB are: lesion of the right middle and lingual lobes of the lungs with the presence of diffuse bronchiectasis, changes in the type of “tree in the kidneys”, compaction of lung tissue by the type of “frosted glass” with the presence of centrilobular nodules, asymmetric small dense foci with peribronchial location, apical location of thin-walled cavities with thickening of the costal pleura, as well as foci of inflammatory infiltration. The absence of specific symptoms for this pathology requires further research in this area. The identification of characteristic radiological features will speed up the diagnosis of infection and determine the correct management tactics for patients.

Conclusion. The radiosemiotics of NTMB is characterized by a large variability of manifestations. The most informative method of radiation diagnosis of NTMB is multispiral computed tomography (MSCT). Thanks to MSCT, a radiologist has the opportunity to accurately assess the localization and nature of foci, as well as assess the dynamics and prevalence of the process. The most characteristic radiological symptoms are the defeat of the right middle and lingual lobes of the lungs with the presence of diffuse bronchiectasis, changes in the type of “tree in the kidneys”, compaction of lung tissue by the type of “frosted glass” and the presence of centrilobular nodules, asymmetric small dense foci with peribronchial arrangement, apical arrangement of thin-walled cavities with thickening of the costal pleura, as well as foci inflammatory infiltration. The absence of specific symptoms for this pathology requires further research in this area. The identification of characteristic radiological features will speed up the diagnosis of infection and determine the correct management tactics for patients.

Keywords: nontuberculous mycobacteriosis; radiodiagnosis; bronchiectasis; pulmonary tuberculosis; HIV infection

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

For citation: Khomutova E.Yu., Porokh V.I., Novikov P.V., Uralbaev A.A. Features of radiological manifestations in the diagnosis of nontuberculous mycobacteriosis. Literature review Clinical observation. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 97–109. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1352>

Received: 22.03.2023.

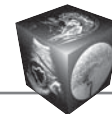
Accepted for publication: 16.06.2023.

Published online: 15.09.2023.

Введение

Нетуберкулезный микобактериоз (НТМБ) легких – инфекционное заболевание органов дыхания, вызванное атипичными микобактериями, представляющими группу сапрофитных и условно-патогенных микобактерий [1]. Впервые о данном заболевании сообщили А. Тимре и Е.Н. Рунуон в своей статье “Отношение атипичных кислотоустойчивых бактерий к заболеваниям человека” в 1954 г. [2]. В то же время в лабораториях разных стран мира стали выделять из патологического материала пациентов кислотоустойчивые микроорганизмы, имеющие сходство с возбудителями

туберкулеза [3]. Отличительными признаками НТМБ были более быстрый рост на питательных средах, способность к пигментообразованию и активность некоторых ферментов [4]. На сегодняшний день известно более 200 видов НТМБ, из них около 50 видов НТМБ вызывают заболевание у человека [1]. Микобактерии по скорости роста на питательных средах классифицируются на медленнорастущие (видимый рост на питательной среде более чем через 7 дней) и быстрорастущие (видимый рост на питательной среде менее чем через 7 дней) [1]. К наиболее клинически значимым видам медленнорастущих нетуберкулез-



ных микобактерий относятся: *M. avium complex*, *M. xenopi*, *M. malmoense*, *M. kansasii*, *M. marinum*, *M. simiae*. Среди всех быстрорастущих нетуберкулезных микобактерий *M. fortuitum*, *M. chelonae*, *M. abscessus* являются наиболее часто встречающимися [5].

Эпидемиология

Микобактериозы имеют широкое распространение в окружающей среде и при сниженном иммунологическом статусе человека могут вызывать тяжелые заболевания [6]. Данную патологию относят к истинно оппортунистической инфекции, которая в 90–95% случаев встречается на фоне ВИЧ-инфекции. У больных с ВИЧ-инфекцией НТМБ встречается в 5% случаев. В.Р. Межебовский и соавт. (2022 г., Оренбург) в период с 2011 по 2019 г. в ООКПТД выявили 119 пациентов с диагнозом НТМБ. У 63 пациентов из 119 обследованных НТМБ сочетался с ВИЧ-инфекцией [7].

Регистрация заболеваемости и распространенности НТМБ ведется во многих странах мира [1]. Среди экономически развитых стран наиболее высокую распространенность и заболеваемость НТМБ имеет Япония [8]. По данным на 2005 г. распространенность НТМБ была 33–65 на 100 тыс. населения [8]. Исследования, проводимые в странах Восточной Азии, свидетельствовали о неуклонном росте микобактериальных инфекций [8]. На Тайване с 2000 по 2008 г. отмечался рост НТМБ с 2,7 до 10,2 на 100 тыс. населения [8]. Распространенность инфекции в Корее увеличилась с 9,4 (2009 г.) до 36,1 (2016 г.) на 100 тыс. населения [9]. В Китае распространенность НТМБ увеличилась с 2008 по 2012 г. с 3,0 до 8,5% [9].

Факторами риска развития данного заболевания являются возраст старше 65 лет, длительная кортикостероидная и иммуносупрессивная терапия, иммунодефицитные состояния, а также хронические заболевания легких, такие как муковисцидоз, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), хронический бронхит, бронхоэктатическая болезнь, туберкулез [2, 8]. В Южном Китае НТМБ чаще болеют женщины и пациенты с бронхоэктазами, а в Германии данная патология чаще встречается у лиц пожилого возраста и больных ХОБЛ [2]. В Российской Федерации отсутствуют официальные данные о распространенности и заболеваемости НТМБ, что затрудняет оценку его эпидемиологической характеристики [2].

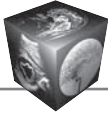
Проблемы диагностики НТМБ

А. Safianowska и соавт. в 2009 г. описали использование метода ДНК-гибридизации для диагностики данной патологии, что было рекомендо-

вано Всемирной организацией здравоохранения в качестве основного метода идентификации НТМБ [9]. В настоящее время основополагающим документом, регламентирующим тактику ведения пациентов с НТМБ в Российской Федерации, являются Клинические рекомендации “Микобактериозы органов дыхания”, утвержденные в 2022 г. [10]. В соответствии с данным документом диагноз устанавливается согласно рекомендациям Американского торакального общества (ATS), Американского общества по инфекционным болезням (IDSA) (2007 г.) и рекомендациям Британского торакального общества (BTS) (2017 г.). По данным официального заявления ATS/IDSA (2017 г.) кроме положительных микробиологических данных для установления диагноза “микобактериоз” требуется наличие клинических симптомов заболевания легких, очаговых или полостных изменений на рентгенограмме или выявленных при компьютерной томографии (КТ) мультифокальных бронхоэктазов в сочетании с множественными мелкими очагами, а также исключение иных диагнозов [11]. Основной трудностью в диагностике НТМБ является отсутствие характерной клинко-рентгенологической картины, а видовая идентификация микобактерий доступна только референс-лабораториям регионального уровня или научно-исследовательских институтов [11]. У пациентов с данной патологией наблюдаются такие симптомы, как кашель, одышка, лихорадка, кровохарканье, снижение массы тела и боль в груди [12]. Данные симптомы имеют сходство с другими хроническими заболеваниями легких, что затрудняет диагностику НТМБ. Трудности диагностики НТМБ обусловлены и сходством клинко-рентгенологической картины с туберкулезом. Например, Е.И. Шмелев и соавт. (2022 г., Москва) предоставляют данные, что среди пациентов с НТМБ в период с 2011 по 2018 г. 65% больных состояли на учете у фтизиатра в связи с ошибочной гипердиагностикой различных клинических форм туберкулеза легких (диссеминированный, фиброзно-кавернозный, очаговый) [13].

Рентгеносемиотика НТМБ

Рентгенологические изменения при НТМБ представлены участками бронхоэктазов, полостями деструкции, очагами и фокусами воспалительной инфильтрации [14]. В отличие от туберкулеза, полости при НТМБ имеют тонкие стенки без перифокального воспаления, отсутствует бронхогенное обсеменение, над пораженными участками легких развиваются плевральные спайки различной степени выраженности. Патологические из-



менения при НТМБ локализуются преимущественно в средних и/или нижних отделах легких [14]. У пожилых некурящих женщин НТМБ рентгенологически проявляется двусторонними очаговыми и интерстициальными изменениями легочной паренхимы [3]. У курящих мужчин зоны деструкции достигают гигантских размеров [1, 3]. Очаговые изменения, визуализируемые при КТ высокого разрешения, преимущественно локализуются в средних и нижних отделах легких и сочетаются с бронхоэктазами [3].

В своем исследовании Z. Wakula и соавт. (2018 г., Польша) описали характерные рентгенологические проявления НТМБ, вызванного *M. kansasii*, у пациентов с сопутствующими хроническими заболеваниями [15]. Характерными рентгенологическими признаками НТМБ легких были полости, паренхиматозные инфильтраты, узелки, бронхоэктазы и рисунок по типу “дерево в почках”. У некоторых пациентов отмечались диссеминированные или локализованные фиброзные поражения, а также плевральный выпот [15]. Отмечалось преобладание двустороннего поражения легочной ткани (72,1%) с преимущественной локализацией в верхних долях (96,5%) [15].

В исследовании S. Brode и соавт. (2014 г., Канада) было установлено, что у пациентов с поражением легких, вызванным *M. xenopi*, по данным МСКТ визуализировались узловые бронхоэктазы [16]. Пациентами с данными поражениями были преимущественно женщины с более легким течением заболевания [16].

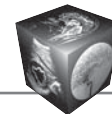
А.П. Саргсян и соавт. в своем ретро- и проспективном исследовании (2021 г., Москва), проведенном в период с 2014 по 2020 г., оценили КТ-признаки НТМБ у пациентов с сопутствующей патологией легких [17]. Диагноз НТМБ был верифицирован микробиологическим и молекулярно-генетическими методами. В исследовании приняли участие 166 пациентов. У 79 человек НТМБ сочетался с хроническим бронхитом (37%), ХОБЛ (25%), бронхоэктазами (20%) и туберкулезом легких (18%) [17]. Другую когорту составили 87 пациентов с хроническими заболеваниями легких без НТМБ. У 73 человек микобактерии были медленно растущими [17]. У данной категории пациентов при МСКТ визуализировались фиброзные, очагово-инфильтративные, кистозные полости и бронхоэктазы в легких. Патологические изменения локализовались преимущественно перибронхиально, перибронхиолярно и периваскулярно [17]. Медленно растущие НТМБ вызывали развитие обширных лимфоидных инфильтратов в легочной ткани и вокруг терминальных бронхиол [17].

Формы НТМБ

В большинстве случаев клиническая и рентгенологическая картина НТМБ неспецифична, но имеются клиничко-рентгенологические симптомы, характерные для каждой из форм данной патологии [1]. В исследовании под руководством Р.Б. Амансахедова (2018 г., Москва) описано, что НТМБ чаще всего протекает в трех формах: фиброзно-кавитарная, узелковая бронхоэктатическая и гиперчувствительный пневмонит [3, 11]. Клиническая картина фиброзно-кавитарной формы НТМБ включает в себя такие неспецифические симптомы, как выделение мокроты, одышка, кровохарканье, боль в груди, лихорадка, астения, потеря массы тела, наличие одышки и ночной потливости [3, 11]. Подобные проявления чаще встречаются у мужчин старше 50 лет, а также среди лиц европеоидной расы и курильщиков [3, 11]. Узелковая бронхоэктатическая форма характеризуется поражением правой средней и язычковой долей с диффузными бронхоэктазами и имеет более медленную скорость прогрессирования [3, 11]. Гиперчувствительный пневмонит является воспалительной реакцией легочной ткани, вызванной вдыханием больших количеств аэрозолей, содержащих НТМБ, и характеризуется уплотнением легочной ткани по типу “матового стекла” и центрилобулярными узелками [11].

В. Musaddaq и J.R. Cleverley (2020 г., Англия) были более подробно описаны рентгенологические особенности различных форм НТМБ [18]. Фиброзно-кавитарная форма у пациентов с сопутствующими заболеваниями легких обычно характеризуется полостным синдромом с преимущественной локализацией в верхних долях легких [18]. Тонкостенные полости визуализируются в сочетании с центрилобулярными узелками и утолщением костальной плевры [18]. Узелково-бронхоэктатическая форма НТМБ часто наблюдается у пациентов без сопутствующей патологии легких. Данная форма характеризуется наличием бронхоэктазов, утолщением бронхиальной стенки, центрилобулярными узелками по типу “дерево в почках” и иногда фокальной консолидацией [18]. На обзорной рентгенограмме органов грудной клетки у пациентов с гиперчувствительным пневмонитом чаще всего отсутствуют патологические изменения. При МСКТ грудной клетки в легочной ткани определяются участки затемнения по типу “матового стекла”, центрилобулярные узелки и воздушные ловушки [18].

L. Nqwata и A.R. Ouédrao в своем исследовании (2022 г., ЮАР) выделили две рентгенологические формы НТМБ: фиброзно-кавитарную и узелково-бронхоэктатическую [19]. Зачастую у паци-



ентов мужского пола с ХОБЛ определялись фиброзно-полостные изменения, представленные тонкостенными полостями и утолщением прилегающих отделов плевры. У пожилых худых женщин с деформацией грудной клетки преобладала узелково-бронхоэктатическая форма [19]. Также было отмечено, что рентгенологические проявления НТМБ зачастую зависели от иммунного статуса пациента. По данным МСКТ было определено, что полостной синдром является преобладающим рентгенологическим признаком в группе пациентов без иммунодефицита, в то время как симптом “дерево в почках” был характерен для ВИЧ-инфицированных пациентов [19].

Рентгенологические проявления *M. avium complex*

Рентгенологическими проявлениями микобактериоза, вызванного медленно растущими *M. avium complex* (MAC), являются множественные уплотнения и/или бронхоэктазы. Реже рентгенологический симптомокомплекс у пациентов с MAC-инфекцией характеризуется полостными образованиями и одиночными очаговыми тенями [20].

Полости с фиброзными стенками при MAC-инфекции в легких расположены преимущественно апикально. В исследовании P.G. De Marca и соавт. (2019 г., Бразилия) сообщалось, что узелковые бронхоэктазы являются важным рентгенологическим признаком инфекции, вызванной MAC [20].

П.В. Гаврилов и соавт. в своем ретроспективном когортном исследовании (2019 г., Санкт-Петербург) изучили особенности КТ-картины микобактериоза, вызванного *M. avium*, у пациентов с иммунодефицитом [21]. Для *M. avium* характерным является вовлечение в патологический процесс S_{IV}- и S_V-сегментов обоих легких [21]. Рентгенологические изменения в 62,2% случаев проявлялись в виде бронхоэктатической формы с преимущественным поражением субсегментарных бронхов [21]. В 19% случаев наблюдалось формирование полостных образований в легких. В 97,3% случаев полостной синдром и бронхоэктазы сочетались с различными очаговыми и инфильтративными изменениями. В 18,9% случаев НТМБ проявлялся только изолированными очагами или фокусами [21].

В своей работе M. Szturmowicz и соавт. (2020 г., Польша) описали КТ-признаки для пациентов с НТМБ [22]. У 47% пациентов визуализировались узлово-бронхоэктатические поражения в легких, а у 35% – инфильтративные изменения. Другие рентгенологические изменения в легких, такие как солитарные узелки, области паренхиматозного

фиброза с бронхоэктазами, были интерпретированы как неспецифические поражения [22]. Также отмечалось, что у пациентов, инфицированных *M. avium*, наличие инфильтративных и полостных изменений свидетельствует о более агрессивном течении заболевания [22].

S. Sharma (2020 г., Индия) продублировал и обобщил исследование W.J. Koh (2017 г., Южная Корея), в результате которого у 481 пациента с НТМБ, вызванным MAC, в 58% рентгенологическими признаками были инфильтративные изменения в легких, у 17% пациентов визуализировался полостной синдром, а в 25% определялась фиброзно-кавитарная форма [23].

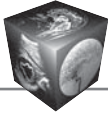
Рентгенологические проявления *M. kansasii*

Исследование, проведенное H.J. Yoon и H.Y. Choi (2017 г., Южная Корея), показало, что бронхоэктазы являются характерным признаком изменений в легких при инфицировании *M. kansasii* [24]. Л.Д. Гунтуповой и соавт. (2012 г., Москва) отмечено, что *M. kansasii* вызывают хронические заболевания легких, напоминающие по клинической картине классический туберкулез с вовлечением в патологический процесс верхних долей легких и деструкцией легочной ткани [25].

Л.Н. Лепеха и Е.В. Красникова (2020 г., Москва) в своем исследовании, проведенном в ФГБНУ “Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза” в период с 2014 по 2020 г., выяснили, что у пациентов, инфицированных *M. kansasii*, изменения возникали преимущественно в средних отделах правого легкого [26]. Полостные образования визуализировались у 20% больных и характеризовались слабовыраженным или отсутствующим фиброзным компонентом. Данные образования локализовались в основном в верхних долях легких [26].

Рентгенологические проявления *M. xenopi*

Рентгенологическими особенностями изменений в легких при инфицировании *M. xenopi* являются толстостенные полости, полиморфная легочная диссеминация на фоне грубой деформации легочного рисунка, выраженные пневмосклеротические изменения со смещением корней легких и средостения в сторону патологии, а также уменьшение в объеме долей легких и буллезная эмфизема [27]. Реже были визуализированы одиночные полости в уменьшенной доле легкого без очагов и инфильтрации, с обсеменением окружающей легочной ткани и одиночные фокусы с просветлением в центре [27].



Рентгенологические проявления *M. chelonae complex*

Особое внимание стоит уделить микобактериозам, вызванным наиболее распространенным возбудителем из быстрорастущих НТМБ – *M. chelonae complex*. Рентгенологические особенности легочных проявлений, вызванных *M. chelonae complex*, представлены очагами и фокусами преимущественно в верхних отделах легких [27]. Характерно распространенное поражение легких в виде мелкоочаговой и среднеочаговой диссеминации на фоне усиленного и деформированного легочного рисунка. В некоторых случаях визуализировались распространенные бронхоэктатические изменения. Деструкция отмечена только в 15% случаев, а множественные полости распада в легких являются редким проявлением при данной патологии [27].

Рентгеносемиотика НТМБ у ВИЧ-инфицированных пациентов

В настоящее время рост частоты заболеваний, вызванных НТМБ, связывают с ростом количества иммуносупрессивных пациентов [28]. Проблема микобактериозов актуальна не только для ВИЧ-инфицированных, но и для других категорий больных с иммунодефицитом.

Под руководством М.А. Савченко (2019 г., Санкт-Петербург) проведено ретро- и проспективное многоцентровое исследование с обследованием пациентов с ВИЧ-инфекцией и бактериологически подтвержденным микобактериозом, проходивших лечение в стационаре Центра СПИД Санкт-Петербурга, СПб ГБУЗ КИБ им. С.П. Боткина, СПб ГБУЗ “Центр по профилактике и борьбе со СПИД и инфекционными заболеваниями” за период с 2005 по 2019 г. [28]. Структура поражения легочной ткани была проанализирована при помощи рентгенографии органов грудной клетки у 113 (99%) пациентов и КТ у 61 (53%) пациента [28]. У 30 (26%) пациентов определялось расширение средостения, у 8 (7%) описывались сгущение и деформация легочного рисунка, в 1 (0,9%) случае был выявлен малый гидроторакс [28]. Диссеминация в легочной ткани зарегистрирована у 8 (7%) человек, инфильтрация – у 20 пациентов (17%) [28]. Деструкция легочной ткани была выявлена только у 1 (0,9%) пациента. В четверти случаев патологических изменений при проведении МСКТ не выявлено (14 пациентов; 22,9%), в 77% случаев выявлены: увеличение внутригрудных лимфатических узлов (33 пациента; 54%), в двух случаях с признаками абсцедирования, интерстициальные изменения с мелкими очагами

(11 пациентов; 18%), синдром инфильтрата (17 пациентов; 28%), синдром деструкции (4 пациента; 6%), изменения по типу “матового стекла” (4 пациента; 6%). Еще в 4 (6%) случаях выявлен выпот в полость перикарда [28]. А.В. Мишина и соавт. (2019 г., Москва) предоставляют данные, что у ВИЧ-инфицированных пациентов наиболее частым возбудителем при НТМБ был *M. avium complex*. У таких пациентов МАС-инфекция обычно протекает в виде диссеминированного процесса, при этом каверны и бронхоэктазы – достаточно редкое явление [29].

Приведенное клиническое наблюдение позволяет оценить возможности лучевой диагностики сочетания туберкулеза и НТМБ легких у пациента с ВИЧ-инфекцией. Верификация диагноза осуществлялась на основании лучевых методов визуализации, включавших в себя обзорную рентгенографию органов грудной клетки, линейную томографию и МСКТ, микроскопии мокроты методами ВАСТЕС и посевом на плотные питательные среды, а также результатов клинико-лабораторных исследований.

Клиническое наблюдение

Пациент Н., 35 лет, был госпитализирован в БУЗОО “Клинический противотуберкулезный диспансер” города Омска в 2019 г. При поступлении впервые был установлен клинический диагноз: диссеминированный туберкулез легких, двусторонний, в фазе инфильтрации, туберкулезный спондилит Th_{VII-IX}, осложненный паравертебральным абсцессом. При полном обследовании пациента также впервые была выявлена ВИЧ-инфекция и назначена антиретровирусная терапия (АРВТ). Согласно Федеральным клиническим рекомендациям “Туберкулез у взрослых” 2020 г., пациенту было проведено рентгенологическое обследование, включающее в себя обзорную рентгенографию органов грудной клетки и линейную томографию легких (рис. 1, 2) [30]. По результатам обследования в верхних отделах легких с обеих сторон на фоне деформированного бронхососудистого рисунка определялись асимметрично расположенные разнокалиберные полиморфные очаговые тени, корни легких структурны, тень средостения не смещена. Многократно были получены положительные анализы мокроты методом люминесцентной микроскопии на кислотоустойчивые микобактерии. Лечение проводилось по I режиму химиотерапии: изониазидом, рифампицином, пипразинамидом и этамбутолом. При контрольной МСКТ органов грудной клетки от 2020 г. наблюдались отрицательная динамика в виде мелкоочаговой перибронхиальной диссеминации в верхних отделах легких и нарастание деструктивных изменений в телах пораженных позвонков (рис. 3, 4). Определялась деструкция и секвестрация тел Th_{VII-IX}

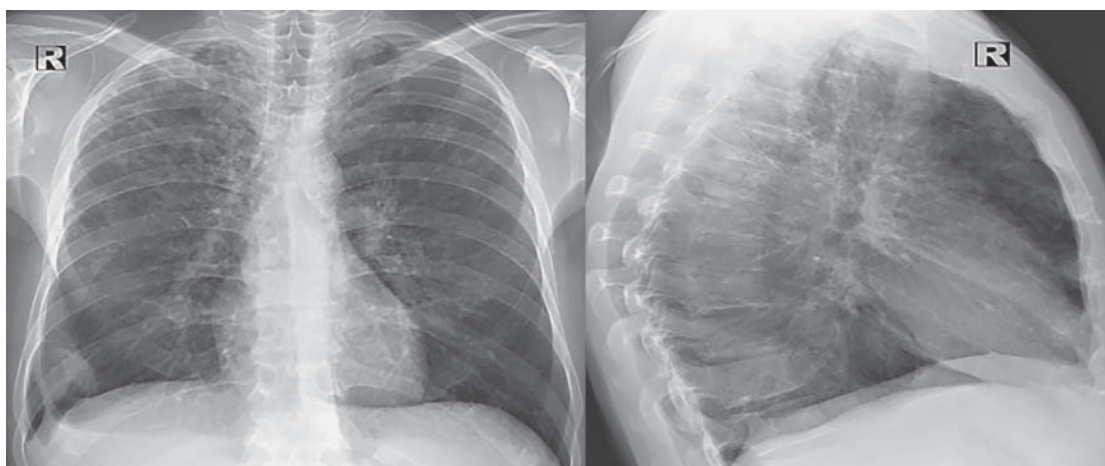
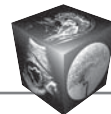


Рис. 1. Обзорная рентгенограмма органов грудной клетки в двух проекциях от 03.2020. Мелкоочаговая перибронхиальная диссеминация в верхних отделах легких.

Fig. 1. Plain radiograph of the chest in two projections from 03.2020. Small-focal peribronchial dissemination in the upper parts of the lungs.

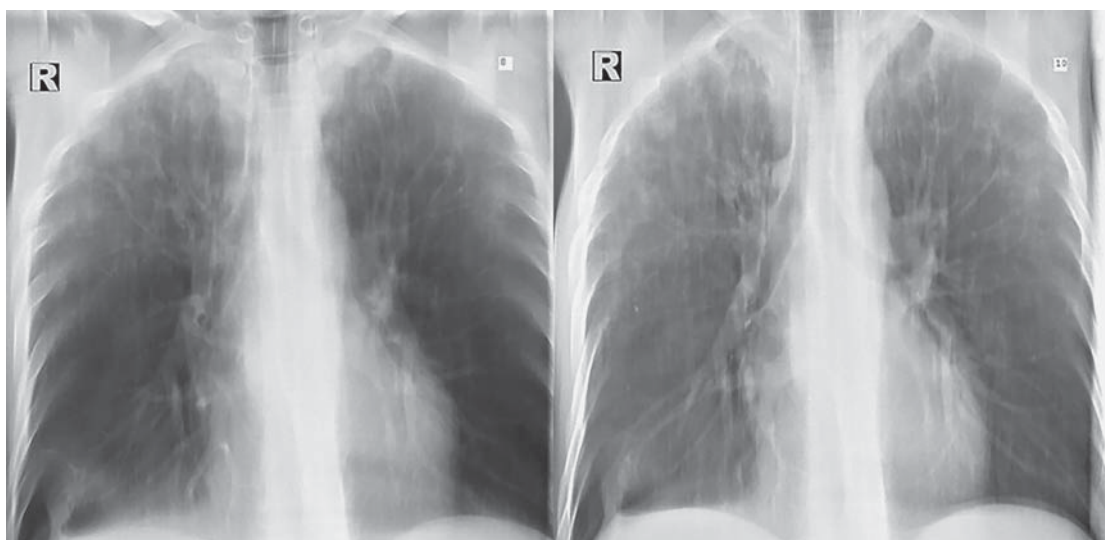


Рис. 2. Линейная томография органов грудной клетки от 03.2020, срезы 8–10 см. Мелкоочаговая перибронхиальная диссеминация в верхних отделах легких.

Fig. 2. Linear tomography of the chest from 03.2020, sections 8–10 cm. Small-focal peribronchial dissemination in the upper parts of the lungs.

с клиновидной деформацией II–III степени, утолщением передней эпидуральной клетчатки и сужением позвоночного канала до 9 мм. При очередном микробиологическом исследовании методом ВАСТЕС впервые были выявлены *M. flavescens*. Несмотря на микробиологическую верификацию возбудителя, изменения диагноза на микобактериоз не было. Решением центральной врачебной контрольной комиссии пациенту изменили список препаратов химиотерапии на протионамид, левофлоксацин и циклосерин.

При МСКТ органов грудной клетки сохранялись плотные асимметрично расположенные разнокалиберные очаговые тени с перибронхиальной локализацией. После выписки из противотуберкулезного стационара продолжил лечение амбулаторно.

Решением центральной врачебной контрольной комиссии в 2021 г. пациент был переведен в 3-ю группу диспансерного наблюдения с диагнозом: клиническое излечение микобактериоза легких с наличием больших остаточных изменений в виде плотных очагов, осумко-

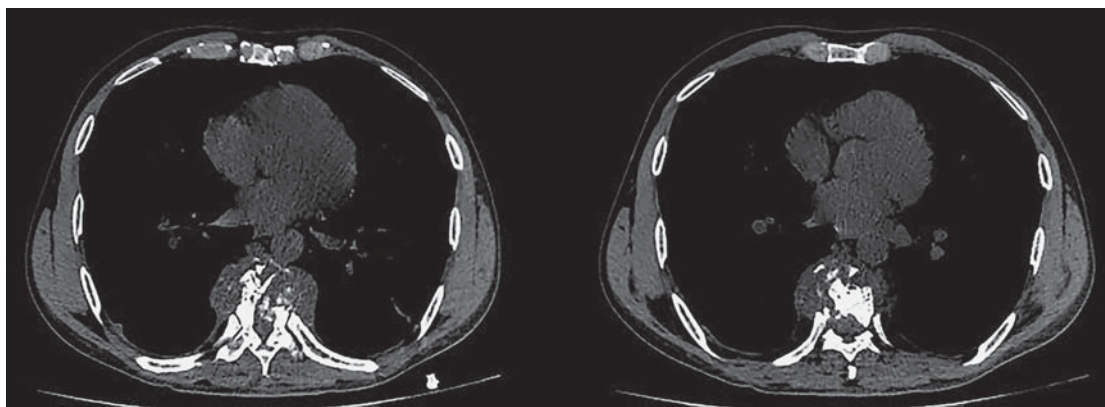
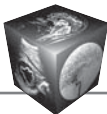


Рис. 3. МСКТ органов грудной клетки от 09.2020. Туберкулезный спондилит на уровне тел Th_{VII}, Th_{IX} со стенозом позвоночного канала.

Fig. 3. MSCT of the chest organs from 09.2020. Tuberculous spondylitis at the level of Th_{VII}, Th_{IX} with spinal stenosis.

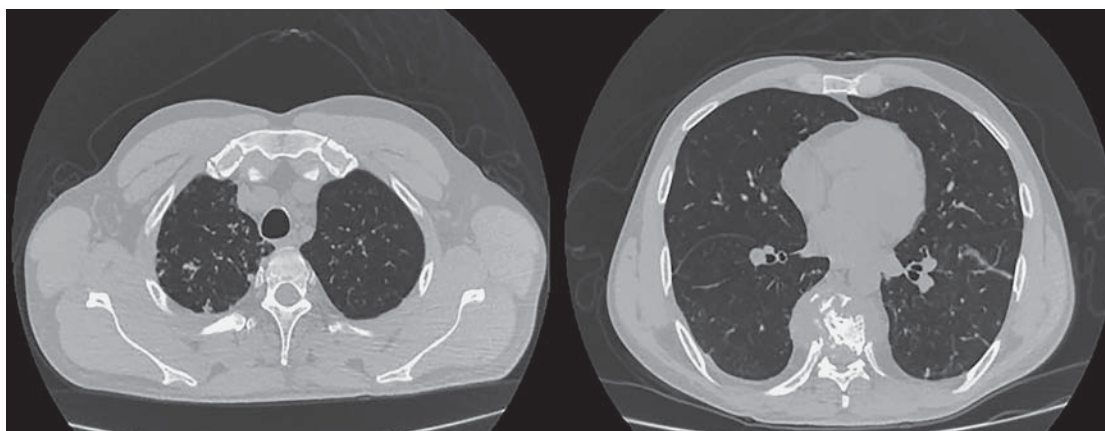


Рис. 4. МСКТ органов грудной клетки от 09.2020. Мелкоочаговая перибронхиальная диссеминация в верхних отделах легких. Клиновидная деформация тел Th_{VII-IX}-позвонков.

Fig. 4. MSCT of the chest organs from 09.2020. Small-focal peribronchial dissemination in the upper parts of the lungs. Wedge-shaped deformity of the bodies of Th_{VII-IX} vertebrae.

ванного плеврита справа, фиброзных изменений обоих легких. Клиническое излечение туберкулезного спондилита (рис. 5, 6).

В 2022 г. пациент поступил в стационар с целью дообследования перед переосвидетельствованием для медико-социальной экспертизы. По данным объективного осмотра в связи с развившейся миелопатией вследствие стеноза позвоночного канала у пациента наблюдались выраженные двигательные расстройства и нарушение функции тазовых органов. На обзорной рентгенограмме органов грудной клетки в верхних полях обоих легких на фоне деформированного бронхосудистого рисунка сохранялись мелкие плотные и кальцинированные очаги. В грудном отделе позвоночника

определялся патологический кифоз за счет клиновидной деформации тел Th_{VII-IX} II–III степени (рис. 7).

Из анамнеза были выяснено, что после выписки из стационара пациент отказался от АРВТ, что повлекло за собой ухудшение иммунного статуса и увеличение вирусной нагрузки. Во время госпитализации пациент неоднократно был консультирован инфекционистом и выполнена иммунограмма крови. По результатам иммунограммы от 2022 г. уровень CD4 был значительно снижен – 23 кл/мл. Врачом-инфекционистом повторно назначена АРВТ. Ввиду наличия выраженного болевого синдрома и двигательных расстройств пациент был консультирован вертебрологом для решения вопроса о дальнейшей тактике лечения.

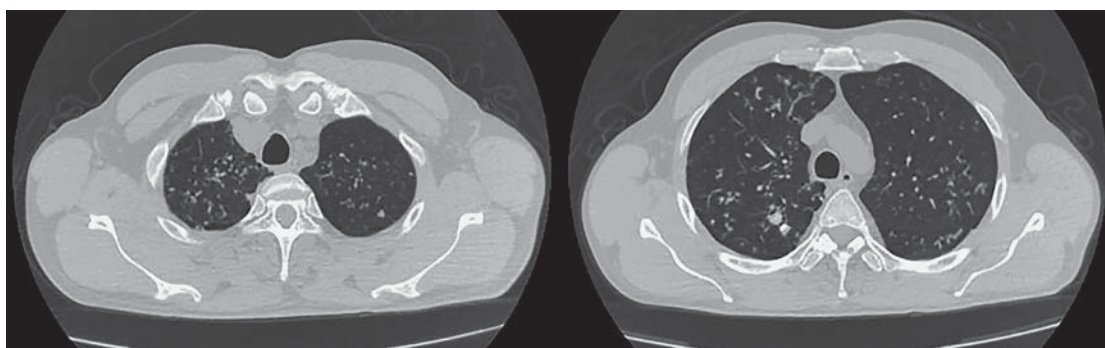
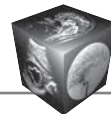


Рис. 5. МСКТ органов грудной клетки от 08.2021. Мелкоочаговая перибронхиальная диссеминация в верхних отделах легких.

Fig. 5. MSCT of the chest organs from 08.2021. Small-focal peribronchial dissemination in the upper parts of the lungs.

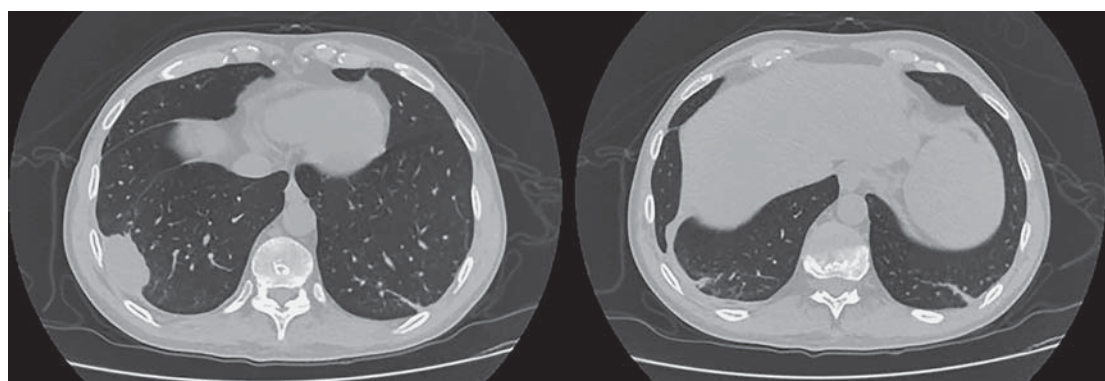


Рис. 6. МСКТ органов грудной клетки от 09.2021. Осумкованный плеврит справа, фиброзные изменения в нижних отделах с обеих сторон.

Fig. 6. MSCT of the chest organs from 09.2021. Encapsulated pleurisy on the right, fibrous changes in the lower sections on both sides.

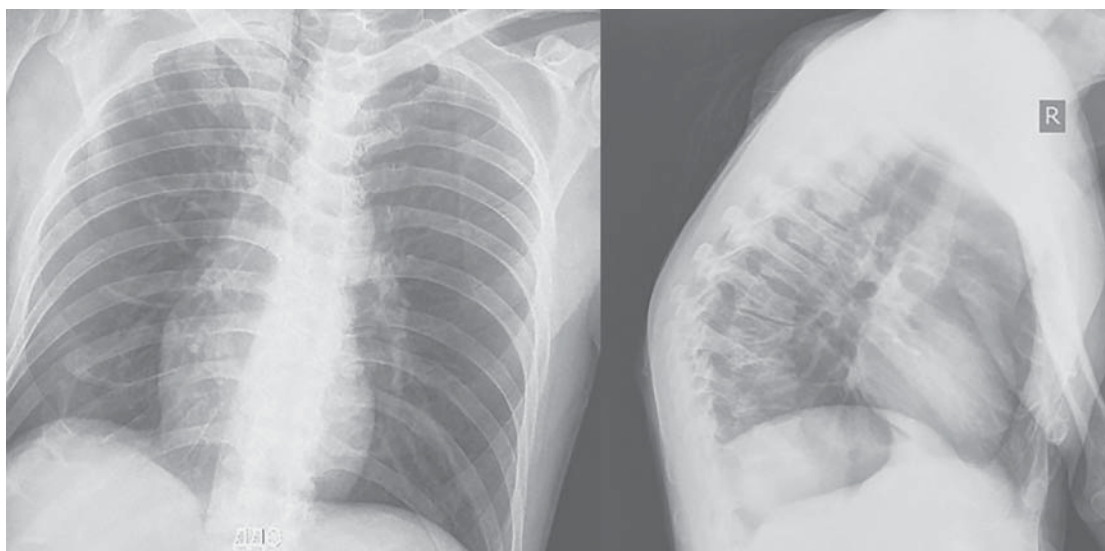


Рис. 7. Обзорная рентгенограмма органов грудной клетки в двух проекциях от 04.2022. Выраженный кифосколиоз грудного отдела позвоночника. Мелкоочаговая перибронхиальная диссеминация в верхних отделах легких.

Fig. 7. Plain radiograph of the chest in projections from 04.2022. Small-focal peribronchial dissemination in the upper parts of the lungs.



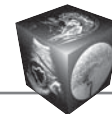
Обсуждение

Сложность диагностики НТМБ заключается в отсутствии характерных симптомов заболевания, возможности применения современных молекулярных методов диагностики на этапе первичного обращения пациента, а также специфических рентгенологических симптомов для данной патологии. На основании результатов данного литературного обзора и приведенного клинического наблюдения была подтверждена трудность как диагностики НТМБ, так и дифференциальной диагностики НТМБ с туберкулезом легких. Приведенное клиническое наблюдение демонстрирует схожесть диагностики сочетанной формы НТМБ и туберкулеза легких, а также необходимость использования метода КТ органов грудной клетки. Данный метод позволяет определить преимущественный характер структурных изменений: вовлечение в патологический процесс сосудов, бронхов различного калибра, интерстиция, внутригрудных лимфатических узлов, плевры, а также провести дифференциальную диагностику НТМБ и туберкулеза легких. Несмотря на отсутствие специфических рентгенологических особенностей НТМБ, различным авторам удалось определить наиболее характерные признаки поражений легких как при различных формах НТМБ, так и для наиболее часто встречаемых возбудителей данной патологии. Для фиброзно-кавернозной формы характерными рентгенологическими признаками являются апикальное расположение тонкостенных полостей в сочетании с центрилобулярными узелками и утолщением костальной плевры. Узелково-бронхоэктатическая форма НТМБ характеризуется поражением правой средней и языковых долей легких с наличием диффузных бронхоэктазов, симптома “дерево в почках” и утолщением бронхиальной стенки. Рентгенологическим проявлением гиперчувствительного пневмонита является уплотнение легочной ткани по типу симптома “матового стекла” и наличие центрилобулярных узелков. При НТМБ, вызванном МАС, наиболее характерными рентгенологическими проявлениями являются множественные уплотнения легочной ткани, бронхоэктазы и инфильтративные изменения, локализованные преимущественно в верхней и средней долях обоих легких. Бронхоэктазы с локализацией в средних отделах правого легкого и полостные образования в верхних долях легких характерны для НТМБ, вызванного *M. kansasii*. Рентгенологическими особенностями изменений в легких при инфицировании

M. xenopi являются толстостенные полости, полиморфная легочная диссеминация на фоне грубой деформации легочного рисунка, выраженные пневмосклеротические изменения со смещением корней легких и средостения в сторону патологии, а также уменьшение в объеме долей легких и буллезная эмфизема. При НТМБ, вызванном *M. chelonae complex*, визуализируются очаги и фокусы преимущественно в верхних отделах легких. Также характерно распространенное поражение легких в виде мелкоочаговой и среднеочаговой диссеминации на фоне усиленного и деформированного легочного рисунка.

Заключение

В настоящее время ключевую роль в диагностике НТМБ в сочетании с клиничко-рентгенологическими данными играет идентификация микобактерий. Микробиологическая и молекулярно-генетическая идентификация доступна только в референс-лабораториях регионального уровня или научно-исследовательских институтах и занимает длительное время. Данный факт приводит к тому, что пациенты с диагнозом НТМБ поступают в противотуберкулезные учреждения и получают необоснованно длительную противотуберкулезную терапию. Клинические симптомы НТМБ крайне разнообразны и неспецифичны и могут маскироваться сосуществующими заболеваниями. По мнению различных авторов, рентгеносемиотика НТМБ отличается большой вариабельностью проявлений. Наиболее информативным методом лучевой диагностики НТМБ является МСКТ. Благодаря МСКТ у врача-рентгенолога есть возможность точной оценки локализации и характера очагов, а также оценки динамики и распространенности процесса. Наиболее характерными рентгенологическими симптомами являются поражение правой средней и языковых долей легких с наличием диффузных бронхоэктазов, изменения по типу “дерева в почках”, уплотнение легочной ткани по типу “матового стекла” и наличие центрилобулярных узелков, асимметричные мелкие плотные очаги с перибронхиальным расположением, апикальное расположение тонкостенных полостей с утолщением костальной плевры, а также фокусы воспалительной инфильтрации. Отсутствие специфических симптомов для данной патологии требует дальнейших исследований в этой области. Выделение характерных рентгенологических особенностей позволит ускорить диагностику инфекции и определить правильную тактику ведения больных.



Участие авторов

Хомутова Е.Ю. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Порох В.И. – проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста.

Новиков П.В. – статистическая обработка данных, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Уралбаев А.А. – обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

Khomutova E.Yu. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

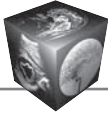
Porokh V.I. – conducting research, collection and analysis of data, writing text.

Novikov P.V. – statistical analysis, participation in scientific design, preparation and creation of the published work.

Uralbaev A.A. – review of publications, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы

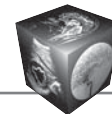
- Макарова М.В., Гунтупова Л.Д. Нетуберкулезные микобактерии. *БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение*. 2020; 20 (2): 97–102. <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2020-20-2-97-102>
- Timpe A., Runyon E.H.. The relationship of atypical acid-fast bacteria to human disease; a preliminary report. *J. Lab. Clin. Med.* 1954; 44 (2): 202–209. PMID: 13184228
- Амансахедов Р.Б., Лепеха Л.Н., Дмитриева Л.И., Андриевская И.Ю., Сигаев А.Т., Макарьянц Н.Н., Романов В.В., Эргешов А.Э. Рентгеноморфологическая семиотика нетуберкулезных микобактериозов легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2018; 99 (4): 184–190. <https://doi.org/10.20862/00424676-2018-99-4-184-190>
- Елисеев П.И., Марьяндышев А.О., Тарасова И.В., Хелдал А., Хиндеракер С.Г. Диагностика и лечение легочного микобактериоза у пациентов с подозрением на туберкулез легких. *Туберкулез и болезни легких*. 2018; 96 (7): 61–62. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-7-61-62>
- Петрова Л.В., Мельникова Е.И., Соловьев Ю.А., Ларионова Е.Е., Севастьянова Э.В. Выявление нетуберкулезных микобактерий в Республике Марий Эл. *Туберкулез и болезни легких*. 2018; 96 (2): 41–46. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-2-41-46>
- Соколова И.А. Имидж-диагностика микобактериозов легких. *Consilium Medicum*. 2017; 19 (3): 24–28.
- Межебовский В.Р., Шмакова Е.В., Межебовский А.В., Пашкова Н.А., Тен М.Б., Лабутин И.В., Федосеев В.Ю. Распространенность нетуберкулезных микобактерий среди населения Оренбургской области. *Оренбургский медицинский вестник*. 2022; 1 (37): 55–57.
- Ueyama M., Asakura T., Morimoto K. et al. Pneumothorax associated with nontuberculous mycobacteria: A retrospective study of 69 patients. *Medicine*. 2016; 95 (29): e4246. doi:10.1097/MD.0000000000004246
- Safianowska A., Walkiewicz R., Nejman-Gryz P. et al. Diagnostic utility of the molecular assay GenoType MTBC (HAIN Lifesciences, Germany) for identification of tuberculous mycobacteria. *Pneumonologia i Alergologia Polska*. 2009; 77 (6): 517–520.
- Клинические рекомендации. Микобактериозы органов дыхания. 2022. https://spulmo.ru/upload/kr/Microbakterioz_2022.pdf
- Амансахедов Р.Б., Дмитриева Л.И., Смирнова Т.Г., Егорова А.Д., Эргешов А.Э. Рентгеносемиотика различных форм нетуберкулезных микобактериозов легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2022; 103 (1–3): 30–37. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-1-3-30-37>
- Смоляникова У.А., Гаврилов П.В., Ушков А.Д., Васильев И.В., Грива Н.А., Соколович Е.Г. Сложности диагностики очаговой формы нетуберкулезного микобактериоза. *REJR*. 2021; 11 (4): 158–163. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-4-158-163>
- Шмелев Е.И., Зайцева А.С., Макарьянц Н.Н., Ковалевская М.Н., Саргсян А.П. Опыт работы с большими нетуберкулезными микобактериозами. *Пульмонология*. 2022; 32 (1): 95–102. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2022-32-1-95-102>
- Bonnet M., San K.C., Pho Y. et al. Nontuberculous Mycobacteria Infections at a Provincial Reference Hospital, Cambodia. *Emerging infectious diseases*. 2017; 23 (7): 1139–1147. <https://doi.org/10.3201/eid2307.170060>
- Bakuła Z., Kościuch J., Safianowska A. et al. Clinical, radiological and molecular features of Mycobacterium kansasii pulmonary disease. *Respir. Med*. 2018; 139: 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2018.05.007>
- Brode S.K., Daley C.L., Marras T.K. The epidemiologic relationship between tuberculosis and non-tuberculous mycobacterial disease: a systematic review. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis*. 2014; 18 (11): 1370–1377. <https://doi.org/10.5588/ijtld.14.0120>
- Саргсян А.П., Макарьянц Н.Н., Лепеха Л.Н., Черноусова Л.Н. Клинико-рентгенологические проявления микобактериоза у больных с хроническими заболеваниями легких. *Доктор.Ру*. 2021; 20 (7): 66–72. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2021-20-7-66-72>
- Musaddaq B., Cleverley J.R. Diagnosis of non-tuberculous mycobacterial pulmonary disease (NTM-PD): Modern challenges. *Br. J. Radiol*. 2020; 93, 1106 20190768. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190768>
- Nqwata L., Ouédraogo A.R. Non-tuberculous mycobacteria pulmonary disease: A review of trends, risk factors, diagnosis and management. *Afr. J. Thorac. Crit. Care Med*. 2022; 28 (2). <https://doi.org/10.7196/AJTCCM.2022.v28i2.157>
- De Marca P.G.C., Goldenberg T., Mello F.C.Q. et al. Pulmonary Densitovolumetry Using Computed Tomography in Patients with Nontuberculous Mycobacteria: Correlation with Pulmonary Function Tests. *Pulm. Med*. 2019; 2019: 5942783. <https://doi.org/10.1155/2019/5942783>
- Гаврилов П.В., Арчакова Л.И., Анисимова А.И., Колесниченко О.М. Лучевая семиотика микобактериозов легких, вызванных *Mycobacterium avium*, у иммунокомпетентных пациентов. *Медицинский альянс*. 2019; 1: 31–37.



22. Szturmowicz M., Onisz K., Wyrostkiewicz D. et al. Non-Tuberculous Mycobacteria in Respiratory Specimens of Patients with Obstructive Lung Diseases-Colonization or Disease? *Antibiotics (Basel)*. 2020; 9 (7): 424. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9070424>
23. Sharma S.K. Diagnosis & treatment of non-tuberculous mycobacterial diseases. *Indian J. Med. Res.* 2020; 152 (3): 185–226. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_902_20
24. Yoon H.J., Choi H.Y. Nontuberculosis mycobacterial infections at a specialized tuberculosis treatment centre in the Republic of Korea. *BMC Infect. Dis.* 2017; 17 (1). 432.
25. Гунтупова Л.Д., Борисов С.Е., Макарова М.В., Хачатурьянц Е.Н. Микобактериозы органов дыхания: эпидемиология, микробиологические и клинические аспекты диагностики. *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2012; 17 (2): 8–14. <https://doi.org/10.17816/EID40627>
26. Лепеха Л.Н., Красникова Е.В. Тканевые и клеточные реакции легких, вызванные различными штаммами медленнорастущих нетуберкулезных микобактерий. *Вестник "ЦНИИТ"*. 2020; 4: 27–34. <https://doi.org/10.7868/S2587667820040032>
27. Гунтупова Л. Д., Борисов С. Е., Соловьева И. П., Макарова М. В., Хачатурьянц Е. Н. Микобактериозы во фтизиопульмонологической практике: обзор литературы и собственный опыт. *Практическая медицина*. 2011; 3–1 (50): 39–50.
28. Савченко М. А. Клинические и эпидемиологические аспекты микобактериоза у пациентов с ВИЧ-инфекцией. *ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии*. 2019; 11 (2): 27–33. <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2019-11-2-27-33>
29. Мишина А.В., Мишин В.Ю., Собкин А.Л. Туберкулез и микобактериоз легких у больных на поздних стадиях ВИЧ-инфекции. *Туберкулез и болезни легких*. 2019; 97 (12): 58–59. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-12-58-59>
30. Клинические рекомендации "Туберкулез у взрослых". 2022–2023. <https://edu.nmrc.ru/wp-content/uploads/2023/07/%D0%9A%D0%A016.pdf>
31. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-2-41-46> (In Russian)
6. Sokolina I.A. Imaging of pulmonary nontuberculous mycobacterial infection. *Consilium Medicum*. 2017; 19 (3): 24–28. (In Russian)
7. Mezhebovskiy V.R., Shmakova E.V., Mezhebovskiy A.V. et al. Prevalence of non-tuberculosis mycobacteria among the orenburg region population. *Orenburg Medical Bulletin*. 2022; 1 (37): 55–57. (In Russian)
8. Ueyama M., Asakura T., Morimoto K. et al. Pneumothorax associated with nontuberculous mycobacteria: A retrospective study of 69 patients. *Medicine*. 2016; 95 (29): e4246. doi:10.1097/MD.0000000000004246
9. Safianowska A., Walkiewicz R., Nejman-Gryz P. et al. Diagnostic utility of the molecular assay GenoType MTBC (HAIN Lifesciences, Germany) for identification of tuberculous mycobacteria. *Pneumonologia i Alergologia Polska*. 2009; 77 (6): 517–520.
10. Clinical recommendations. Mycobacteriosis of the respiratory system. 2022. https://spulmo.ru/upload/kr/Microbakterioz_2022.pdf (In Russian)
11. Amansakhedov R.B, Dmitrieva L.I., Smirnova T.G. et al. Radiological semiotics of different types of nontuberculous pulmonary mycobacterioses. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2022; 103 (1–3): 30–37 <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-1-3-30-37> (In Russian)
12. Smolnikova U.A., Gavrilov P.V., Ushkov A.D. et al. Difficulties in diagnostics of a focal form of non-tuberculous mycobacteriosis. *REJR*. 2021; 11 (4): 158–163. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-4-158-163> (In Russian)
13. Shmelev E.I., Zaitseva A.S., Makaryants N.N. et al. Patients with non-tuberculous mycobacteriosis in clinical practice. *Pulmonologiya*. 2022; 32 (1): 95–102. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2022-32-1-95-102> (In Russian)
14. Bonnet M., San K.C., Pho Y. et al. Nontuberculous Mycobacteria Infections at a Provincial Reference Hospital, Cambodia. *Emerging infectious diseases*. 2017; 23 (7): 1139–1147. <https://doi.org/10.3201/eid2307.170060>
15. Bakula Z., Kościuch J., Safianowska A. et al. Clinical, radiological and molecular features of Mycobacterium kansasii pulmonary disease. *Respir. Med.* 2018; 139: 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2018.05.007>
16. Brode S.K, Daley C.L., Marras T.K. The epidemiologic relationship between tuberculosis and non-tuberculous mycobacterial disease: a systematic review. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.* 2014; 18 (11): 1370–1377. <https://doi.org/10.5588/ijtld.14.0120>
17. Sargsyan A.P., Makaryants N.N., Lepеха Л.Н., Chernousova L.N. Clinical and radiological manifestations of mycobacteriosis in patients with chronic lung diseases. *Doctor.Ru*. 2021; 20 (7): 66–72. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2021-20-7-66-72> (In Russian)
18. Musaddaq B., Cleverley J.R. Diagnosis of non-tuberculous mycobacterial pulmonary disease (NTM-PD): Modern challenges. *Br. J. Radiol.* 2020; 93, 1106 20190768. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190768>
19. Nqwata L., Ouédraogo A.R. Non-tuberculous mycobacteria pulmonary disease: A review of trends, risk factors, diagnosis and management. *Afr. J. Thorac. Crit. Care Med.* 2022; 28 (2). <https://doi.org/10.7196/AJTCCM.2022.v28i2.157>
20. De Marca P.G.C., Goldenberg T., Mello F.C.Q. et al. Pulmonary Densitovolumetry Using Computed Tomography

References

1. Makarova M.V., Guntupova L.D. No ntuberculous Mycobacteria. *BIOpreparations. Prevention, Diagnosis, Treatment*. 2020; 20 (2): 97–102. <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2020-20-2-97-102> (In Russian)
2. Timpe A., Runyon E.H.. The relationship of atypical acid-fast bacteria to human disease; a preliminary report. *J. Lab. Clin. Med.* 1954; 44 (2): 202–209. PMID: 13184228
3. Amansakhedov R.B., Lepеkha L.N., Dmitrieva L.I. et al. X-ray morphological semiotics of non-tuberculous mycobacterial pulmonary disease. *J. Radiol. Nucl. Med.* 2018; 99 (4): 184–190. <https://doi.org/10.20862/00424676-2018-99-4-184-190> (In Russian)
4. Eliseev P.I., Maryandyshv A.O., Tarasova I.V. et al. Diagnostics and treatment of pulmonary mycobacteriosis in the patients with suspected pulmonary tuberculosis. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2018; 96 (7): 61–62. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-7-61-62> (In Russian)
5. Petrova L.V., Melnikova E.I., Soloviev Yu.A. et al. Detection of non-tuberculous mycobacteria in Mari El Republic. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2018; 96 (2): 41–46.



- in Patients with Nontuberculous Mycobacteria: Correlation with Pulmonary Function Tests. *Pulm. Med.* 2019; 2019: 5942783. <https://doi.org/10.1155/2019/5942783>
21. Gavrilov P.V., Archakova L.I., Anisimova A.I., Kolesnichenko O.M. Radiation semiotics of mycobacteriosis of the lungs caused by *Mycobacterium avium* in immunocompetent patients. *Medical Alliance.* 2019; 1: 31–37. (In Russian)
 22. Szturmowicz M., Oniszh K., Wrostkiewicz D. et al. Non-Tuberculous Mycobacteria in Respiratory Specimens of Patients with Obstructive Lung Diseases-Colonization or Disease? *Antibiotics (Basel).* 2020; 9 (7): 424. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9070424>
 23. Sharma S.K. Diagnosis & treatment of non-tuberculous mycobacterial diseases. *Indian J. Med. Res.* 2020; 152 (3): 185–226. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_902_20
 24. Yoon H.J., Choi H.Y. Nontuberculosis mycobacterial infections at a specialized tuberculosis treatment centre in the Republic of Korea. *BMC Infect. Dis.* 2017; 17 (1). 432.
 25. Guntupova L.D., Borisov S.E., Makarova M.V., Hachaturyants E.N. Mycobacteriosis of the respiratory system: epidemiology, microbiology and clinical aspects of diagnosis. *Epidemiology and Infectious Diseases.* 2012; 17 (2): 8–14. <https://doi.org/10.17816/EID40627> (In Russian)
 26. Lepecha L.N., Krasnikova E.V. Tissue and cellular reactions of the lungs caused by various strains of slow-growing non-tuberculosis mycobacteria. *Bulletin of "TSNIIT".* 2020; 4: 27–34. <https://doi.org/10.7868/S2587667820040032> (In Russian)
 27. Guntupova L.D., Borisov S.E., Solovyova I.P., et al. Mycobacterioses in phthisiopulmonological practice: literature review and own experience. *Practical Medicine.* 2011; 3–1 (50): 39–50. (In Russian)
 28. Savchenko M. A. Clinical and epidemiological aspects of mycobacteriosis in patients with HIV infection. *HIV Infection and Immunosuppression.* 2019; 11 (2): 27–33. <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2019-11-2-27-33> (In Russian)
 29. Mishina A.V., Mishin V.Yu., Sobkin A.L. Tuberculosis and mycobacteriosis of the lungs in patients with late stages of HIV infection. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2019; 97 (12): 58–59. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-12-58-59> (In Russian)
 30. Clinical recommendations "Tuberculosis in adults". 2022–2023. <https://edu.nmrc.ru/wp-content/uploads/2023/07/%D0%9A%D0%A016.pdf>

Для корреспонденции*: Хомутова Елена Юрьевна – тел.: +7-3812-24-21-07. E-mail: elenahomutova68@gmail.com

Хомутова Елена Юрьевна – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО "Омский государственный медицинский университет" Минздрава России, Омск. <http://doi.org/0000-0001-9508-2202>

Порох Вера Игоревна – аспирант кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО "Омский государственный медицинский университет" Минздрава России, Омск. <http://doi.org/0000-0002-7487-171X>

Новиков Павел Вячеславович – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО "Омский государственный медицинский университет" Минздрава России, Омск. <http://doi.org/0000-0001-9264-8071>

Уралбаев Алишер Амангельдыевич – ординатор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО "Омский государственный медицинский университет" Минздрава России, Омск. <http://doi.org/0000-0002-2337-1512>

Contact*: Elena Yu. Khomutova – phone: +7-3812-24-21-07. E-mail: elenahomutova68@gmail.com

Elena Yu. Khomutova – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics, Omsk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Omsk. <http://doi.org/0000-0001-9508-2202>

Vera I. Porokh – Postgraduate Student, Department of Radiation Diagnostics, Omsk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Omsk. <http://doi.org/0000-0002-7487-171X>

Pavel V. Novikov – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics, Omsk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Omsk. <http://doi.org/0000-0001-9264-8071>

Alisher A. Uralbayev – Resident doctor of the Department of Radiation Diagnostics, Omsk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Omsk. <http://doi.org/0000-0002-2337-1512>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1323>

Лучевая диагностика в определении признаков возможного кровотечения из варикозно расширенных вен желудка (обзор литературы)

© Ягубова К.В., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А.*

ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Введение. Варикозное расширение вен желудка одна из частых причин желудочно-кишечных кровотечений у пациентов с портальной гипертензией. Кровотечение данной локализации имеет больший процент летального исхода и сложности в достижении гемостаза, чем кровотечение из варикозно расширенных вен пищевода. В данной статье рассмотрены этиология и основные аспекты патофизиологии портальной гипертензии, механизмы развития кровотечений, которые играют важную роль в профилактике осложнений. Достаточно подробно представлены венозный отток от желудка, варианты портосистемных коллатеральных анастомозов и типы варикозного расширения вен собственно желудка. Продемонстрированы преимущества и недостатки лучевых методов диагностики в оценке варикозно расширенных вен желудка и возможного прогнозирования риска кровотечения.

Цель исследования: проанализировать данные зарубежной и отечественной литературы о варикозно расширенных венах желудка, выявить критерии, определяющие риски кровотечения по данным методов лучевой диагностики.

Результаты. Анализ зарубежной и отечественной литературы показал, что проблема диагностики и лечения варикозно расширенных вен желудка крайне актуальна и требует специального рассмотрения всевозможных ее аспектов. Существует множество методов диагностики с определенными преимуществами и недостатками. Но, на наш взгляд, возможности неинвазивных методов, особенно компьютерной томографии, в диагностике варикозно расширенных вен желудка и прогноза развития кровотечения из них недооценены и требуют дальнейшего изучения.

Ключевые слова: портальная гипертензия, варикозное расширение вен желудка, желудочно-кишечное кровотечение, лучевая диагностика

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Ягубова К.В., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А. Лучевая диагностика в определении признаков возможного кровотечения из варикозно расширенных вен желудка (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 110–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1323>

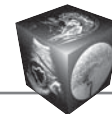
Поступила в редакцию: 19.01.2023. **Принята к печати:** 04.05.2023. **Опубликована online:** 30.09.2023.

Diagnostic imaging in determining the signs of possible bleeding from gastric varicose veins (literature review)

© Kira V. Yagubova, Andrey L. Yudin, Natalya I. Afanas`eva, Elena A. Yumatova*

Pirogov Russian National Research Medical University; house 1, Ostrivtyanova str., Moscow 117997, Russian Federation

Annotation. Gastric varicose veins are one of the common causes of gastrointestinal bleeding in patients with portal hypertension. Bleeding of this localization has a greater percentage of death and difficulty in achieving hemostasis than bleeding from esophageal varices. This paper discusses the etiology and main aspects of the pathophysiology of portal hypertension, the mechanisms of bleeding, which play an important role in the prevention of



complications prevention. The venous outflow from the stomach, variants of porto-systemic collateral anastomoses and types of varicose veins of the stomach itself are presented in sufficient detail. The advantages and disadvantages of diagnostic imaging in the assessment of gastric varicose veins and the possible prediction of the risk of bleeding are demonstrated.

Aim: to analyze the data of foreign and domestic literature on varicose veins of the stomach, to identify criteria that determine the risks of bleeding according to the methods of diagnostic imaging.

Results. Analysis of foreign and domestic literature showed that the problem of diagnosing gastric varicose veins is extremely relevant and requires special consideration of all its various aspects. There are many diagnostic methods with certain advantages and disadvantages. But, in our opinion, the possibilities of non-invasive methods, especially computed tomography, in the diagnosis of varicose veins of the stomach and the prognosis of bleeding from them are underestimated and require further study.

Keywords: portal hypertension, gastric varicose veins, gastrointestinal bleeding, diagnostic imaging

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

For citation: Yagubova K.V., Yudin A.L., Afanas`eva N.I., Yumayova E.A. Diagnostic imaging in determining the signs of possible bleeding from gastric varicose veins (literature review). *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 110–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1323>

Received: 19.01.2023.

Accepted for publication: 04.05.2023.

Published online: 30.09.2023.

Введение

Варикозно расширенные вены (ВРВ) желудка – это патологическое изменение вен желудка, характеризующееся неравномерным увеличением их просвета с выпячиванием стенки, развитием узло-ватоподобной извитости сосудов. Они представляют собой портосистемные коллатерали, связывающие портальное и системное венозное кровообращение, могут осложняться массивным кровотечением без предшествующих клинических симптомов. ВРВ являются осложнением портальной гипертензии различного генеза. Портальная гипертензия – это клинический симптомокомплекс, который гемодинамически проявляется патологическим повышением портального градиента давления, что сопровождается формированием портосистемных коллатералей, через которые происходит сброс крови из портальной вены в обход печени [1, 2].

По данным Американской ассоциации, изучающей заболевания печени (AASLD), кровотечение из вен пищевода происходит чаще, чем из вен желудка, 64 и 25% соответственно [3], но для последнего характерны высокий риск повторяющихся кровотечений и низкая выживаемость. Кровотечения из ВРВ желудка клинически протекают тяжелее, и смертность при них составляет более 45% [4]. Согласно данным авторов работы [5], это осложнение сопровождается смертностью в 20–30% случаев, а у 70% выживших повторяется. Особенно высокие цифры отмечены при кровотечениях из ВРВ дна желудка (25–55%). Согласно данному исследованию, кровотечение из ВРВ желудка отягощает течение хронического заболевания печени примерно у 30% пациентов.

Возникновение и развитие ВРВ желудка зависит от особенностей портальной гипертензии,

на фоне которой возникает это осложнение. В соответствии с анатомическим расположением препятствия кровотоку различают под-, внутри- и надпеченочную портальную гипертензию. Подпеченочную портальную гипертензию определяют патологические процессы, связанные с селезеночной, брыжеечной или воротной венами, внутрипеченочную – заболевания печени, а надпеченочную – заболевания, приводящие к нарушению венозного оттока от печени [6]. Внутрипеченочная (печеночная) портальная гипертензия подразделяется на 3 группы: пресинусоидальную, синусоидальную и постсинусоидальную [1].

По данным статистики в развитых странах цирроз печени обуславливает около 90% случаев портальной гипертензии. Нецирротическая портальная гипертензия составляет от 10 до 20% всех случаев [7]. Самой частой причиной подпеченочной портальной гипертензии является тромбоз воротной вены.

Анатомия венозного оттока крови из желудка

Венозный отток из желудка осуществляется непосредственно в воротную вену и в меньшем объеме в вены, формирующие воротную вену. Вены желудка сопровождают артерии и имеют аналогичные названия [8].

Левая желудочная вена, *v. gastrica sinistra*, собирает кровь от кардиальной части желудка и верхней трети малой кривизны, впадает непосредственно в воротную вену. Правая желудочная вена, *v. gastrica dextra*, собирает кровь от пилорического отдела, привратника, начального отдела двенадцатиперстной кишки, впадает в воротную вену. Левая желудочно-сальниковая вена, *v. gastro-*

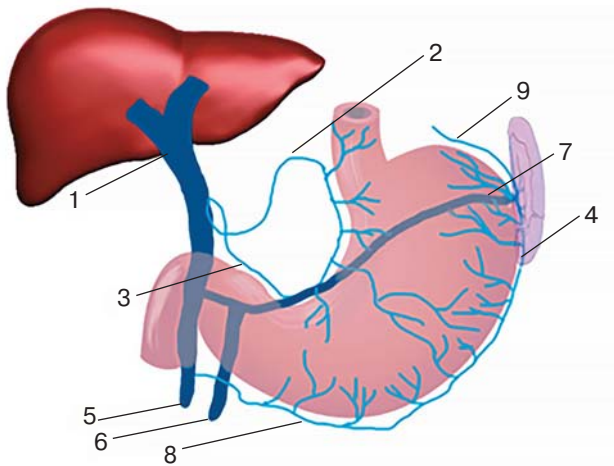


Рис. 1. Венозный отток из желудка. 1 – воротная вена; 2 – левая желудочная вена; 3 – правая желудочная вена; 4 – левая желудочно-сальниковая вена; 5 – верхняя брыжеечная вена; 6 – нижняя брыжеечная вена; 7 – селезеночная вена; 8 – правая желудочно-сальниковая вена; 9 – короткие вены желудка.

Fig. 1. Venous outflow from the stomach. 1 – portal vein; 2 – left gastric vein; 3 – right gastric vein; 4 – left gastro-omental vein; 5 – superior mesenteric vein; 6 – inferior mesenteric vein; 7 – splenic vein; 8 – right gastro-omental vein; 9 – short stomach veins.

epiploica sinistra, собирает кровь от передней и задней стенок нижней половины тела желудка по большой кривизне, впадает в селезеночную вену. Правая желудочно-сальниковая вена, *v. gastroepiploica dextra*, собирает кровь от нижней половины тела желудка, прилегающей к большой кривизне, дистальной части привратника и луковицы двенадцатиперстной кишки, впадает в верхнюю брыжеечную вену, вблизи формирования *v. portae*. Короткие желудочные вены, *vv. gastricae breves*, собирают кровь от дна желудка и проксимальной части его тела по большой кривизне, впадают в селезеночную вену (рис. 1).

Портосистемные коллатеральные анастомозы и варикозы вен желудка

Портосистемные коллатеральные сосуды возникают в ответ на повышение портального давления и образуются в результате открытия ранее существовавших сосудов или путем ангиогенеза. Развитие и степень выраженности ВРВ связаны с активностью сообщения воротной вены и системного кровотока [9]:

- Анастомоз левой желудочной вены через ветви пищеводной вены с системой верхней полую

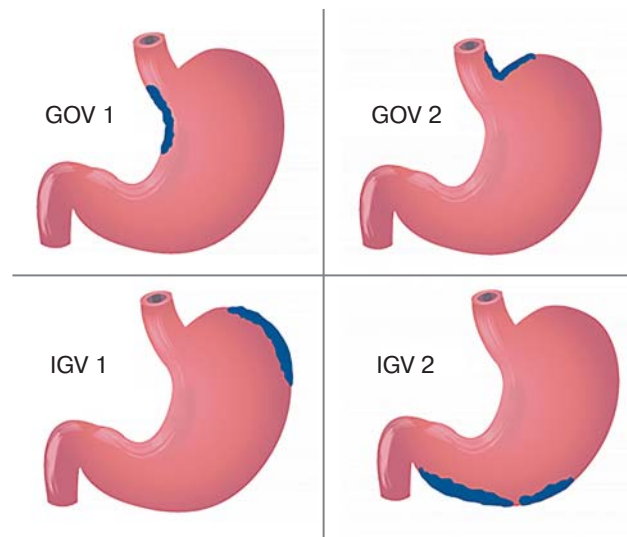


Рис. 2. Классификация варикозно расширенных вен желудка по S.K. Sarin и соавт. [10]. GOV1 – гастроэзофагеальный варикоз, тип 1, GOV2 – гастроэзофагеальный варикоз, тип 2, IGV1 – изолированный варикоз желудка, тип 1, IGV2 – изолированный варикоз желудка, тип 2.

Fig. 2. Classification of varicose veins of the stomach according to S.K. Sarin et al. [10]. GOV1 – gastroesophageal varices, type 1, GOV2 – gastroesophageal varices, type 2, IGV1 – isolated gastric varices, type 1, IGV2 – isolated gastric varices, type 2.

вены. Сообщение происходит путем оттока по непарной и полунепарной венам.

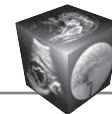
- Анастомоз воротной вены через окологепатические вены с системой верхней или нижней полых вен через верхнюю и нижнюю эпигастральные вены.

- Анастомоз левой желудочной вены с системой нижней полую вены через диафрагмальную вену и ветви нижних пищеводных вен.

- Анастомоз коротких вен желудка с венами левой почки, которые следуют в нижнюю полую вену.

Общепринята классификация, предложенная S.K. Sarin и соавт., которая различается в зависимости от локализации (рис. 2). В классификации выделяется гастроэзофагеальный варикоз (GOV) и изолированный варикоз желудка (IGV). Каждый из этих вариантов, в свою очередь, подразделяется на два типа [10].

1. Гастроэзофагеальный варикоз, тип 1 (GOV1): ВРВ располагаются в брюшном отделе пищевода и по малой кривизне желудка. Зона ВРВ расположена по малой кривизне желудка, примыкает к области кардии и распространяется на брюшной отдел пищевода. Это наиболее частый вариант, который встречается в 75% случаев.



2. Гастроэзофагеальный варикоз, тип 2 (GOV2): ВРВ располагаются в брюшном отделе пищевода и по большой кривизне желудка до его дна.

3. Изолированный варикоз желудка, тип 1 (IGV1) – ВРВ дна желудка. В большинстве случаев является осложнением тромбоза селезеночной вены. Селезеночная вена располагается рядом с поджелудочной железой, при увеличении которой (панкреатит, рак) возможно развитие тромбоза. Данный тип имеет самый высокий риск кровотечения.

4. Изолированный варикоз желудка, тип 2 (IGV2) – ВРВ располагаются в области привратника или антрального отдела, возможно локализируются в теле желудка по большой кривизне. Данный тип также носит название эктопический варикоз. Изолированный варикоз 2, как правило, развивается после лечения ВРВ пищевода, реже – при тромбозе воротной вены.

В зависимости от размера вены также классифицируют как мелкие (<5 мм), средние (5–10 мм) и крупные (>10 мм) [11].

Механизм кровотечения

Повышение давления в воротной вене вызывает увеличение кровотока через варикозные вены пищевода и желудка, что приводит к повышению в них давления. Согласно исследованию [12], у пациентов с градиентом портокавального давления меньше 12 мм рт.ст. кровотечение из ВРВ не развивается. Если градиент давления превышает 20 мм рт.ст., риск кровотечения и летального исхода велик.

Повышенный кровоток через портосистемные коллатерали приводит к повышению внутрисосудистого давления, растяжению и истончению их стенок. Согласно аналогии закона Ома, механизм разрыва ВРВ некоторые авторы [13] представляют так:

$$T = \frac{P \times R}{WT},$$

где T – натяжение стенки, P – трансмуральное давление, R – радиус варикозного расширения вен и WT – толщина варикозной стенки.

Формула включает три важнейших показателя, каждый из которых может быть ведущим в развитии кровотечения. Однако значение давления, радиуса варикозного расширения и толщины стенки вены различно в зависимости от конкретной анатомической зоны (толщина и особенности подслизистого слоя, венозной стенки, свойства соединительной ткани). Глубже расположенные венозные сосуды, имеющие большую толщину стенки и небольшой диаметр, менее опасны как

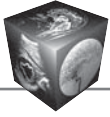
источник кровотечения при одном и том же давлении в портальной системе [13].

Диагностика наличия варикозно расширенных вен желудка и определение факторов риска кровотечения

Эндоскопический метод является “золотым стандартом” как в диагностике ВРВ пищевода и желудка, так и в выборе лечебной тактики. Преимущество эндоскопического исследования в том, что оно, во-первых, позволяет определить наличие и локализацию варикозных вен, оценить степень их расширения, состояние стенки вены, слизистой оболочки пищевода и желудка, выявить другие патологические состояния и оценить факторы риска кровотечения, а во-вторых, дает возможность сочетания диагностического и лечебного этапов при остром кровотечении [14]. Правила описания и оценки результатов эндоскопического исследования пищевода и желудка, разработанные Japanese Research Society for Portal Hypertension (JRSPH) [15], используются во всем мире. Эти правила содержат 6 основных критериев:

- 1) локализация – распространение и локализация относительно кардии;
- 2) форма – вид и размер;
- 3) цвет – этой категорией отражается толщина стенки ВРВ;
- 4) красные маркеры стенки – среди них выделяют: пятна “красной вишни”, что говорит о значительном расширении вен, гематоцистные пятна – “слабые” участки и место возможного кровотечения, телеангиэктазии;
- 5) наличие кровотечения, его интенсивность (струйное или в виде просачивания), факт состоявшегося ранее кровотечения и характер тромба;
- 6) изменения слизистой – могут быть как проявлением рефлюксной болезни, так и следствием лечебного эндоскопического воздействия: эрозия, язва и рубец.

К недостаткам эндоскопического метода некоторые авторы относят высокую стоимость, инвазивность, необходимость в седации, а также вероятность получения неудовлетворительных результатов [16]. Чтобы уменьшить количество ненужных скрининговых эзофагогастродуоденоскопий, консенсус Baveno VI рекомендует не проводить скрининг у пациентов с компенсированным циррозом печени, у которых жесткость печени по данным ультразвуковой транзиентной эластографии составляет менее 20 кПа и количество тромбоцитов более $150 \cdot 10^9/\text{л}$ [17]. Установлено, что такой подход позволяет избежать примерно 25%



ненужных эндоскопий, но пропускает до 2% варикозных узлов, требующих лечения. При хороших чувствительности (87%) и отрицательной прогностической ценности (98%) ему не хватает специфичности (34%) [18]. Консенсус Baveno VI стимулирует развитие неинвазивных исследований для выявления пациентов с риском декомпенсации печени и появления кровотечения, в том числе из ВРВ желудка.

Ультразвуковое исследование в В-режиме позволяет оценить состояние печени, ее размер, структуру и форму, выявить диффузные и очаговые изменения, визуализировать поджелудочную железу и селезенку, обнаружить патологические процессы собственно этих органов и изменения вторичного характера, а также наличие жидкости в брюшной полости. Метод дает возможность получить изображение воротной вены и ее ветвей, левой и правой печеночных вен, измерить их диаметр и определить наличие в просвете тромботических масс. Данный метод полезен для диагностики факта портальной гипертензии, но не позволяет оценить степень тяжести состояния [19]. Цветовое доплеровское картирование определяет направление и скорость кровотока в портальных сосудах. С помощью этого метода можно оценить направление кровотока в селезеночной, параумбиликальной и левой желудочной венах. При функционирующих портокавальных анастомозах определяется гепатофугальный кровоток [19, 20]. Ультразвуковое исследование имеет неоспоримые достоинства, так как является неинвазивным, недорогим и достаточно распространенным методом, не использует ионизирующего излучения. Важным недостатком является большая операторозависимость исследования, имеются ограничения визуализации не только сосудов, но и органов брюшной полости у пациентов с пикническим типом телосложения, избыточным развитием подкожно-жировой клетчатки. Особые затруднения возникают при большом скоплении свободной жидкости в брюшной полости. Кроме того, стандартный протокол ультразвукового исследования не предусматривает оценку состояния вен желудка [21].

В последнее время показано, что эндоскопическое ультразвуковое исследование (ЭУЗИ) может быть полезным для оценки портальной гипертензии. С помощью ЭУЗИ могут быть визуализированы параэзофагеальный варикоз и левая желудочная вена, возможно не только определение размеров варикозного расширения вен, но, видимо, и предсказание рецидива варикозного расширения вен после лигирования или склеротерапии [19]. С помощью ЭУЗИ улучшается визуа-

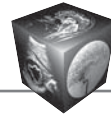
лизация ВРВ желудка, коллатеральных и перфорирующих вен, но в настоящее время этот метод не рассматривается в качестве основного из-за ограниченной доступности [22].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет оценить анатомический ход сосудов, визуализировать различные изменения в структуре паренхимы печени, которые могут быть косвенными признаками портальной гипертензии. МРТ с применением контрастных препаратов увеличивает возможность дифференциальной диагностики заболеваний печени. К очевидным достоинствам метода, особенно актуальным в хирургической гепатологии, следует отнести хорошую визуализацию сосудов, в том числе систему воротной и нижней полой вен. Обнаружена значительная положительная корреляция ($p < 0,05$) в определении ВРВ между оценками, определенными с помощью МРТ-визуализации, и показателями эндоскопии [23]. Но сложность соединений сосудов через тонкие стенки органа затрудняет различие ВРВ с высоким риском разрыва от вен с низким риском разрыва. Также сообщается о получении большого процента ложноположительных результатов о наличии ВРВ при исследовании с контрастным усилением. Авторы объясняют полученные результаты сложностью этой анатомической области и считают, что проведение МРТ/МРА не устраняет необходимости в эндоскопическом исследовании для оценки тяжести ВРВ. Исследования, касающиеся оценки IGV1 и IGV2, в доступной нам литературе не найдены.

Радионуклидное исследование позволяет определить наличие портальной гипертензии, но не дает возможности визуализировать вены желудка [24]. В настоящее время методы радионуклидной диагностики сохранили свое значение для оценки функционального состояния печени.

А.Н. Blakemore и J.W. Lord в 1945 г. впервые контрастировали портальную систему через левую желудочную вену. Затем появилась методика чрескожной спленопортографии, которая на протяжении многих лет оставалась одной из немногочисленных диагностических методик оценки портального кровотока и многократно совершенствовалась. Чрескожная чреспеченочная портография выгодно отличается от предшествующих методик контрастностью изображения, визуализацией потоков воротной вены, а самое главное, дает возможность выполнения лечебной процедуры – эмболизации варикозных вен желудка и пищевода. Техническая сложность вмешательства приводила к частым осложнениям (кровотечениям) [25].

В 1975 г. арсенал ангиографических методов исследования пополнился трансюгулярной порто-

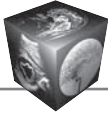


графией, которая сохранила свою актуальность до настоящего времени при установке стентов. Это исследование позволяет определить градиент печеночного венозного давления между портальной веной и нижней поллой веной. Этот метод признан стандартным для измерения портального давления. Исследование позволяет визуализировать все сосуды портальной системы, включая коллатеральный кровоток и вены желудка. Метод является инвазивным, требует специальных условий проведения и связан с большой лучевой нагрузкой. В настоящее время ангиографические исследования используются при рентгенэндоваскулярном лечении ВРВ [26].

Компьютерная томография (КТ) широко применяется в обследовании пациентов с патологическими изменениями органов брюшной полости, в частности печени, и в том числе по экстренным показаниям. Первая работа по выявлению кровотечения из ВРВ желудка с помощью КТ была опубликована еще в 1983 г. [27]. Авторы работы [28] считают, что МСКТ является не только наиболее рентабельной методикой для оценки состояния пациентов в учреждениях по оказанию экстренной медицинской помощи, но и наиболее предпочтительной для самих пациентов. Результаты КТ-исследования могут быть многократно просмотрены и оценены разными специалистами для обеспечения объективности. Чувствительность КТ при выявлении ВРВ желудка составляет 87%, можно обнаружить ВРВ, не выявляемые с помощью эндоскопии, достаточно хорошо визуализируются портосистемные коллатерали, расположенные вокруг селезенки и забрюшинно, а также перивисцеральные и параэзофагеальные ВРВ [29, 30]. Авторы исследования [31] пришли к аналогичному выводу: специфичность КТ в выявлении ВРВ пищевода и желудка составляет 83 и 90% соответственно. Результаты КТ могут явиться показанием к первичной профилактической терапии кровотечения из ВРВ без дальнейшей эндоскопической оценки. Исследования [32, 33] показывают, что с помощью КТ можно не только выявлять ВРВ желудка, но и дифференцировать подслизистые и перигастральные варикозные сосуды, что представляет первостепенный клинический интерес. В исследовании [32] продемонстрировано, что КТ эквивалентна ЭУЗИ в обнаружении и характеристике ВРВ и, вероятно, может стать альтернативной ЭУЗИ. Следует отметить, что стандартный протокол КТ-исследования не предусматривает оценку вен желудка. Кроме мультифазного сканирования с болюсным контрастным усилением, следует выполнять растяжение желудка с помощью воды – методика “гидро-КТ” [32, 33]. Также с помощью

мультифазной КТ можно оценить собственно вены портальной системы, их проходимость, выявить обтурацию тромбом.

Существует множество методов функциональной оценки печени с возможностью оценки осложнений, в том числе варикозным расширением вен. Печень можно считать двухкомпонентной системой, состоящей из “твердой” ткани и наполненного жидкостью сосудистого дерева. Объем печени состоит из 25–30% крови, а остальное составляет ткань печени. Следовательно, взаимодействия, происходящие между двумя типами тканевых фаз, вызывают механическую реакцию, которую можно измерить и количественно оценить с помощью методов эластографии, посредством которой ткань механически возбуждается статическим сжатием, сфокусированным акустическим излучением или мягкими вибрациями в низкочастотном диапазоне [34]. В соответствии с этим развитие методов эластографии дало четыре основных подхода: статическая, динамическая, транзиентная (скоротечная) и дистанционная эластография. Использование статической эластографии ограничено при исследовании таких органов, которые не могут подвергаться контролируемой компрессии *in vivo* (например, печень). Среди динамических методов можно выделить соноэластографию, однако результаты могут быть искажены эффектами дифракции и смещениями печени во время сбора данных, которое длится около 90 с. Также предложена дистанционная эластография для визуализации эластичности тканей путем дистанционной индукции низкочастотных колебаний в тканях с помощью силы акустического излучения. Измерения осуществляются с помощью комбинации силы акустического излучения и сверхбыстрой ультразвуковой визуализации [35]. Транзиентная эластография (ТЭ) представляет собой метод, основанный на ультразвуковом излучении, который оценивает “жесткость” печени как маркер фиброза: более быстрое распространение волны происходит через более жесткий материал. Опубликованные метаанализы доказали, что ТЭ является надежным методом диагностики цирроза печени. ТЭ столь же эффективна, как и градиент печеночного венозного давления, в качестве предиктора клинической декомпенсации и осложнений, связанных с портальной гипертензией, у пациентов с хроническим заболеванием печени [36]. Что касается значения ТЭ для прогнозирования осложнений цирроза печени, то опубликованные данные противоречивы [37]. А в обзоре [38] авторы приходят к выводу, что диагностические характеристики ТЭ приемлемы для прогнозирования клинически значимой порталь-



ной гипертензии, но далеко не удовлетворительны для уверенного прогнозирования наличия варикоза в клинической практике и для скрининга пациентов с циррозом печени без эндоскопии. При пороговом значении ТЭ от 13,9 до 21,5 кПа чувствительность для прогнозирования варикоза была высокой (76–95%), но специфичность была намного ниже (43–78%). Пороговые значения для прогнозирования наличия большого варикоза были выше в диапазоне 19–48 кПа, чувствительность также была высокой (77–100%) при гораздо более низкой специфичности (32–85%) [38].

Импульсная визуализация силы акустического излучения (ARFI) – это новая технология ультразвукового исследования, которая предоставляет информацию об эластичности ткани в режиме реального времени. Ткань в области интереса возбуждается коротким ультразвуковым импульсом фиксированной частоты для локального смещения ткани. Результирующая поперечная волна распространяется латерально со скоростью, пропорциональной квадратному корню от показателя эластичности ткани, и обнаруживается методами корреляции на основе ультразвука. ARFI легко выполняется с хорошей воспроизводимостью. Показано, что этот метод имеет хорошую диагностическую точность для определения стадии фиброза. Недостатком является небольшая заранее определенная область измерения, а валидация метода пока не такая обширная, как для ТЭ [39]. Авторы работы [40] показали, что измерение скорости сдвиговых волн может быть дополнительным инструментом для неинвазивного прогнозирования и мониторинга портальной гипертензии. Однако существенные различия получены в показателях при прогнозировании ВРВ.

Мягкие вибрации в низкочастотном диапазоне сканируются с помощью магнитно-резонансной эластографии (МРЭ). Фактически МРЭ является довольно точным методом эластографии, используемым в настоящее время для определения степени фиброза печени [41]. Параметры вязкоупругости печени и селезенки, оцененные с помощью трехмерной многочастотной МРЭ, коррелируют с градиентом печеночного венозного давления у пациентов с циррозом, а модуль вязкости селезенки является лучшим параметром для диагностики тяжелой портальной гипертензии и высокого риска ВРВ пищевода [42]. В исследовании [43] авторы отмечают положительную линейную корреляцию между жесткостью печени (HS), жесткостью селезенки (SS) и длиной селезенки и степенью варикозного расширения вен пищевода

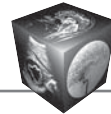
($r = 0,46$, $r = 0,48$ и $r = 0,36$ соответственно; все $p < 0,0001$). Значения HS и SS ($> 4,81$ кПа и $> 7,60$ кПа соответственно) показали лучшие показатели, чем длина селезенки, в связи с варикозным расширением вен пищевода ($p = 0,0306$ и $p = 0,0064$ соответственно). Однако этот метод требует длительного времени сбора данных, что приводит к затруднениям при исследовании органов, движущихся во время дыхания, таких как печень. Кроме того, стоимость МРТ-обследования довольно высока.

И “жесткость” печени, и скорость поперечной волны отражают прогрессирующее повышение портального давления из-за морфологических изменений в органе, но с их помощью нельзя измерить сложные гемодинамические изменения поздней портальной гипертензии. Возможность прогнозирования степени ВРВ в случаях тяжелой портальной гипертензии сомнительна, о чем свидетельствует эффект плато, при котором прогрессирующее увеличение жесткости печени не отражается на развитии поздних осложнений портальной гипертензии [44].

В настоящее время разрабатывается множество новых неинвазивных методов диагностики портальной гипертензии, цирроза печени и ВРВ – от определения биомаркеров при анализах крови [45] до капсульной эндоскопии [46]. Несмотря на хорошие результаты у отдельных исследователей, такие методы пока не получили широкого распространения из-за отсутствия достоверности и достаточных доказательств эффективности.

Заключение

Современные неинвазивные методики при портальной гипертензии не заменяют измерения печеночного венозного градиента давления. При оценке ответа на лечение портальной гипертензии и прогноза острого варикозного кровотечения эта проблема остается областью инвазивных процедур. При разработке будущих исследований следует учитывать недостатки существующего “золотого стандарта” – эндоскопического исследования. Тем не менее в клинической практике неинвазивные методы диагностики обладают высокой прогностической ценностью в выявлении ВРВ желудка и прогнозировании вероятности кровотечения из них. Перспективные методы исследования должны помочь в разделении пациентов на категории риска и определении необходимости дальнейшей оценки состояния пациентов с измерением печеночного венозного градиента давления и проведением эндоскопии верхних отделов желудочно-кишечного тракта.



Участие авторов

Ягубова К.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Юдин А.Л. – концепция и дизайн исследования, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Афанасьева Н.И. – анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста.

Юматова Е.А. – подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Yagubova K.V. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

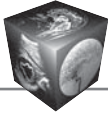
Yudin A.L. – concept and design of the study, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Afanas'eva N.I. – analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing.

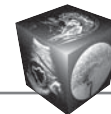
Yumatova E.A. – text preparation and editing, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

- Ivashkin V.T., Maevskaya M.V., Zharkova M.S., Zhigalova S.B., Kicenko E.A., Manukyan G.V., Truxmanov A.S., Maev I.V., Tikhonov I.N., Deeva T.A. Клинические рекомендации Российского общества по изучению печени и Российской гастроэнтерологической ассоциации по диагностике и лечению фиброза и цирроза печени и их осложнений. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2021; 31 (6): 56–102. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2021-31-6-56-102>
- Ivashkin V.T., Maevskaya M.V., Zharkova M.S. et al. Clinical Recommendations of the Russian Scientific Liver Society and Russian Gastroenterological Association on Diagnosis and Treatment of Liver Fibrosis, Cirrhosis and Their Complications. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2021; 31 (6): 56–102. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2021-31-6-56-102> (In Russian)
- Kliaritskaya I.L., Moshko Y.A., Volkov A.V., Maximova E.B., Shelikova E.O., Rabotyagova Y.S., Semeniukhina E.V. Современные методы диагностики и лечения варикозных вен пищевода и желудка. *Крымский терапевтический журнал*. 2020; 1: 5–16. Kliaritskaia I.L., Moshko Y.A., Volkov A.V. et al. Modern methods for the diagnosis and management of esophagus and stomach varicose veins. *Crimian Journal of Internal Diseases*. 2020; 1: 5–16. (In Russian)
- Marek T.A. Gastrointestinal bleeding. *Endoscopy*. 2001; 33 (11): 920–929. <https://doi.org/10.1055/s-2001-17914>
- Garcia-Tsao G., Abraldes J.G., Berzigotti A., Bosch J. Portal hypertensive bleeding in cirrhosis: Risk stratification, diagnosis, and management: 2016 practice guidance by the American Association for the study of liver diseases. *Hepatology*. 2017; 65 (1): 310–335. <https://doi.org/10.1002/hep.28906>
- Christodoulou D., Tsianos E.V., Kortan P., Marcon N. Gastric and ectopic varices newer endoscopic options. *Ann. Gastroenterol.* 2007; 20 (2): 95–109. <https://doi.org/10.1155/2007/407075>
- Zhigalova S.B., Manukyan G.V., Shertsinger A.G., Fandeev E.E., Semenova T.S., Korshunov I.B., Martirosyan P.A. Прогностические критерии кровотечений из варикозно расширенных вен пищевода и желудка у больных портальной гипертензией. *Анналы хирургической гепатологии*. 2018; 23 (4): 76–85. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2018476-85>
- Zhigalova S.B., Manukyan G.V., Shertsinger A.G. et al. Prognostic criteria of variceal bleeding in patients with portal hypertension. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery*. 2018; 23 (4): 76–85. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2018476-85> (In Russian)
- Bosch J., Abraldes J.G., Berzigotti A., Garcia-Pagan J.C. Portal hypertension and gastrointestinal bleeding. *Semin. Liver Dis.* 2008; 28: 3–25. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1040318>
- Chiva L.M., Magrina J. Abdominal and Pelvic Anatomy. 2018; 3–49. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-42878-1.00002-X>
- Mihai F., Bar C., Savin M.L. et al. CT appearance of collateral pathways in portal hypertension. *ECR 2011. C-0972*. <https://dx.doi.org/10.1594/ecr2011/C-0972>
- Sarin S.K., Lahoti D., Saxena S.P. et al. Prevalence, classification and natural history of gastric varices: a long-term follow-up study in 568 portal hypertension patients. *Hepatology*. 1992; 16 (6): 1343–1349. <https://doi.org/10.1002/hep.1840160607>
- Vine L., Subhani M., Acevedo J. Update on management of gastric varices. *Wld J. Hepatol.* 2019; 11: 250–260. <https://doi.org/10.4254/wjh.v11.i3.250>
- Groszmann R.J., Bosch J., Grace N.D. et al. Hemodynamic events in a prospective randomized trial of propranolol versus placebo in the prevention of a first variceal hemorrhage. *Gastroenterology*. 1990; 99 (5): 1401–1407. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(90\)91168-6](https://doi.org/10.1016/0016-5085(90)91168-6)
- Simonetto D.A., Liu M., Kamath P.S. Portal Hypertension and Related Complications: Diagnosis and Management. *Mayo Clin. Proc.* 2019; 94 (4): 714–726. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.12.020>
- Manukyan G.V., Shertsinger A.G., Zhigalova S.B., Semenova T.S., Martirosyan P.A. Первичная профилактика кровотечений из варикозно расширенных вен пищевода и желудка у больных портальной гипертензией (обзор литературы). *Анналы хирургической гепатологии*. 2016; 21 (2): 93–104. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2016-2-93-104>
- Manukyan G.V., Shertsinger A.G., Zhigalova S.V. et al. Primary prevention of bleeding from esophageal and gastric varices in patients with portal hypertension. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery*. 2016; 21 (2): 93–104. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2016293-104> (In Russian)
- Garbuzenko D.V. Лечебная тактика при кровотечениях из варикозно расширенных вен желудка. *Анналы хирургической гепатологии*. 2007; 12 (1): 96–103.



- Garbuzenko D.V. The treatment tactics in the bleeding gastric varices. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB surgery*. 2007; 12 (1): 96–103. (In Russian)
16. Napke R.Z.A., Benner K.G., Rosen H.R., Flora K.D. Prevention of first variceal hemorrhage – a survey of community practice patterns [Abstract]. *Hepatology*. 1997; 26 (Pt 1): A30.
 17. Maurice J.B., Brodtkin E., Arnold F. et al. Validation of the Baveno VI criteria to identify low risk cirrhotic patients not requiring endoscopic surveillance for varices. *J. Hepatol*. 2016; 65 (5): 899–905. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2016.06.021>
 18. Sandrin L., Fourquet B., Hasquenoph J.M. et al. Transient elastography: a new noninvasive method for assessment of hepatic fibrosis. *Ultrasound Med. Biol*. 2003; 29: 1705–1713. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2003.07.001>
 19. Turco L., Garcia-Tsao G. Portal Hypertension: Pathogenesis and Diagnosis. *Clin. Liver Dis*. 2019; 23 (4): 573–587. <https://doi.org/10.1016/j.cld.2019.07.007>
 20. Robinson K.A., Middleton W.D., Al-Sukaiti R. et al. Doppler sonography of portal hypertension. *Ultrasound Q*. 2009; 25 (1): 3–13. <https://doi.org/10.1097/RUQ.0b013e31819c8685>
 21. Гуревич А.И., Зубарева Е.А., Богуславская М.А., Титова Е.А., Вокуева Т.И., Кочетова Е.А. Методические рекомендации. Ультразвуковые методы исследования в педиатрии (методика проведения и возрастные нормы). 2020.
Gurevich A.I., Zubareva E.A., Boguslavskaya M.A. et al. Methodological recommendations. Ultrasound research methods in pediatrics (methodology and age standards). 2020 (In Russian)
 22. Boregowda U., Umapathy C., Halim N. et al. Update on the management of gastrointestinal varices. *Wld J. Gastrointest. Pharmacol. Ther*. 2019; 10 (1): 1–21. <https://doi.org/10.4292/wjgpt.v10.i1.1>
 23. Matsuo M., Kanematsu M., Kim T. et al. Esophageal varices: diagnosis with gadolinium-enhanced MR imaging of the liver for patients with chronic liver damage. *Am. J. Roentgenol*. 2003; 180 (2): 461–466. <https://doi.org/10.2214/ajr.180.2.1800461>
 24. Мигунова Е.В., Хубутия М.Ш., Кудряшова Н.Е., Синякова О.Г., Бердников Г.А., Рей С.И., Новрузбеков М.С., Олисов О.Д. Возможности радионуклидной диагностики при диффузных заболеваниях печени и портальной гипертензии. *Трансплантология*. 2019; 11 (3): 188–200. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2019-11-3-188-200>
Migunova E.V., Khubutiya M.S., Kudryashova N.E. et al. The potential of radionuclide diagnostic imaging in diffuse liver disease and portal hypertension. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2019; 11 (3): 188–200. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2019-11-3-188-200>
 25. Blakemore A.H., Lord J.W. The technic of using vitallium tubes in establishing portacaval shunts for portal hypertension. *Ann. Surg*. 1945; 122 (4): 476–489. <https://doi.org/10.1097/0000658-194510000-00002>
 26. Rosemurgy A.S., Serafini F.M., Zweibel B.R. et al. Transjugular intrahepatic portosystemic shunt vs. small-diameter prosthetic H-graft portacaval shunt: extended follow-up of an expanded randomized prospective trial. *J. Gastrointest. Surg*. 2000; 4 (6): 589–597. [https://doi.org/10.1016/s1091-255x\(00\)80107-9](https://doi.org/10.1016/s1091-255x(00)80107-9)
 27. Butler H., Alfidi R.J. Variceal bleeding and computed tomography. *J. Comput. Tomogr*. 1983; 7 (2): 175–178. [https://doi.org/10.1016/0149-936x\(83\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0149-936x(83)90041-3)
 28. Perri R.E., Chiorean M.V., Fidler J.L. et al. A prospective evaluation of computerized tomographic (CT) scanning as a screening modality for esophageal varices. *Hepatology*. 2008; 47 (5): 1587–1594. <https://doi.org/10.1002/hep.22219>
 29. Agarwal A., Jain M. Multidetector CT portal venography in evaluation of portosystemic collateral vessels. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol*. 2008; 52 (1): 4–9. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1673.2007.01903.x>
 30. Bandali M.F., Mirakhor A., Lee E.W. et al. Portal hypertension: Imaging of portosystemic collateral pathways and associated image-guided therapy. *Wld J. Gastroenterol*. 2017; 23 (10): 1735–1746. <https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i10.1735>
 31. El-Assaly H., Metwally L., Azzam H. et al. A comparative study of multi-detector CT portography versus endoscopy in evaluation of gastro-esophageal varices in portal hypertension patients. *Egypt. J. Radiol. Nucl. Med*. 2020; 51 (1): 1–10 <https://doi.org/10.1186/s43055-019-0117-5>
 32. Willmann J.K., Weishaupt D., Böhm T. et al. Detection of submucosal gastric fundal varices with multi-detector row CT angiography. *Gut*. 2003; 52 (6): 886–892. <https://doi.org/10.1136/gut.52.6.886>
 33. Yudin A.L., Yumatova E.A., Yagubova K.V., Nakhaeva G.A. MSCT in Determining the Signs of Possible Bleeding from Gastric Varices. *Acta Sci. Gastrointest. Disorders*. 2022; 5 (11): 35–40. <https://doi.org/10.31080/asgis.2022.05.0496>
 34. Hirsch S., Guo J., Reiter R. et al. Towards compression-sensitive magnetic resonance elastography of the liver: sensitivity of harmonic volumetric strain to portal hypertension. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2014; 39 (2): 298–306. <https://doi.org/10.1002/jmri.24165>
 35. Sandrin L., Fourquet B., Hasquenoph J.M. et al. Transient elastography: a new noninvasive method for assessment of hepatic fibrosis. *Ultrasound Med. Biol*. 2003; 29: 1705–1713. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2003.07.001>
 36. Robic M.A., Procopet B., Métivier S. et al. Liver stiffness accurately predicts portal hypertension related complications in patients with chronic liver disease: a prospective study. *J. Hepatol*. 2011; 55 (5): 1017–1024. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2011.01.051>
 37. Şirli R., Sporea I., Bota S., Raţiu I. Liver elastography for the diagnosis of portal hypertension in patients with liver cirrhosis. *Med. Ultrason*. 2012; 14 (3): 225–230.
 38. Castera L., Pinzani M., Bosch J. Non invasive evaluation of portal hypertension using transient elastography. *J. Hepatol*. 2012; 56 (3): 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2011.07.005>
 39. Gerstenmaier J.F., Gibson R.N. Ultrasound in chronic liver disease. *Insights Imaging*. 2014; 5 (4): 441–455. <https://doi.org/10.1007/s13244-014-0336-2>
 40. Han J.-Y., Cho J.H., Kwon H.J., Nam K.J. Predicting portal hypertension as assessed by acoustic radiation force impulse: correlations with the Doppler ultrasound. *Br. J. Radiol*. 2012; 85 (1016): 404–409. <https://doi.org/10.1259/bjr/74648924>
 41. Hirsch S., Guo J., Reiter R. et al. MR elastography of the liver and the spleen using a piezoelectric driver, single-shot wave-field acquisition, and multifrequency dual



- parameter reconstruction. *Magn. Reson. Med.* 2014; 71 (1): 267–77. <https://doi.org/10.1002/mrm.24674>
42. Ronot M., Lambert S., Elkrief L. et al. Assessment of portal hypertension and high-risk oesophageal varices with liver and spleen three-dimensional multifrequency MR elastography in liver cirrhosis. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (6): 1394–1402. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3124-y>
 43. Shin S.U., Lee J.-M., Yu M.H. et al. Prediction of esophageal varices in patients with cirrhosis: usefulness of three-dimensional MR elastography with echoplanar imaging technique. *Radiology.* 2014; 272 (1): 143–153. <https://doi.org/10.1148/radiol.14130916>
 44. Vizzutti F., Arena U., Romanelli R.G. et al. Liver stiffness measurement predicts severe portal hypertension in patients with HCV-related cirrhosis. *Hepatology.* 2007; 45 (5): 1290–1297. <https://doi.org/10.1002/hep.21665>
 45. Stefanescu H., Radu C., Procopet B. et al. Non-invasivemenage à trois for the prediction of high-risk varices: stepwise algorithm using lok score, liver and spleen stiffness. *Liver International.* 2014; 35 (2): 317–325. <https://doi.org/10.1111/liv.12687>
 46. Kim J.-H., Nam S.-J. Capsule Endoscopy for Gastric Evaluation. *Diagnostics.* 2021; 11: 1792. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11101792>

Для корреспонденции*: Юматова Елена Анатольевна – 117997 Москва, ул. Островитянова, 1, Российская Федерация. Тел.: +7-903-779-43-83. E-mail: yumatova_ea@mail.ru

Ягубова Кира Владимировна – ассистент кафедры лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО “РНИМУ им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3218-8688>. E-mail: kira--95@mail.ru

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО “РНИМУ им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-7284-4737>. E-mail: prof_yudin@mail.ru

Афанасьева Наталья Иосифовна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО “РНИМУ им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-2203-989X>. E-mail: x-rayrsmu@mail.ru

Юматова Елена Анатольевна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО “РНИМУ им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6020-9434>. E-mail: yumatova_ea@mail.ru

Contact*: Elena A. Yumatova – 1, Ostrovitianova str., Moscow 117997, Russian Federation. Phone: +7-903-779-4383. E-mail: yumatova_ea@mail.ru

Kira V. Yagubova – assistant of the radiology department Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3218-8688>. E-mail: kira--95@mail.ru

Andrey L. Yudin – Doct. of Sci. (Med.), professor, head of radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-7284-4737>. E-mail: prof_yudin@mail.ru

Natalya I. Afanas`eva – Cand. of Sci. (Med.), associate professor, radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-2203-989X>. E-mail: x-rayrsmu@mail.ru

Elena A. Yumatova – Cand. of Sci. (Med.), associate professor, radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6020-9434>. E-mail: yumatova_ea@mail.ru



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1356>

Гломусная ангиома: серия наблюдений и обзор литературы

© Степанова Ю.А.*, Глотов А.В., Широков В.С., Коваленко А.А.,
Сапелкин С.В., Ахтанин Е.А., Леднев А.Н.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России;
117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

Гломусные опухоли обычно возникают в областях, богатых гломусными телами, таких как подногтевые области пальцев или глубокая дерма ладони, запястья и предплечье, однако возможна их локализация и в глубоко расположенных висцеральных местах по всему телу, включая легкие, желудок, поджелудочную железу, печень, желудочно-кишечный и мочеполовой тракты. Предполагается, что они произошли от модифицированных гладкомышечных клеток нейромюоартериального гломуса, обычно называемого гломусным телом, функцией которого является регулирование температуры посредством артериовенозного шунтирования крови. Важным в течении патологического процесса для этих опухолей являются болевые ощущения, сохраняющиеся в течение длительного времени, которое необходимо зачастую для их выявления, и возможность рецидива.

Цель исследования: проанализировать и оценить собственные клинические наблюдения гломусной ангиомы различной локализации.

Материал и методы. За период с 2004 по 2023 г. в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского пролечено 6 больных с морфологически верифицированным диагнозом «гломусная ангиома» (5 женщин и 1 мужчина в возрасте от 23 до 50 лет, средний возраст 34,5 года). Все пациенты были оперированы. Локализация образований: мягкие ткани конечностей – 3, забрюшинное пространство – 2, легкое – 1.

Результаты. Срок выявления образования варьировал в пределах от 2 мес до врожденного. Следует отметить, что в 2 из 3 случаев локализации образования в мягких тканях конечностей была врожденной. Гломусные ангиомы мягких тканей конечностей имели размеры от 40,0 × 28,65 мм до крупного образования, состоящего из множественных очагов размером от 20,0 до 60,0 мм в диаметре, все опухоли были многоузловые. Забрюшинные гломусные опухоли имели достаточно большие размеры (многоузловое образование от 6,0 до 48,0 мм в диаметре и одноузловое многокамерное образование полициклической формы размерами 150,0 × 100,0 × 80,0 мм). Образование легкого было одноузловое и имело 12,5 мм диаметре. В подавляющем большинстве случаев (5/6) образования проявляли себя болевыми ощущениями и дискомфортом. Только образование легкого было выявлено случайно при профилактическом осмотре.

Приведены ультразвуковые критерии и МСКТ-признаки образований различных локализаций. Результаты сопоставлены с данными литературы.

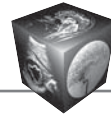
Заключение. Учитывая редкость встречаемости гломусной ангиомы и отсутствие публикаций, касающихся гломусных ангиом мягких тканей конечностей и глубоко расположенных опухолей, в отечественной литературе представленный анализ серии собственных наблюдений позволит повысить информированность клиницистов и диагностов об этих опухолях и, тем, самым, увеличить их выявляемость, что даст возможность провести оперативное вмешательство в более ранние сроки.

Ключевые слова: гломусная ангиома, распространенность, морфология, диагностика, УЗИ, МСКТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Степанова Ю.А., Глотов А.В., Широков В.С., Коваленко А.А., Сапелкин С.В., Ахтанин Е.А., Леднев А.Н. Гломусная ангиома: серия наблюдений и обзор литературы. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 120–140. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1356>

Поступила в редакцию: 11.04.2023. **Принята к печати:** 11.07.2023. **Опубликована online:** 3.11.2023.



Glomus angioma: series of cases and literature review

© Yulia A. Stepanova*, Andrey V. Glotov, Vadim S. Shirokov, Anastasia A. Kovalenko,
Sergey V. Sapelkin, Evgeniy A. Akhtanin, Aleksey N. Lednev

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation;
27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow 117997, Russian Federation

Glomus tumors usually occur in areas rich in glomus bodies, such as the subungual areas of the fingers or the deep dermis of the palm, wrist, and forearm, but they can also occur in deep visceral sites throughout the body, including the lungs, stomach, pancreas, liver, gastrointestinal and urinary tracts. They are thought to have originated from modified smooth muscle cells of the neuromyoarterial glomus, commonly referred to as the glomus body, whose function is to regulate temperature through arteriovenous shunting of the blood. Important during the pathological process for these tumors are pain that persists for a long time, which is often necessary for their detection and the possibility of relapse.

The purpose: to analyze and evaluate our own clinical cases of glomus angioma of various localization.

Materials and methods. 6 patients with a morphologically verified diagnosis of glomus angioma (5 women and 1 man aged 23 to 50 years, mean age 34.5 years) were treated at A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery for the period from 2004 to 2023. All patients were operated on. Lesions localization: limbs soft tissues – 3, retroperitoneal space – 2, lung – 1.

Results. The term of the lesions detection varied from 2 months to congenital. In 2 of 3 cases of the limbs soft tissues tumors localization they were congenital. Limbs soft tissues glomus tumors: the lesions ranged in size from 40.0 × 28.65 mm to a large lesion, consisting of multiple foci ranging in size from 20.0 to 60.0 mm in diameter, all tumors were multinodular. Retroperitoneal glomus tumors: the lesions were rather large (a multinodular lesion from 6.0 to 48.0 mm in diameter and a single-nodular multi-chamber lesion of a polycyclic form, 150.0 × 100.0 × 80.0 mm in size). The lung glomus tumor was single-nodular and had a diameter of 12.5 mm. In the vast majority of cases (5/6), the lesions manifested with the pain and discomfort. Only the lung lesion was detected by chance and during a routine examination.

The criteria for ultrasound and MSCT signs of the lesions of various localizations are given. The data are compared with literature data.

Conclusion. Given the rarity of glomus angioma and the lack of publications on glomus angiomas of soft tissues of the extremities and deep-seated tumors in the domestic literature, the presented analysis of a series of our own cases will increase the awareness of clinicians and diagnosticians about these tumors and, thereby, increase their detection, which will allow for earlier surgery.

Keywords: glomus angioma, prevalence, morphology, diagnostics, ultrasound, MSCT

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

For citation: Stepanova Yu.A., Glotov A.V., Shirokov V.S., Kovalenko A.A., Sapelkin S.V., Akhtanin E.A., Lednev A.N. Glomus angioma: series of cases and literature review. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 120–140. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1356>

Received: 11.04.2023.

Accepted for publication: 11.07.2023.

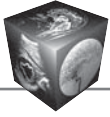
Published online: 3.11.2023.

Введение

Гломусные опухоли – новообразования, возникающие из модифицированных гладкомышечных клеток гломусного тела, представляющего собой специализированную форму артериовенозного анастомоза, играющего значительную роль в регуляции кожного кровообращения [1, 2]. Впервые гломусные опухоли были описаны W. Wood в 1812 г. как “болезненные подкожные бугорки” [3], Гистологический диагноз был охарактеризован P. Masson в 1924 г., который сравнил опухоль с нормальным гломусным телом и предположил, что поражение представляет собой гиперплазию или разрастание этой структуры [4]. В настоящее

время общепризнано, что эти поражения неопластические.

Предполагается, что они произошли от модифицированных гладкомышечных клеток нейромюоартериального гломуса, обычно называемого гломусным телом, функцией которого является регулирование температуры посредством артериовенозного шунтирования крови. Гломусные опухоли представляют собой новообразования с гистологическим сходством с гломусными тельцами, как правило, небольшого размера [4]. Гломусные опухоли обычно возникают в областях, богатых гломусными телами, таких как подногтевые области пальцев или глубокая дерма ладони,



запястья и предплечье [5]. И хотя они чаще встречаются в подкожной клетчатке и поверхностных мягких тканях, гломусные опухоли могут возникать в глубоко расположенных висцеральных местах по всему телу [6].

По данным литературы, гломусные опухоли составляют 1–6% всех опухолей мягких тканей и 1–5% опухолей рук [7]. Также могут локализоваться на плече [8], бедре [9], в области колена [7, 10, 11] и локтя [12]. Единичные наблюдения описаны в носовой полости и параназальных пазухах [13], в веке [14] и радужной оболочке глаза [15], в желудочно-кишечном тракте, включая желудок [16, 17] и печень [18], в почке [19], надпочечнике [20] и забрюшинном пространстве [21], в легких [22, 23] и трахее [24], сердце [25] и молочной железе [26, 27]. Крайне редкими локализациями опухоли являются яичко [28] и турецкое седло [29]. Описано также внутрисосудистое распространение опухоли [30, 31].

Опухоли могут возникать во взрослом возрасте (20–40 лет) и одинаково представлены у мужчин и женщин. В большой серии наблюдений L.E. Beaton и L. Davis [32] внепальцевые опухоли чаще встречались у мужчин, в то время как подногтевыми поражениями преимущественно страдают женщины. Классические гломусные опухоли, как правило, одиночные, множественные очаги встречаются редко [33, 34]. Множественные гломусные опухоли часто имеют нетипичные клинические, патологические и позиционные особенности. A.L. Folpe и соавт. описали гломангиоматоз как опухоли с гистологическими признаками диффузного ангиоматоза и избытком гломусных клеток [35]. R. Cabral и соавт. сообщили о множественных очагах при нейрофиброматозе I типа [36]. U. Blume-Peytavi и соавт. представили наблюдение множественных гломангиом как результат наследственного генетического дефекта. Диагноз диссеминированных кожных гломангиом был подтвержден гистологически в 4 семьях у представителей 3 разных поколений. Гломангиомы передавались по аутосомно-доминантному типу по отцовской линии [37].

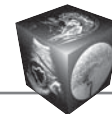
Гломусные ангиомы часто не видны и не пальпируются. Клинические проявления включают локальную болезненность или мучительную пароксизмальную боль, непропорциональную размеру опухоли, и чувствительность к холоду. У некоторых пациентов боль сопровождается дополнительными признаками гиперестезии, мышечной атрофии или остеопорозом пораженного участка [38, 39].

Макроскопически опухоль представляет собой небольшое фиолетовое образование в среднем

диаметром от 2 до 30 мм [40]. Поверхностные опухоли, как правило, имеют меньшие размеры, глубоко расположенные, в том числе и органые, более крупные. Гистологически опухоли имеют различное количество гломусных клеток, кровеносных сосудов и гладкомышечных клеток. Классические гистологические признаки гломусной опухоли включают ангиоцентрические однородные пласты клеток с овальными ядрами, образующие периваскулярный “воротник” вокруг сосудов. Гистологическая классификация делит эти опухоли на 3 различных варианта: солидные гломусные опухоли, гломангиомы и гломангиомиомы [41]. Сольидные гломусные опухоли являются наиболее распространенным подтипом (73%), за которым следуют гломангиомы (25%). Гломангиомиома – самый редкий вариант с частотой до 8% всех гломусных опухолей [35]. Сольидная форма имеет плохую сосудистую сеть и скудный гладкомышечный компонент, в то время как гломангиома имеет заметный сосудистый компонент, а гломангиомиома состоит из выраженных сосудистых и гладкомышечных элементов [5].

Иммуногистохимический и электронно-микроскопический анализы показывают, что гломусные клетки имеют как фенотип гладкомышечных клеток, так и перицитов [42, 43]. При иммуногистохимическом исследовании все гломусной опухоли клетки выражено экспрессируют гладкомышечный актин (α SMA), мускулоспецифический актин (MSA) [35, 42] и h-Caldesmon [44]. Хотя виментин и коллаген типа IV неспецифичны, но они также выражено экспрессируются [5, 42]. Также была обнаружена варибельная экспрессия CD34 и в меньшей степени десмина [35, 43].

Гломусная опухоль с неопределенным злокачественным потенциалом, по данным A.L. Folpe и соавт., соответствует следующим критериям: опухоли, у которых отсутствуют критерии злокачественной гломусной опухоли или симпластической гломусной опухоли, но которые имеют высокую митотическую активность и только поверхностное расположение, или только большие размеры, или только глубокое расположение [35]. Атипичная или злокачественная гломусная опухоль встречается крайне редко, они чаще возникают в виде глубоко расположенных крупных опухолей желудочно-кишечного тракта [23, 39, 44, 45]. Описаны метастазы в легкие и стенку правого предсердия [46], а также в желудок, селезенку, тощую и подвздошную кишку [23], при множественных мультиорганных метастазах описаны также и метастазы в мозг [45]. Описаны тромботические массы в просвете крупного сосуда [47]. A.L. Folpe и соавт. [35] предложили следующие



критерии классификации для злокачественных гломусных опухолей: 1) глубокое местоположение и размер >2 см; 2) присутствие атипичных митотических фигур; 3) комбинация от умеренного до высокого уровня ядерной и митотической активности (5 MFS/50 HPFS).

Местные рецидивы, по данным литературы, варьируют в пределах 6,6–33,0% [48–50]. Рецидив в результате неадекватного иссечения обычно появляется в течение нескольких недель [51, 52]. Однако R.E. Carroll и соавт. описали рецидив через 3–5 лет [53], а B. Vasisht и соавт. через 2,9 года, при этом авторы указывают, что рецидив опухоли появился в той же локализации [52]. Эти пациенты были полностью бессимптомны в период времени до рецидива. Считается, что рецидив опухоли, отсроченный на многие годы, является результатом развития новой опухоли вблизи места иссечения [51, 54].

В литературе преимущественно описаны единичные клинические наблюдения гломусной ангиомы, зачастую с обзорами литературы. Исследования со значительным числом наблюдений встречаются крайне редко. В табл. 1 представлены наиболее крупные по числу клинических наблюдений гломусной ангиомы исследования. Представленные данные демонстрируют возникновение рецидивов опухоли даже при доброкачественном течении процесса.

В отечественной литературе исследования, касающиеся гломусных опухолей, представлены работами авторов, описывающих гломусные опухоли – параганглиомы [67, 68]. Данные публикации имеют место вследствие того, что в литературе можно встретить мнение, что гломусная опухоль и параганглиома относятся к одной группе опухолей. Такое представление основывается на том, что наиболее частой локализацией параганглиомы является зона бифуркации сонной артерии (отсюда каротидная параганглиома), где в норме расположено каротидное тельце, также известное как “каротидный гломус”. Однако параганглиомы не имеют ничего общего с гломусными опухолями. Гломусные опухоли имеют гладкомышечную дифференцировку и развиваются из периваскулярных гломусов, функцией которых является терморегуляция. Каротидный гломус и, соответственно, каротидная параганглиома имеют нейроэктодермальное происхождение, а функцией каротидного гломуса является оценка изменения парциального давления кислорода крови. U. Blume-Reutavi и соавт., проанализировав гистологические и генетические данные в 4 семьях (три различных поколения), показали, что генетический дефект при диссеминированных кожных гломусных опухолях типа

гломангиомы, происходящих из гладкомышечных клеток или пероцитов, не связан с хромосомой 11q23, что характерно для параганглиом. Авторы сделали вывод, что общий термин “гломусная опухоль”, используемый как для гломангиомы, так и для параганглиом в современной литературе, вводит в заблуждение и его следует избегать, потому что эти опухоли различного гистологического и генетического происхождения [37].

В целом, учитывая редкость встречаемости гломусной ангиомы и отсутствие публикаций, касающихся гломусных ангиом мягких тканей конечностей и глубоко расположенных опухолей, основанных на собственном материале в отечественной литературе, считаем целесообразным привести серию собственных наблюдений с анализом данных.

Цель исследования: проанализировать и оценить собственные клинические наблюдения гломусной ангиомы различной локализации.

Материал и методы

За период с 2004 по 2023 г. в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского пролечено 6 больных с морфологически верифицированным диагнозом “гломусная ангиома” (5 женщин и 1 мужчина в возрасте от 23 до 50 лет, средний возраст 34,5 года). Все пациенты были оперированы.

Результаты

Общие характеристики образований представлены в табл. 2.

Срок выявления образования варьировал в пределах от 2 мес до врожденного. Следует отметить, что в 2 из 3 случаев локализации образования в мягких тканях конечностей были врожденными. В среднем размеры образований варьировали от 12,5 мм в диаметре до 150,0 × 100,0 × 80,0 мм. При локализации в мягких тканях конечностей образования имели размеры от 40,0 × 28,65 мм до крупного образования, состоящего из множественных очагов диаметром от 20,0 до 60,0 мм, все опухоли были многоузловые. При брюшинной локализации образования имели достаточно большие размеры (многоузловое образование от 6,0 до 48,0 мм в диаметре и одноузловое многокамерное образование полициклической формы размерами 150,0 × 100,0 × 80,0 мм). Образование легкого было одноузловое и имело 12,5 мм диаметре. В подавляющем большинстве случаев (5/6) образования проявляли себя болевыми ощущениями и дискомфортом. Только образование легкого было выявлено случайно при профилактическом осмотре.

**Таблица 1.** Наиболее крупные исследования гломусной опухоли различной локализации [35, 39, 51–53, 55–66]**Table 1.** The largest studies of glomus tumors of various localizations [35, 39, 51–53, 55–66]

№ п/п	Авторы, год Authors, year	Число наблюдений Number of cases	Период сбора данных Data collection period	Локализация поражения Localization of the lesion
1	Carroll R.E. et al., 1972 [53]	28	–	Рука / Hand
2	Mansat M. et al., 1985 [55]	14	8	Рука / Hand
3	Gandon F. et al., 1992 [56]	48	–	Рука / Hand
4	Arkwright S. et al., 1996 [57]	29	–	Рука / Hand
5	Van Geertruyden J. et al., 1996 [51]	51	10	Кисть / Brush
6	Kim S.-H. et al., 2000 [58]	17	8	Пальцы / Fingers – 6 Предплечье / Forearm – 3 Плечо / Shoulder – 4 Спина / Back – 2 Нога / Leg – 1 Стопа / Foot – 1
7	Folpe A.L. et al., 2001 [35]	52	–	Рука / Hand – 9 Кисть / Brush – 7 Бедро / Thigh – 11 Голень / Drumstick – 7 Стопа / Foot – 4 Туловище/живот / Torso/Stomach – 7 Ягодица / Buttock – 3 Легкое / Lung – 2 Желудок / Stomach – 1 Позвонок / Vertebra – 1
8	Assmus H. et al., 2002 [59]	36	11	Кисть / Brush
9	Vasisht B. et al., 2004 [52]	19	29	Фаланги пальцев / Phalanges of fingers
10	Schiefer T.K. et al., 2006 [60]	56	20	Мягкие ткани конечностей и головы / Soft tissues of the limbs and head – 55 Трахея / Trachea – 1
11	Frikh R. et al., 2009 [61]	14	7	Кисть и стопа / Hand and foot – 11 (78.5%) Предплечье / Forearm – 1 (7.1%) Крестцовая область / Sacral region – 1 (7.1%) Правая парастернальная область / Right parasternal region – 1 (7.1%)
12	Lee D.W. et al., 2011 [62]	152	19	Пальцы / Fingers – 110 Внепальцевая / Extradigital – 42
13	Fazwi R. et al., 2011 [63]	15	15	Кисть / Brush – 8 Рука / Brush – 2 Нога / Leg – 2 Ухо / Ear – 3
14	Mravic M. et al., 2015 [39]	138	14	Поверхностные мягкие ткани / Superficial soft tissues: пальцы / fingers – 42.3% плечо, предплечье / shoulder, forearm – 16.1% ноги / legs – 11.7% Глубоко расположенные опухоли / Deep located tumors – 4.4%: желудок / stomach – 1 двенадцатиперстная кишка / duodenum – 1 забрюшинная / retroperitoneal – 4
15	Kumar S. et al., 2020 [64]	57	20	Фаланги пальцев / Phalanges of fingers
16	Mashalkar N.S. et al., 2022 [65]	13	7	Фаланги пальцев / Phalanges of fingers
17	Deng M. et al., 2023 [66]	15	8	Желудок / Stomach

– нет данных / no data.

Наличие злокачественного поражения Presence of a malignant lesion	Рецидивы Relapses
–	–
–	Рецидив – 4 (35%), через 2–10 лет / Relapse – 4 (35%), after 2–10 years
Нет /No	Рецидив – 2 (через 5 лет) / Relapse – 2 (after 5 years)
–	–
Нет /No	Рецидив симптомов – 2 (через два года) Recurrence of symptoms – 2 (after two years)
Нет /No	Рецидив / Relapse – 3
Все опухоли были ранее диагностированы как “атипичные” или “злокачественные” на основании ядерной атипии, инфильтративного роста или митотической активности All tumors were previously diagnosed as “atypical” or “malignant” based on nuclear atypia, infiltrative growth or mitotic activity	Рецидивов / Relapse – 7, Метастазы / Metastases – 8, Летальный исход от болезни / Death from the disease – 7
–	–
Нет /No	Рецидив / Relapse – 15.7%
Нет /No	Нет /No
Нет /No	Нет /No
–	Рецидив у 4 (10,5%) из 38 пролеченных пациентов, через 1 год Relapse in 4 of 38 treated patients (10.5%), after 1 year
Нет /No	Рецидив / Relapse – 13,0%
Глубокая локализация (забрюшинные опухоли) – 3 (75%) из 4 опухолей были злокачественные Deep localization (retroperitoneal tumors) 3 out of 4 tumors (75%) were malignant. Неопределенный злокачественный потенциал / Uncertain malignant potential – 5 Метастазы / Metastases – 0 (из 9)	–
Нет /No	Рецидив / Relapse – 2 (3,5%)
–	–
Умеренная клеточная атипия / Moderate cellular atypia – 1 (7%) Атипичный митоз / Atypical mitosis – 1 (7%) Сосудистая инвазия / Vascular invasion – 5 (33%) Нервная инвазия / Nerve invasion – 6 (40%)	Отдаленные результаты оценены в 12 случаях: метастазы в печень через 26 мес после операции – 1 (8%) Long-term results were assessed in 12 cases: liver metastases after 26 months after surgery – 1 (8%)

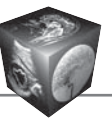
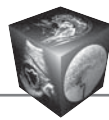


Таблица 2. Данные пациентов с гломусной ангиомой различной локализации, проходивших лечение в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого

Table 2. Data of epy patients with glomus angioma of various localization treated at A.V. Vishnevsky National Medical Research Center

№ п/п	Пациент Patient	Пол Sex	Анамнез Anamnesis
1	Пациент Коп., 27 лет Patient Kop., 27 years old	М	Считает себя больным в течение 3 лет (2001), с момента, когда впервые появились боли в правом подреберье. В 2002 г. при амбулаторном УЗИ выявили очаговое образование под правой долей печени Considers himself sick for 3 years (2001), from the moment when pain in the right hypochondrium first appeared. In 2002, an ambulant ultrasound revealed a focal lesion under the right lobe of the liver.
2	Пациентка Ков., 28 лет Patient Kov., 28 years old	Ж F	Данное образование отметила около года назад. Удаление образования (Киев). В послеоперационном периоде отмечено появление образования вновь с интенсивным ростом. По данным дуплексного сканирования мягких тканей – сосудистая мальформация правого бедра. This lesion was noted about a year ago. Removal of education (Kyiv). In the postoperative period, the lesion reappeared with intensive growth. According to soft tissue DS, there is a vascular malformation of the right thigh.
3	Пациентка Жиг., 42 года Patient Zhig., 42 years old	Ж F	Считает себя больной с 8-летнего возраста (в течение 34 лет), когда появились боли в правом голеностопном суставе. В 12 лет образование начало увеличиться в размерах. В 24 года (2001) была попытка удаления сосудистого образования. В дальнейшем рост образования продолжался Considers himself sick since the age of 8 (for 34 years), when pain appeared in the right ankle joint. At the age of 12, the lesion began to increase in size. At the age of 24 (2001) there was an attempt to remove a vascular lesion. Subsequently, the growth of education continued.
4	Пациентка Жур., 50 лет Patient Zhur., 50 years old	Ж F	При ежегодном профосмотре по данным рентгенографии обнаружено округлое затемнение в нижней доле правого легкого. При МСКТ ОГК с КУ в S _{viii} нижней доли правого легкого определялся очаг с четкими ровными контурами, без перифокальных изменений, размерами 1,7 × 2,0 см, умеренно накапливающий контрастный препарат During the annual medical examination, X-ray data revealed a rounded darkening in the lower lobe of the right lung. MSCT of the chest with contrast enhancement in S8 of the lower lobe of the right lung revealed a lesion with clear, even contours, without perifocal changes, measuring 1.7 × 2.0 cm, moderately accumulating the contrast agent.
5	Пациентка М., 37 лет Patient M., 37 years old	Ж F	Считает себя больной с 11.10.19 (37 лет), когда появились вышеописанные симптомы, на дом была вызвана бригада скорой помощи, поставлен диагноз: почечная колика, проведена спазмолитическая терапия. В дальнейшем больной было выполнено УЗИ, в ходе которого выявлено неорганическое забрюшинное образование. He considers himself sick since October 11, 2019 (37 years old), when the symptoms described above appeared, an ambulance was called to the house, a diagnosis of renal colic was made, and antispasmodic therapy was administered. Subsequently, the patient underwent an ultrasound scan, during which a non-organ retroperitoneal lesion was identified.
6	Пациентка Л., 23 года Patient L., 23 years old	Ж F	Больна с рождения. Отмечается медленный рост образования Sick since birth. There is a slow growth of the lesion.

Жалобы Complaints	Локализация Localization	Размеры Dimensions	Диагноз до операции Diagnosis before surgery	Срок до постановки диагноза Time until diagnosis
Боли в правом подреберье, похудение на 5 кг за 3 мес Pain in the right hypochondrium, weight loss of 5 kg for 3 months	Проекция правого надпочечника Projection of the right adrenal gland	150,0 × 100,0 × 80,0 мм 150.0 × 100.0 × 80.0 mm	Неорганическое забрюшинное образование, кистозная лимфангиома Non-organ retroperitoneal lesion, cystic lymphangioma	3 года 3 years
На наличие объемного патологического образования правого бедра For the presence of a voluminous pathological lesion of the right thigh	Средняя треть правого бедра Middle third of right thigh	52,0 × 17,0 × 45,0 мм 52.0 × 17.0 × 45.0 mm	Венозно-кавернозная дисплазия задней поверхности средней трети правого бедра Venous-cavernous dysplasia of the posterior surface of the middle third of the right thigh	1 год 1 year
На постоянные тянущие боли и наличие объемных патологических образований в области голеностопного сустава справа For the presence of a voluminous pathological lesion of the right thigh	Нижняя треть голени Lower third of the leg	От 20,0 до 60,0 мм в диаметре From 20.0 to 60.0 mm in diameter	Смешанная ангиодисплазия правой нижней конечности, макрофистулезная форма Mixed angiodysplasia of the right lower limb, macrofistulous form.	34 года 34 years
При поступлении не предъявляла Did not present upon admission	Легкое Lung	12,5 мм в диаметре 12.5 mm in diameter	Злокачественное образование S _{viii} нижней доли правого легкого Malignant lesion S8 of the lower lobe of the right lung	3 мес 3 months
Боли в правой поясничной области Pain in the right lumbar region	Правая подвздошная область Right iliac region	От 6,0 до 48,0 мм в диаметре From 6.0 to 48.0 mm in diameter	Неорганическое забрюшинное образование Non-organ retroperitoneal lesion	2 мес 2 months
Боли, наличие патологического образования левого предплечья Pain, the presence of a pathological lesion of the left forearm	Верхняя треть левого предплечья Upper third of left forearm	40,0 × 28,5 мм 40.0 × 28.5 mm	Ангиодисплазия верхней трети левого предплечья Angiodysplasia of the upper third of the left forearm	23 года 23 years



Следует отметить, что в анамнезе два образования из трех, локализованных в конечностях, имели рецидивы после хирургического лечения.

При постановке диагноза такая морфологическая форма, как гломусная ангиома, в предоперационном периоде не была заподозрена ни разу (ни самостоятельно, ни в дифференциально-диагностическом ряду). Опухоли в мягких тканях конечностей рассматривались как ангиодисплазия во всех случаях. Образования, локализованные в забрюшинном пространстве, верифицировались как неорганическое забрюшинное образование, без уточнения морфологической формы.

Считаем целесообразным отдельно рассмотреть лучевые признаки гломусной ангиомы различной локализации.

Гломусная ангиома мягких тканей конечностей Ультразвуковое исследование

Пациентка Л., 23 года. В мягких тканях левого предплечья определяются кистозные полости равномерной величины и неправильной формы, местами с наличием тонкой эхоплотной капсулы (рис. 1а). При дуплексном сканировании отмечается частичное окрашивание просвета единичных полостей (рис. 1б) с регистрацией спектра кровотока (как артериального, так и венозного) (рис. 1в).

Мультиспиральная компьютерная томография

Пациентка Ков., 28 лет. В подкожно-жировой клетчатке задней поверхности средней трети правого бедра на расстоянии 125 мм выше щели коленного сустава визуализируется мягкотканное образование аксиальными размерами 52 × 17 мм и протяженностью 45 мм (рис. 2). Образование неоднородно накапливает контрастный препарат в артериальную фазу до 100 ед.Н, в венозную фазу до 140 ед.Н, равномерно контрастируется в отсроченную фазу исследования до 111 ед.Н. К образованию подходит ветвь от поверхностной артерии бедра и большой подкожной вены бедра. Мышцы задней группы бедра интактны.

Пациентка Жиг., 42 года. По задней поверхности левой голени определяются ангиоматозные ткани, расположенные от уровня тыла стопы до средней трети голени. Патологические ткани располагаются субфасциально по задним поверхностям камбаловидной и малоберцовых мышц. Ангиоматозные ткани представлены венозными кавернами максимальным размером до 60,0 мм, расположенными по задней поверхности голени и стопы (рис. 3), контрастирующимися во все контрастные фазы. В структуре ангиоматозных тканей визуализируются кальцинаты. Окружающая их

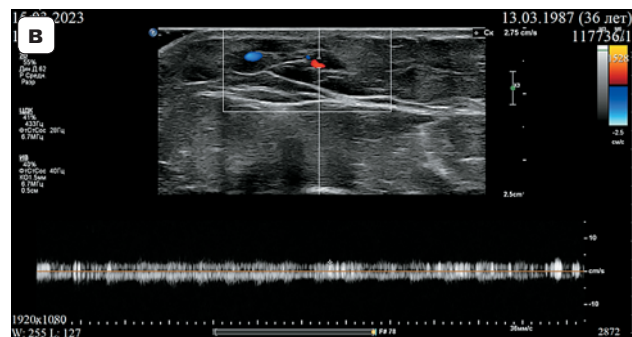
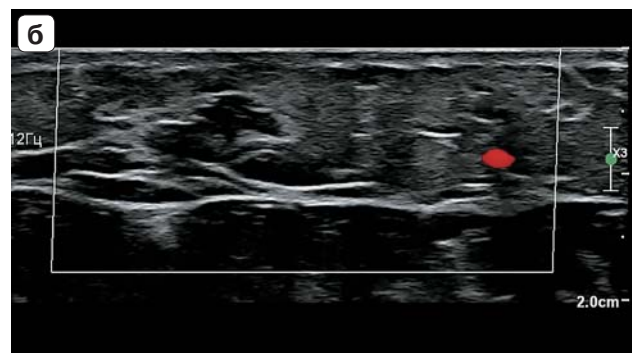
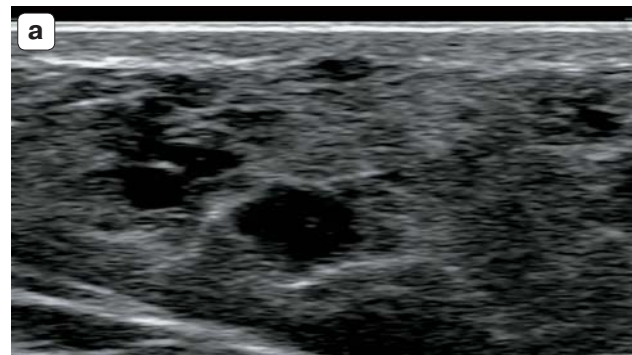


Рис. 1. Пациентка Л., 23 года. УЗ-изображения кистозного образования мягких тканей. **а** – кистозные полости, имеющие тонкие капсулы в мягких тканях (В-режим); **б** – частичное окрашивание просвета единичной полости при цветовом доплеровском картировании; **в** – регистрация венозного кровотока.

Fig. 1. Patient L., 23 y.o. Cystic lesion of soft tissues ultrasound images. **a** – cystic cavities with thin capsules in soft tissues (B-mode); **b** – partial staining of the lumen of a single cavity at Color Doppler Imaging; **v** – venous blood flow.

клетчатка уплотнена. В подкожной жировой клетчатке бедра, голени определяются множественные извитые варикозно-расширенные до 10 мм вены. Часть из них контрастируется в артериальную фазу до 125 ед.Н.

На рис. 4 и 5 представлены макропрепарат и данные морфологической верификации образования пациентки Жиг., 42 лет.

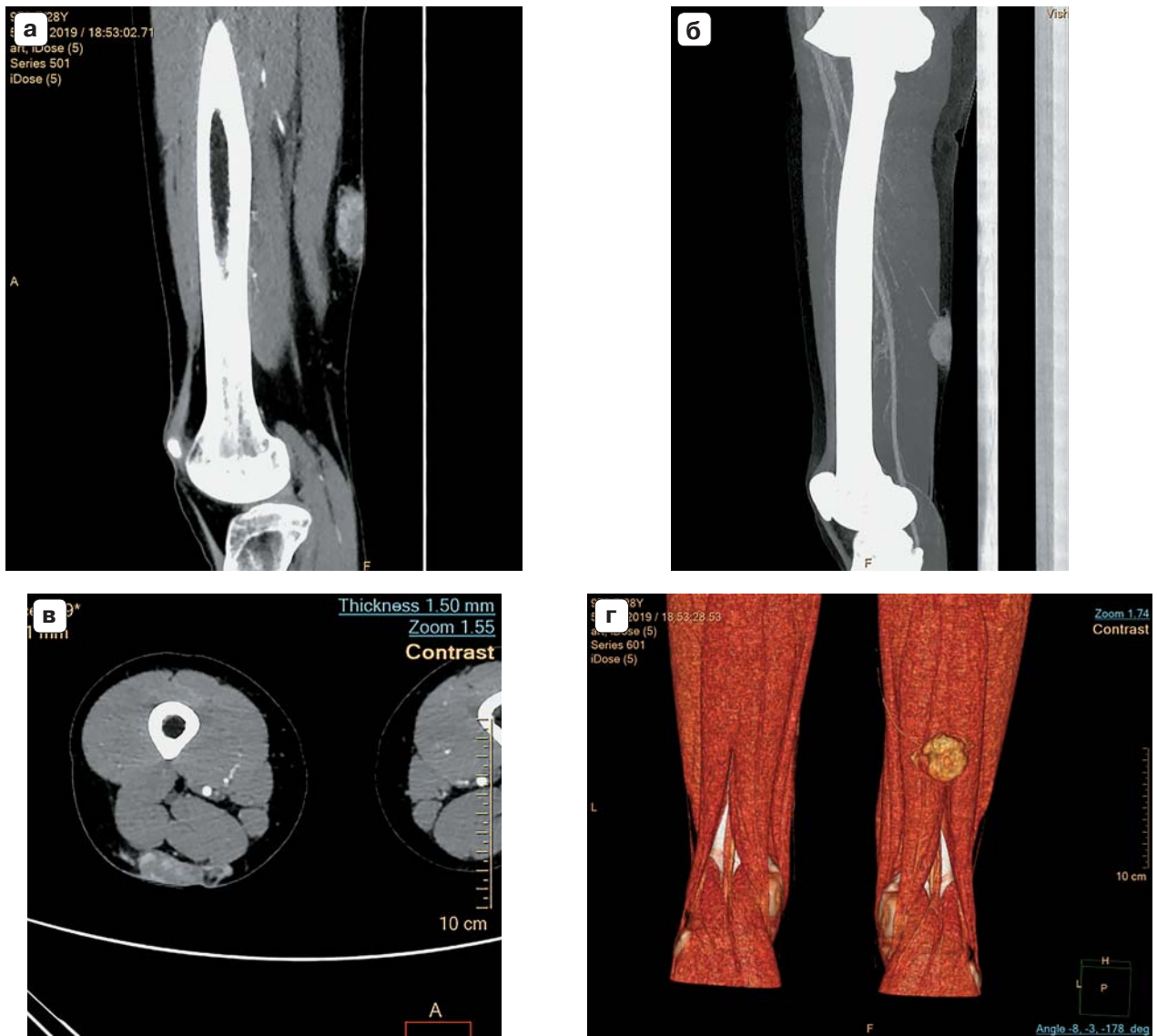


Рис. 2. Пациентка Ков., 28 лет. МСКТ-изображения гломусной ангиомы задней поверхности правого бедра. **а** – сагиттальная проекция; **б** – сагиттальная проекция в режиме MIP; **в** – аксиальная проекция; **г** – трехмерная реконструкция изображения.

Fig. 2. Patient Kov., 28 y.o. Glomus angioma of the the right thigh posterior surface MSCT images. **a** – sagittal projection; **б** – sagittal projection, MIP; **в** – axial projection; **г** – 3D reconstruction.

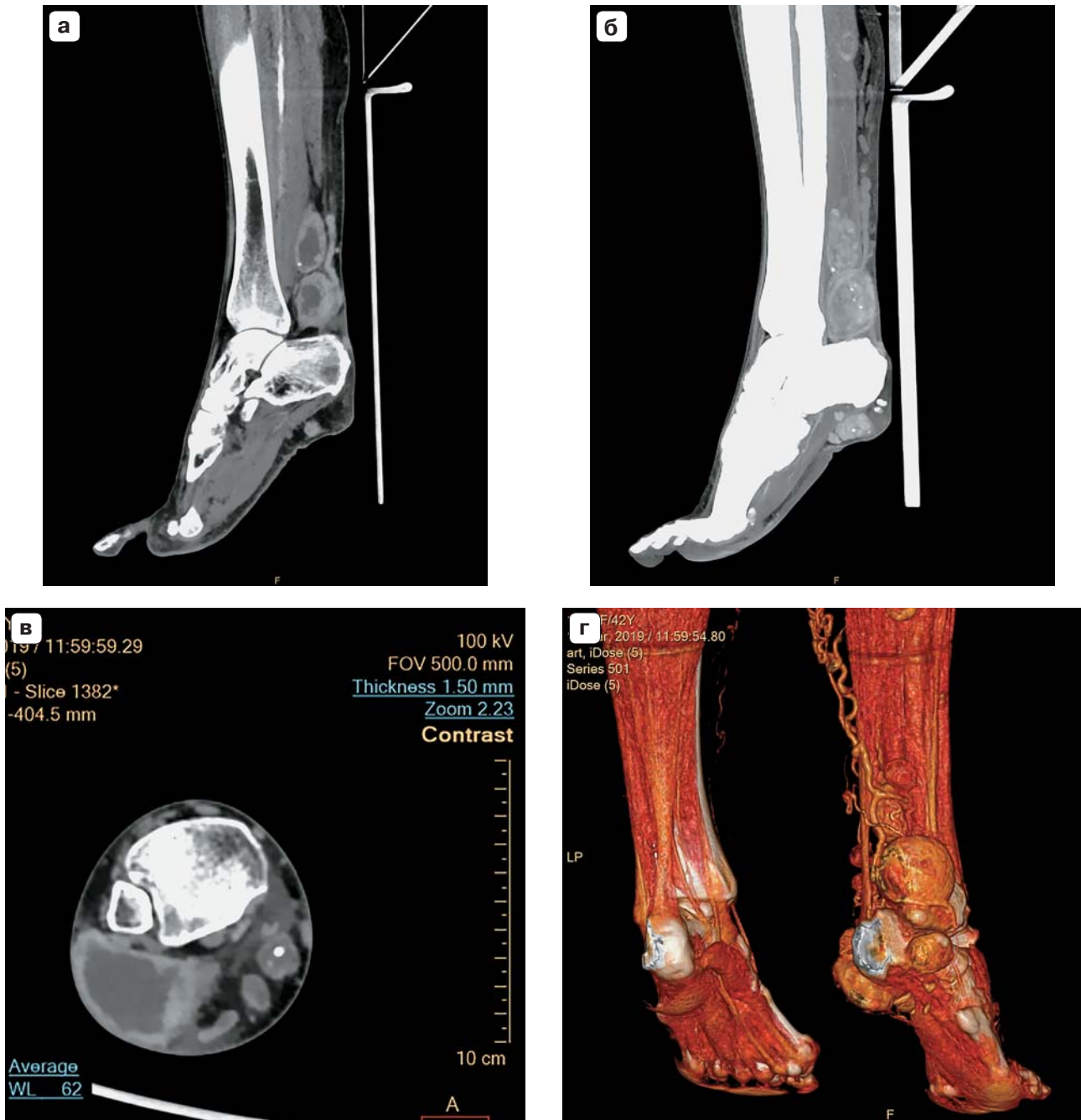


Рис. 3. Пациентка Жиг., 42 года. МСКТ-изображения гломусной ангиомы правого голеностопного сустава. **а** – сагиттальная проекция; **б** – сагиттальная проекция в режиме MIP; **в** – аксиальная проекция; **г** – трехмерная реконструкция изображения. На рисунках ангиоматозные ткани, представленные множественными венозными кавернами, размерами от 24 до 60 мм.

Fig. 3. Patient Zhig., 42 y.o. Glomus angioma of the right ankle joint MSCT images. **a** – sagittal projection; **б** – sagittal projection, MIP; **в** – axial projection; **г** – 3D reconstruction. Angiomatous tissues, represented by multiple venous caverns, ranging in size from 24 to 60 mm.

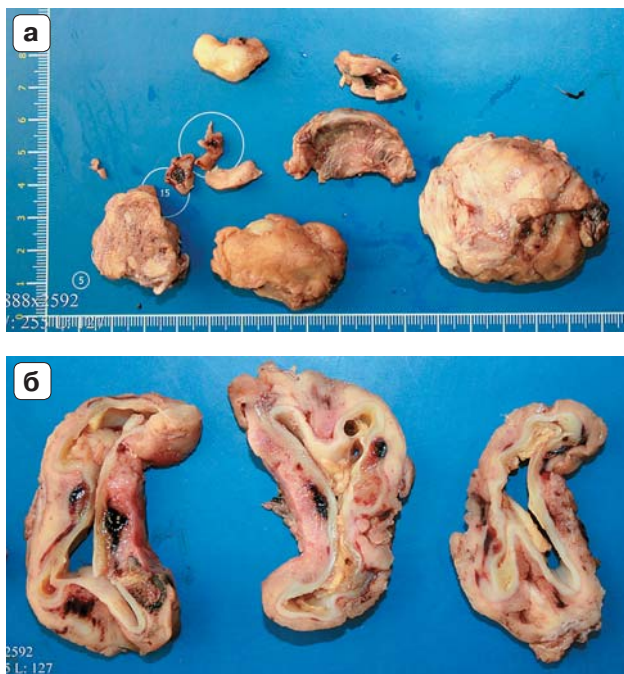
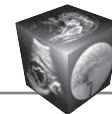


Рис. 4. Пациентка Жиг., 42 года. Макропрепарат гломусной ангиомы нижней трети голени. **а** – общий вид; **б** – на разрезе.

Fig. 4. Patient Zhig., 42 y.o. Glomus angioma of the lower third of the leg gross specimen. **a** – general view; **b** – on the cut.

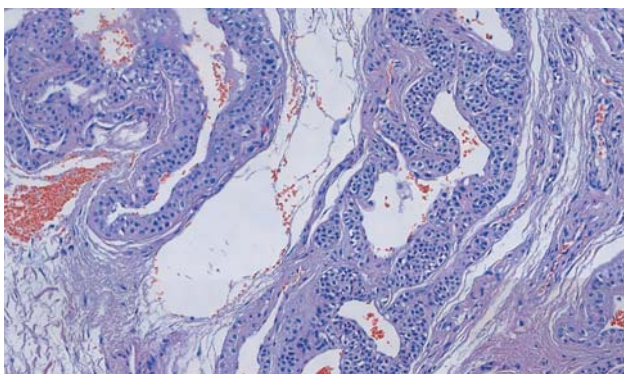


Рис. 5. Пациентка Жиг., 42 года. Микрофотография: гломусная опухоль мягких тканей верхней конечности, видна пролиферация опухолевых клеток в толще стенки сосудов, гематоксилин и эозин, $\times 200$.

Fig. 5. Patient Zhig., 42 y.o. Glomus tumor of the upper limb soft tissues, proliferation of tumor cells in the thickness of the vessel wall is visible, hematoxylin and eosin, $\times 200$ magnification.

Гломусная ангиома забрюшинного пространства

Ультразвуковое исследование

Пациент Коп., 27 лет. Подпеченочно определяется кистозное образование полициклической формы в тонкой эхоплотной капсуле, имеющей несколько камер (рис. 6). Образование смещается относительно печени при форсированном дыхании. Содержимое камер жидкостное. При дуплексном сканировании кровотоков в капсуле и перегородках образования зарегистрировать не удается.

Мультиспиральная компьютерная томография

Пациентка М., 37 лет. В переднем параренальном и аортокавальном пространствах справа от уровня нижней горизонтальной ветви двенадцатиперстной кишки с каудальным распространением на протяжении 100 мм определяются множественные сгруппированные солидные и кистозно-солидные образования размерами от 6,0 до 48,0 мм. Наиболее крупное образование (рис. 7) представлено массивным кистозным компонентом в центральном отделе, с неоднородными

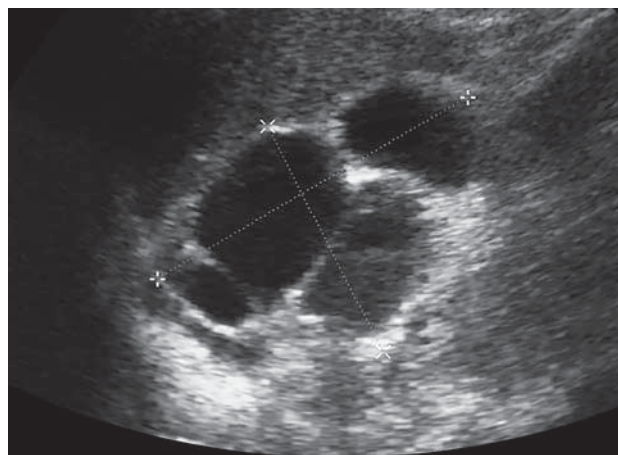


Рис. 6. Пациент Коп., 27 лет. УЗ-изображение гломусной ангиомы забрюшинного пространства в В-режиме (помечена метками).

Fig. 6. Patient Kop., 27 y.o. Retroperitoneal glomus angioma ultrasound image, B-mode (labeled).

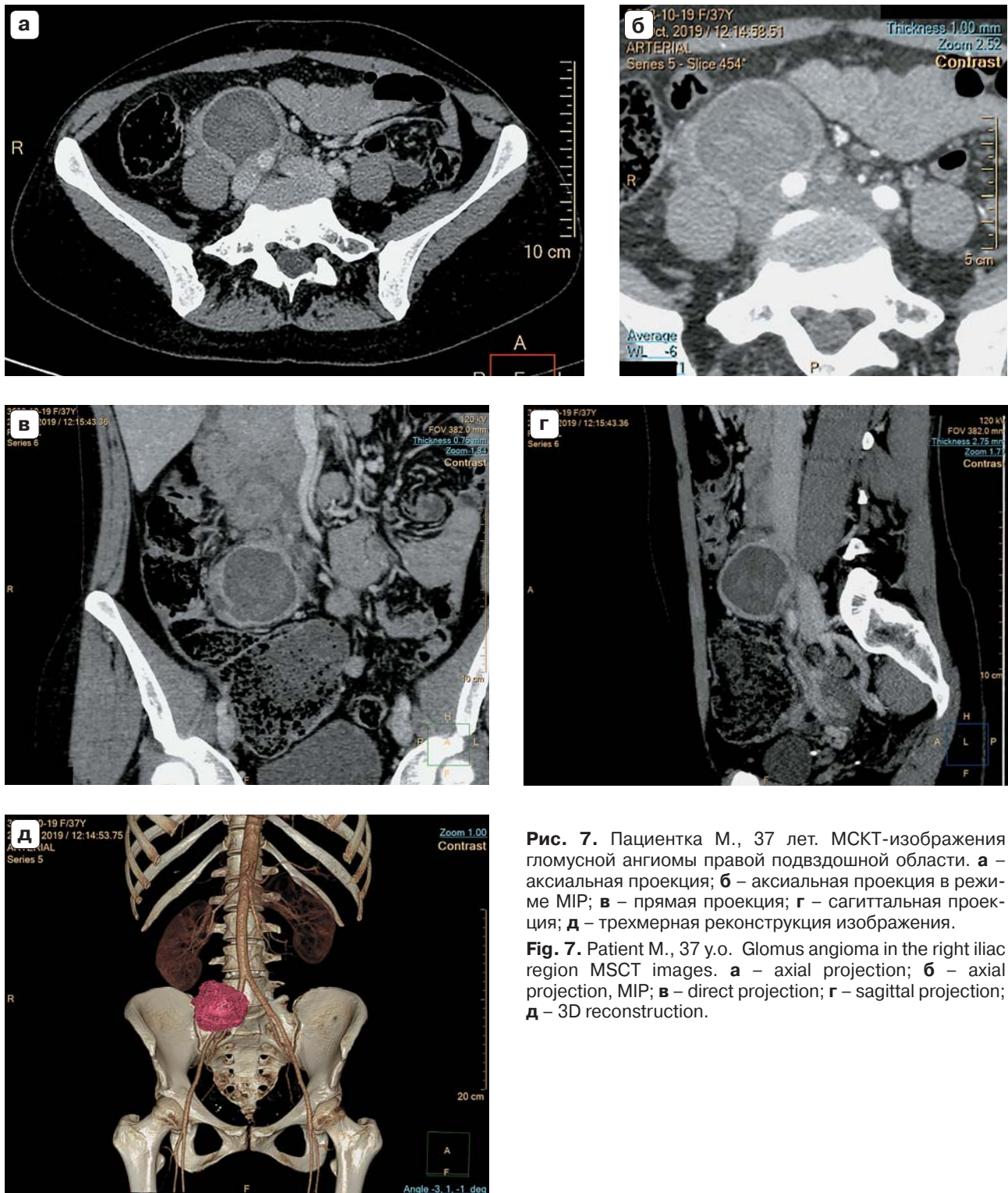
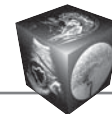


Рис. 7. Пациентка М., 37 лет. МСКТ-изображения гломусной ангиомы правой подвздошной области. **а** – аксиальная проекция; **б** – аксиальная проекция в режиме MIP; **в** – прямая проекция; **г** – сагиттальная проекция; **д** – трехмерная реконструкция изображения.

Fig. 7. Patient M., 37 y.o. Glomus angioma in the right iliac region MSCT images. **a** – axial projection; **б** – axial projection, MIP; **в** – direct projection; **г** – sagittal projection; **д** – 3D reconstruction.



гиперденсными содержимым в нативную фазу (кровь?). *Заключение:* кистозное неорганическое забрюшинное образование.

На рис. 8 и 9 представлены макропрепарат и данные морфологической верификации образования пациентки М., 37 лет.

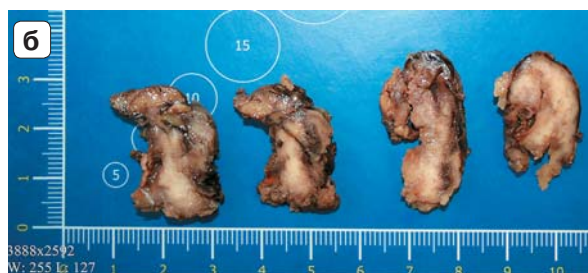


Рис. 8. Пациентка М., 37 лет. Макропрепарат злокачественной забрюшинной гломусной опухоли. **а** – общий вид; **б** – на разрезе, в центральных участках крупного узла имеются очаги кровоизлияния, также немногочисленные кровеносные сосуды с утолщенными, частью гиалинизированными стенками.

Fig. 8. Patient M., 37 y.o. Malignant retroperitoneal glomus tumor gross specimen. **a** – general view; **b** – section, in the central parts of a large node there are foci of hemorrhage, as well as a few blood vessels with thickened, partly hyalinized walls.

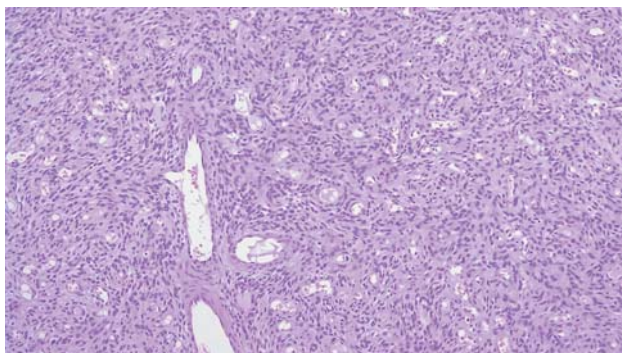


Рис. 9. Пациентка М., 37 лет. Микрофотография: злокачественная забрюшинная гломусная опухоль, гематоксилин и эозин, $\times 200$.

Fig. 9. Patient M., 37 Y.O. Malignant retroperitoneal glomus tumor, hematoxylin and eosin, $\times 200$ magnification.

Гломусная ангиома легкого Мультиспиральная компьютерная томография

В нижней доле правого легкого определяется округлое солидное образование размером до 12,5 мм, имеет ровные четкие контуры, прилежит к сегментарной ветви нижней левой легочной вены (рис. 10). Плотность образования в нативную фазу до 36 ед.Н, при внутривенном контрастировании отмечается повышение плотности к венозной фазе исследования до 65 ед.Н. Прилежащая легочная паренхима не изменена. В структуре артериальные и венозные стволы достоверно не прослеживаются. *Заключение:* КТ-картина периферического солидного образования правого легкого со слабым накоплением контрастного вещества (НЭО?).

На рис. 11 представлены данные морфологической верификации очагового образования легкого. С учетом данных гистологического и иммуногистохимического исследований описанное образование VIII сегмента нижней доли правого легкого следует расценивать как гломусную опухоль (8711/0). ИП Ki-67 – 2%.

При сопоставлении данных дооперационного обследования (УЗИ и МСКТ) и гистологического диагноза были получены данные, представленные в табл. 3.

Следует отметить, что в 1 случае глубоко расположенного образования была верифицирована злокачественная форма (образование было многоузловое крупное и распространенное). Рецидива заболевания не было выявлено ни в одном наблюдении.

Сообщалось, что различные методы диагностической визуализации повышают способность обнаруживать эти опухоли (УЗИ, МСКТ, МРТ). М. Mravic и соавт. ретроспективно проанализировали данные по клинике, диагностике и морфологической верификации 138 гломусных опухолей различной локализации и отметили, что визуализирующие методы исследования при дооперационной диагностике гломусных опухолей использовали нечасто и при этом ни один из методов визуализации дооперационно не диагностировал гломусную опухоль [39]. Специфических методов визуализации, помогающих в постановке диагноза, не существует. УЗИ, несмотря на его низкую специфичность, может помочь в обнаружении поражения [38]. Z. Fan и соавт., изучив 62 образования у 50 пациентов с гломусной ангиомой, описали следующие ультразвуковые характеристики: образования были гипозоногенными у 64,52%, гетерозоногенными – у 30,65%, гиперэхогенными – у 4,84%; имели четкую границу 64,52%, нечеткую –

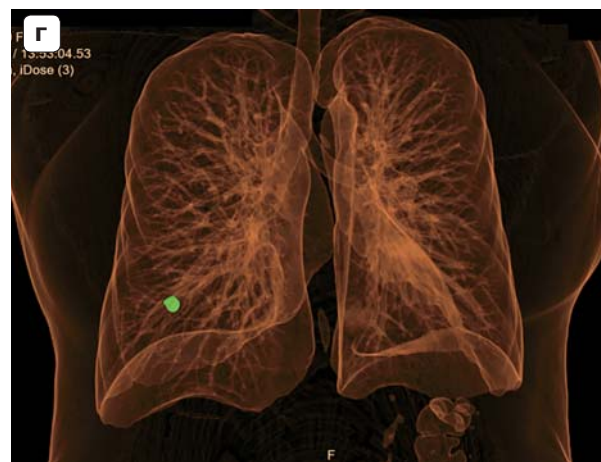
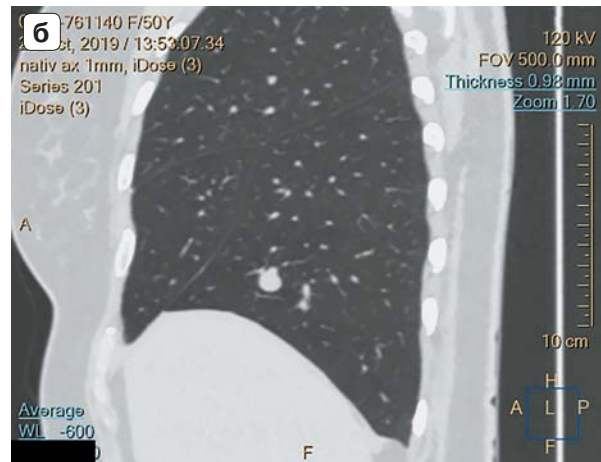
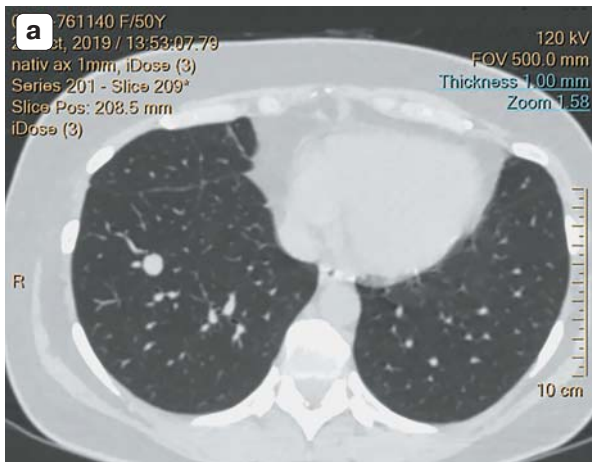


Рис. 10. МСКТ-изображения гломусной ангиомы правого легкого. **а** – аксиальная проекция; **б** – сагиттальная проекция; **в** – фронтальная проекция; **г** – трехмерная реконструкция изображения.

Fig. 10. Glomus angioma of the right lung MSCT images. **a** – axial projection; **б** – sagittal projection; **в** – frontal projection; **г** – 3D reconstruction.

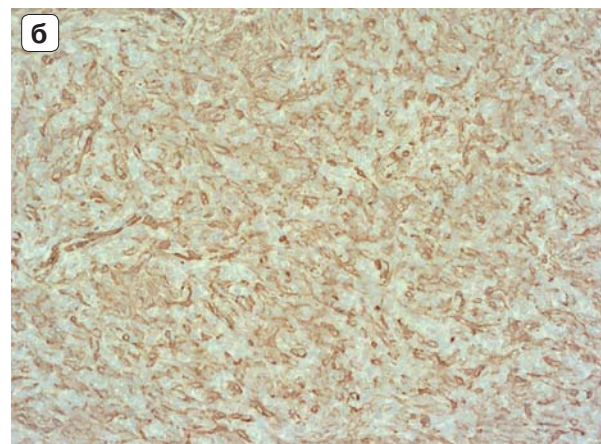
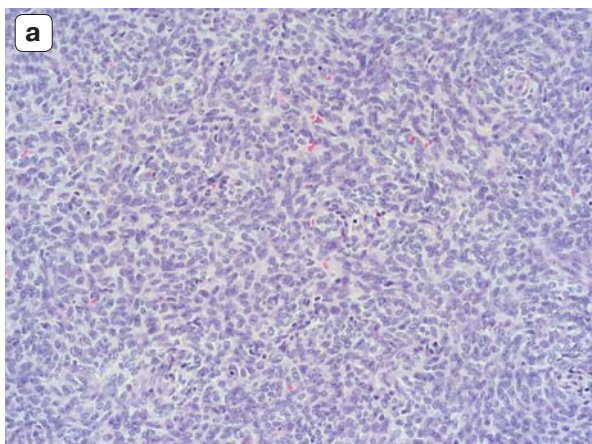


Рис. 11. Микрофотографии гломусной опухоли легкого. **а** – гематоксилин и эозин, $\times 200$; **б** – иммуногистохимия, экспрессия aSMA, $\times 200$.

Fig. 11. Glomus lung tumor. **a** – hematoxylin and eosin, $\times 200$ magnification; **б** – immunohistochemistry, expression of aSMA, $\times 200$ magnification.

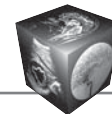


Таблица 3. Сопоставление предоперационных диагнозов по данным УЗИ и МСКТ и гистологического диагноза пациентов с гломусной ангиомой различной локализации

Table 3. Comparison of preoperative diagnoses according to ultrasound and MSCT and histological diagnosis of the patients with glomus angioma of various localization

№ п/п	Пациент Patient	УЗИ Ultrasound	МСКТ MSCT	Гистологический диагноз Histological diagnosis
1	Пациент Коп., 27 лет Patient Kop., 27 years old	Кистозная лимфангиома Cystic lymphangioma	Кистозное неорганическое забрюшинное образование Cystic non-organ retroperitoneal lesion	Гломусная ангиома Glomus angioma
2	Пациентка Ков., 28 лет Patient Kov., 28 years old	Венозно-кавернозная ангиодисплазия задней поверхности средней трети правого бедра Venous-cavernous angiodyspasia of the posterior surface of the middle third of the right thigh	Венозно-кавернозная дисплазия задней поверхности средней трети правого бедра Venous-cavernous dysplasia of the posterior surface of the middle third of the right thigh	Гломусная опухоль, средняя треть правого бедра Glomus tumor of the middle third of the right thigh
3	Пациентка Жиг., 42 года Patient Zhig., 42 years old	Ангиодисплазия правой нижней конечности Angiodysplasia of the right lower limb	Смешанная ангиодисплазия правой нижней конечности, макрофистулезная форма Mixed angiodysplasia of the right lower limb, macrofistulous form	Гломусная опухоль нижней трети голени Glomus tumor of the lower third of the leg
4	Пациентка Жур., 50 лет Patient Zhur., 50 years old	Не выполняли Did not comply	Нейроэндокринная опухоль??? Neuroendocrine tumor???	Гломусная опухоль легкого Glomus tumor of the lung
5	Пациентка М., 37 лет Patient M., 37 years old	Кистозное неорганическое забрюшинное образование Cystic non-organ retroperitoneal lesion	Кистозное неорганическое забрюшинное образование Cystic non-organ retroperitoneal lesion	Злокачественная забрюшинная гломусная опухоль Malignant retroperitoneal glomus tumor
6	Пациентка Л., 23 года Patient L., 23 years old	Ангиоматоз левого предплечья Angiomatosis of the left forearm	Не выполняли Did not comply	Гломусная опухоль мягких тканей верхней конечности Glomus tumor of the soft tissues of the upper limb

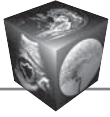
– злокачественная опухоль / malignant tumor.

35,48%. Цветовое доплеровское картирование показало, что активную васкуляризацию имели 38,71% опухолей, слабоваскуляризованы были 35,48%, а 25,81% вообще не имели значимого внутриопухолевого кровотока [69]. Таким образом, такой наиболее часто встречаемый паттерн, как активная васкуляризация гломусных опухолей [70], не является достоверным. В целом, несмотря на такие, казалось бы, очевидные признаки во всех наших наблюдениях, как и по данным литературы, образование было выявлено, но не было верифицировано. Это объясняется неспецифичностью данных признаков.

Рутинная рентгенография помогает преимущественно в случае с поражением фаланг пальцев. Так, J. Van Geertruyden и соавт. сообщают о выявлении костного дефекта при таком поражении в 36% (n = 51) [51].

При МСКТ с контрастным усилением в литературных источниках представлено усиление пери-

ферического ободка в артериальную фазу исследования, сохранение данного усиления с частичным центрипетальным заполнением в венозную фазу [71]. При ретроспективном анализе МСКТ-данных представленных нами клинических наблюдений в забрюшинном пространстве и на уровне правой стопы характер контрастирования и структура образований могли соответствовать невриномам. Т.Ж. Тап и соавт. описали своеобразный паттерн усиления субэпителиальной гломусной опухоли толстой кишки на динамической компьютерной томографии с контрастным усилением. Прерывистое периферическое узловое усиление образования толстой кишки с последующим центростремительным заполнением контрастом напоминало гемангиому печени и не было ранее описано при гломусной или какой-либо другой субэпителиальной опухоли толстой кишки. Авторы считают, что обнаружение этого паттерна усиления опухоли повышает вероятность выявления



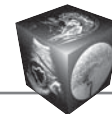
гломусной опухоли толстой кишки до гистологического подтверждения [72]. Таким образом, МСКТ-признаки гломусной ангиомы переменны и недостаточно изучены на настоящее время.

МРТ дает более подробную информацию о поражении и его связи с соседними структурами. При МРТ гломусная ангиома является изоинтенсивной на T1ВИ и гиперинтенсивной на T2ВИ. В образовании не было отмечено жирового компонента. На диффузионно-взвешенном изображении (DWI) ограничения диффузии не выявлено [71].

Данные литературы свидетельствуют о том, что диагноз “гломусная ангиома” дооперационно ставится в клиниках, где накоплен значительный опыт диагностики и лечения данного заболевания. Так, M. Mgravic и соавт. из Калифорнийского университета на настоящий момент имеют второй по числу наблюдений опыт по диагностике и лечению гломусных опухолей “в одних руках”, при этом исследование является самым крупным по объему информации. Авторы ретроспективно проанализировали данные по клинике, диагностике и морфологической верификации гломусных опухолей за 14 лет (1999–2013). Поисковый запрос в компьютеризированной базе Университета включал: “гломусная опухоль”, “гломангиома” и “гломангиомиома”. Во всех выявленных случаях ($n = 194$) гломусная опухоль (или ее варианты) была указана либо как клинический, либо как патоморфологический диагноз. Клинический диагноз был определен в том случае, если клиницист указывал “гломусная опухоль” (или варианты) в любом месте заявки на патологическое исследование. Из 194 пациентов у 99 пациентов гломусная опухоль была диагностирована клинически (51%, 99/194); в 138 случаях гломусная опухоль (или ее варианты) была окончательным патологическим диагнозом (69,3%, 138/194). Авторы показали, что чаще всего гломусная опухоль была указана в патологоанатомической карте как единственный диагноз (56/99 случаев, 56,6%), реже это был дифференциальный ряд, включающий гломусную опухоль (43/99 случаев, 43,4%). Дифференциальный ряд включал в себя 24 морфологические формы. Наиболее часто это были “киста” (16,3%, 7/43 случаев), “липوما” (16,3%, 7/43 случаев) и “ангиома” (14%, 6/43 случаев), также относительно часто (от 3 до 5 наблюдений) встречались фиброма, неврома, меланома, невус, лейомиома, пиогенная гранулема и спираденома, остальные морфологические формы были представлены лишь единичным наблюдением. Необходимо, однако, отметить, что в большом разнообразии также были представлены неопухолевые состояния (20,4%) [39]. Такой

широкий спектр образований в дифференциальном ряду показывает, что, несмотря на то что критерии лучевой диагностики гломусных ангиом представлены в литературе, специфичность предоперационной диагностики крайне низкая.

Следует подчеркнуть, что диагноз основывается на высоком индексе клинической подозрительности. J. Van Geertruyden и соавт. сообщают о том, что в серии наблюдений из 51 гломусной опухоли фаланг пальцев длительность симптомов до лечения в среднем составляла 10 лет. Диагноз зависел от клинического подозрения в 90% [51]. Типичное проявление голубоватого болезненного поражения в любом расположении подногтевой или пальцевой пульпы теперь хорошо распознается клиницистами. В исследовании F. Gandon и соавт. диагноз был установлен до операции в 37 из 47 опухолей пальцев на основании таких клинических особенностей, как последовательное возникновение боли при прикосновении, реже – озноб, иногда в сопровождении вазомоторных явлений. Боль и, следовательно, опухоль можно было точно локализовать кончиком карандаша (признак Лава); эти симптомы устраняются раздуванием жгута проксимально (симптом Хилдрета) [56]. Однако при экстрадигитальном поражении трудности в постановке диагноза часто приводят к задержкам и ошибочному диагнозу [73]. Данные литературы показывают, что внепальцевое распространение вдоль верхней конечности может быть более частым, чем это обычно предполагается. Так, R.F. Ghaly и A.M. Ring представили клинический случай выраженной дизестезии вследствие надключичной гломусной опухоли. Мужчина 62 лет обратился с жалобами на непрекращающиеся в течение 20 лет боли в правом плече и надключичной области, начавшиеся через 6 мес после падения. Боль не уменьшилась после многократной и интенсивной физиотерапии, хиропрактики, местных инъекций стероидов и двух операций на плече. Причина состояния оставалась невыявленной и неясной. При местном хирургическом исследовании было обнаружено подкожное сероватое образование, которое было удалено. При морфологической верификации это оказалась гломусная опухоль. Вслед за резекцией новообразования у больного наступило облегчение боли и уменьшение чувствительности в этой зоне. Через 2 года наблюдения у пациента не было болей [74]. Таким образом, длительно существующие локализованные боли в мягких тканях конечностей при визуальном отсутствии поражения должны быть причиной для тщательного прицельного обследования данной зоны. Однако исследование D.W. Lee и соавт., являющееся одним из



самых крупных по числу наблюдений гломусной опухоли на настоящее время ($n = 152$), показало, что опухоли экстрарапального гломуса не имеют специфических клинических признаков, таких как боль, что приводит к частым ошибочным диагнозам [62]. Клинические проявления глубоко расположенных опухолей практически всегда неспецифичны, при значительных размерах опухоли могут проявлять себя клинически симптомами, связанными с компрессией опухолью окружающих органов и структур [35]. Таким образом, чтобы предотвратить задержку в диагностике или ошибочный диагноз, важно повышать осведомленность об этих опухолях.

Следует отметить, что, несмотря на то что гломусная опухоль имеет достаточно характерную морфологию, в ряде случаев могут возникать трудности с интерпретацией гистологической картины, когда имеются сходные морфологические черты строения с некоторыми другими неоплазиями или опухолеподобными процессами: нейроэндокринной опухолью, гастроинтестинальной стромальной опухолью, венозной ангиодисплазией, эпителиоидной гемангиоэндотелиомой, миоперицитомой и некоторыми другими. В этой ситуации важно заподозрить наличие гломусной опухоли и провести иммуногистохимическое исследование с целью дифференциальной диагностики этих образований. Важную роль в этом играют опыт и квалификация морфолога.

Заключение

Гломусные опухоли обычно возникают в областях, богатых гломусными телами, таких как подногтевые области пальцев или глубокая дерма ладони, запястья и предплечье, однако возможна их локализация и в глубоко расположенных висцеральных местах по всему телу, включая легкие, желудок, поджелудочную железу, печень, желудочно-кишечный и мочеполовой тракты. Важным на протяжении патологического процесса для этих опухолей являются болевые ощущения, сохраняющиеся в течение длительного времени, которое необходимо зачастую для их выявления и возможность рецидива. Учитывая редкость встречаемости гломусной ангиомы и отсутствие публикаций, касающихся гломусных ангиом мягких тканей конечностей и глубоко расположенных опухолей, в отечественной литературе, представленный анализ серии собственных наблюдений позволит повысить информированность клиницистов и диагностов об этих опухолях и тем самым увеличить их выявляемость, что даст возможность проведения хирургического лечения на более раннем этапе.

Участие авторов

Степанова Ю.А. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Готов А.В. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста.

Широков В.С. – участие в научном дизайне, анализ и интерпретация полученных данных.

Коваленко А.А. – анализ и интерпретация полученных данных.

Сапелкин С.В. – сбор и обработка данных.

Ахтанин Е.А. – сбор и обработка данных.

Леднев А.Н. – сбор и обработка данных.

Authors' participation

Stepanova Yu.A. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Glotov A.V. – review of publications, writing text.

Shirokov V.S. – participation in scientific design, analysis and interpretation of the obtained data.

Kovalenko A.A. – analysis and interpretation of the obtained data.

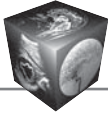
Sapelkin S.V. – collection and analysis of data.

Akhtanin E.A. – collection and analysis of data.

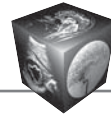
Lednev A.N. – collection and analysis of data.

Список литературы [References]

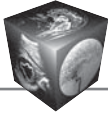
- Takei T.R., Nalebuff E.A. Extradigital glomus tumour. *J. Hand. Surg. Br.* 1995; 20 (3): 409–412. [http://doi.org/10.1016/s0266-7681\(05\)80105-6](http://doi.org/10.1016/s0266-7681(05)80105-6)
- White C.P., Jewer D.D. Atypical presentation of a glomus tumour: A case report. *Can. J. Plast. Surg.* 2006; 14 (4): 237–238. <http://doi.org/10.1177/229255030601400402>
- Wood W. On painful subcutaneous tubercle. *Edinburgh Med. J.* 1812; 8: 283.
- Masson P. Le glomus neuromyoartériel des régions tactiles et ses tumeurs. *Lyon Chir.* 1924; 21: 257–280.
- Gombos Z., Zhang P.J. Glomus tumor. *Arch. Pathol. Lab. Med.* 2008; 132 (9): 1448–1452. <http://doi.org/10.5858/2008-132-1448-GT>
- Fletcher C.D.M. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer. WHO Classification of Tumours of Soft Tissue and Bone. 4. Lyon, France: IARC Press, 2013.
- Akgün R.C., Güler U.Ö., Onay U. A glomus tumor anterior to the patellar tendon: a case report. *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* 2010; 44 (3): 250–253. <http://doi.org/10.3944/AOTT.2010.2174>
- Abela M., Cole A.S., Hill G.A., Carr A.J. Glomus tumor of the scapular region. *J. Shoulder Elbow. Surg.* 2000; 9 (6): 532–533. <http://doi.org/10.1067/mse.2000.108961>
- Negri G., Schulte M., Mohr W. Glomus tumor with diffuse infiltration of the quadriceps muscle: a case report. *Hum. Pathol.* 1997; 28 (6): 750–752. [http://doi.org/10.1016/s0046-8177\(97\)90188-x](http://doi.org/10.1016/s0046-8177(97)90188-x)
- Wang Y., Li T., Lv Z. et al. Glomus tumors around or in the knee: a case report and literature review. *BMC Surg.* 2022; 22 (1): 97. <http://doi.org/10.1186/s12893-022-01545-8>



11. Stacy G.S., Cipriani N.A. Glomus tumours of the knee: a case series. *Clin. Radiol.* 2023; 78 (2): e123–e130. <http://doi.org/10.1016/j.crad.2022.09.125>
12. Stumpf N., Huang S., Pritchett E., Lee J. Glomangioma of the elbow. *Dermatol. Online J.* 2021; 27 (6). <http://doi.org/10.5070/D327654064>
13. Constantinidis J., Kiefer A., Reitnauer K., Iro H. Glomangioma of the nasal cavity and paranasal sinuses. *Rhinology.* 2000; 38 (3): 136–139.
14. Panickar N., Tara V.S. Rare and Atypical Presentation of Glomus Tumor in the Eyelid. *Korean J. Ophthalmol.* 2021; 35 (2): 171–172. <http://doi.org/10.3341/kjo.2020.0113>
15. Jing H., Weiwen C., Meihong C., Xiaohong G. Glomus tumour of the iris: A case report. *Eur. J. Ophthalmol.* 2022; 32 (1): NP203–NP207. <http://doi.org/10.1177/1120672120959030>
16. Bauerová L., Gabris V., Honsová E., Povýsil C. Glomus tumor of the stomach: a case report and review of the literature. *Cesk Patol.* 2011; 47 (3): 128–129.
17. Deng M., Luo R., Huang J. et al. Clinicopathologic features of gastric glomus tumor: A report of 15 cases and literature review. *Pathol. Oncol. Res.* 2023; 28: 1610824. <http://doi.org/10.3389/pore.2022.1610824>
18. Amoueian S., Meibodi N.T., Tavooosi H. et al. Primary glomus tumor of the liver. *Arch. Iran Med.* 2011; 14(4): 294–295.
19. Al-Ahmadie H.A., Yilmaz A., Olgac S., Reuter V.E. Glomus tumor of the kidney: a report of 3 cases involving renal parenchyma and review of the literature. *Am. J. Surg. Pathol.* 2007; 31 (4): 585–591. <http://doi.org/10.1097/01.pas.0000213373.64053.41>
20. Hu Y., He X., Zhang Q. et al. Primary Adrenal Glomus Tumor: The First Case Report. *Urol. Int.* 2022; 106 (3): 317–320. <http://doi.org/10.1159/000519482>
21. Shah T.S., Paton A. A catecholamine secreting retroperitoneal glomangioma. A case report. *East Afr. Med. J.* 1973; 50 (10): 586–593.
22. Dalfior D., Parisi A., Cannizzaro C. et al. Pulmonary glomus tumor. *Int. J. Surg. Pathol.* 2008; 16 (1): 81–84. <http://doi.org/10.1177/1066896907304520>
23. Wang S., Ding C., Tu J. Malignant glomus tumor of the lung with multiple metastasis: a rare case report. *Wld J. Surg. Oncol.* 2015; 13: 22. <http://doi.org/10.1186/s12957-014-0423-3>
24. Menaissy Y.M., Gal A.A., Mansour K.A. Glomus tumor of the trachea. *Ann. Thorac. Surg.* 2000; 70 (1): 295–297. [http://doi.org/10.1016/s0003-4975\(00\)01285-6](http://doi.org/10.1016/s0003-4975(00)01285-6)
25. Péricart S., Chiariello G.A., Massiere J. et al. Tumeur glomique intracardiaque: une tumeur péricytaire (périsvasculaire) de localisation inhabituelle [Cardiac glomus tumor: An unusual localization of pericytic (perivascular) tumor]. *Ann. Pathol.* 2021; 41 (6): 561–566. <http://doi.org/10.1016/j.annpat.2021.06.007> (In French)
26. Yalcin S., Ergul E., Ucar A.E. et al. Glomus tumor of the breast: first report. *Langenbecks Arch. Surg.* 2009; 394 (2): 399–400. <http://doi.org/10.1007/s00423-008-0337-z>
27. Barajas D. Glomus tumor of the male breast. *Breast J.* 2020; 26 (2): 297–298. <http://doi.org/10.1111/tbj.13549>
28. Tullie S.T.E., Quraishi M.K., Karawita T., Anjarwalla S. Rare presentation of a testicular glomus tumour. *BMJ Case Rep.* 2019; 12 (11): e230935. <http://doi.org/10.1136/bcr-2019-230935>
29. Tsang J.C.H., Ng C.S., Fung C.F. et al. Glomus Tumor of Sella Turcica With Synaptophysin Expression Mimicking Pituitary Adenoma. *Int. J. Surg. Pathol.* 2020; 28 (4): 401–405. <http://doi.org/10.1177/1066896919900550>
30. Michal M. Glomus tumour with intravascular spread. *Cesk. Patol.* 1993; 29 (4): 144–146.
31. Acebo E., Val-Bernal J.F., Arce F. Giant intravenous glomus tumor. *J. Cutan. Pathol.* 1997; 24 (6): 384–389. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0560.1997.tb00808.x>
32. Beaton L.E., Davis L. Glomus tumor. *Q. Bull. Northwest. Univ. Med. Sch.* 1941; 15: 245–254.
33. Takei T.R., Nalebuff E.A. Extradigital glomus tumour. *J. Hand. Surg. Br.* 1995; 20 (3): 409–412. [http://doi.org/10.1016/s0266-7681\(05\)80105-6](http://doi.org/10.1016/s0266-7681(05)80105-6)
34. Chiang E.R., Chen T.H. Multiple glomus tumors in gastrocnemius muscle: a case report. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2008; 128 (1): 29–31. <http://doi.org/10.1007/s00402-007-0377-9>
35. Folpe A.L., Fanburg-Smith J.C., Miettinen M., Weiss S.W. Atypical and malignant glomus tumors: analysis of 52 cases, with a proposal for the reclassification of glomus tumors. *Am. J. Surg. Pathol.* 2001; 25 (1): 1–12. <http://doi.org/10.1097/0000478-200101000-00001>
36. Cabral R., Santiago F., Tellechea O. Multiple glomus tumors and segmental neurofibromatosis: there are no coincidences. *Dermatol. Online J.* 2011; 17 (3): 4.
37. Blume-Peytavi U., Adler Y.D., Geilen C.C. et al. Multiple familial cutaneous glomangioma: a pedigree of 4 generations and critical analysis of histologic and genetic differences of glomus tumors. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2000; 42: 633–639.
38. Enzinger F.M., Weiss S.W. (eds).: Perivascular tumors. In: *Soft Tissue Tumors*. 4th ed. Mosby, St.Louis, 2001: 985–1001.
39. Mravic M., LaChaud G., Nguyen A. et al. Clinical and histopathological diagnosis of glomus tumor: an institutional experience of 138 cases. *Int. J. Surg. Pathol.* 2015; 23 (3): 181–188. <http://doi.org/10.1177/1066896914567330>
40. Riddell D.H., Martin R.S. Glomus tumor of unusual size; case report. *Ann. Surg.* 1951; 133 (3): 401–403. <http://doi.org/10.1097/0000658-195103000-00015>
41. Rao A.G., Indira D., Kamal J. Extra digital glomangioma. *Indian J. Dermatol.* 2010; 55 (4): 397–398. <http://doi.org/10.4103/0019-5154.74570>
42. Fletcher C.D.M. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer. WHO Classification of Tumours of Soft Tissue and Bone. 4. Lyon, France: IARC Press, 2013.
43. Porter P.L., Bigler S.A., McNutt M., Gown A.M. The immunophenotype of hemangiopericytomas and glomus tumors, with special reference to muscle protein expression: an immunohistochemical study and review of the literature. *Mod. Pathol.* 1991; 4 (1): 46–52.
44. Watanabe K., Kusakabe T., Hoshi N. et al. h-Caldesmon in leiomyosarcoma and tumors with smooth muscle cell-like differentiation: its specific expression in the smooth muscle cell tumor. *Hum. Pathol.* 1999; 30 (4): 392–396. [http://doi.org/10.1016/s0046-8177\(99\)90113-2](http://doi.org/10.1016/s0046-8177(99)90113-2)
45. Chen J.H., Lin L., Liu K.L. et al. Malignant glomus tumor of the intestinal ileum with multiorgan metastases: A case report and review of literature. *Wld J. Gastroenterol.* 2020; 26 (7): 770–776. <http://doi.org/10.3748/wjg.v26.i7.770>



46. Xie Q., Xia Y., Zhang J., Zhu J.M. A glomus tumor with intravascular spread and multiple metastases: A case report. *Asian J. Surg.* 2023; 46 (2): 1099–1100. <http://doi.org/10.1016/j.asjsur.2022.07.134>
47. Guvendir I., Zemheri I.E., Altundal K. et al. Ossified uncertain malignant potential gastric glomus tumor with tumor thrombus. *Indian J. Pathol. Microbiol.* 2021; 64 (2): 369–372. http://doi.org/10.4103/IJPM.IJPM_374_20
48. Cooke S.A. Misleading features in the clinical diagnosis of the peripheral glomus tumour. *Br. J. Surg.* 1971; 58 (8): 602–606. <http://doi.org/10.1002/bjs.1800580817>
49. Varian J.P., Cleak D.K. Glomus tumours in the hand. *Hand.* 1980; 12 (3): 293–299. [http://doi.org/10.1016/s0072-968x\(80\)80056-8](http://doi.org/10.1016/s0072-968x(80)80056-8)
50. Lopes T.D., Rotman M.B., Levy B.K., Gilula L.A. A 63-year-old woman with right small finger pain. *Am. J. Orthop. (Belle Mead NJ).* 1997; 26 (2): 169–171.
51. Van Geertruyden J., Lorea P., Goldschmidt D. et al. Glomus tumours of the hand. A retrospective study of 51 cases. *J. Hand Surg. Br.* 1996; 21 (2): 257–260.
52. Vasisht B., Watson H.K., Joseph E., Lionelli G.T. Digital glomus tumors: a 29-year experience with a lateral subperiosteal approach. *Plast. Reconstr. Surg.* 2004; 114 (6): 1486–1489. <http://doi.org/10.1097/01.prs.0000138752.36175.d5>
53. Carroll R.E., Berman A.T. Glomus tumors of the hand: review of the literature and report on twenty-eight cases. *J. Bone Jt Surg. Am.* 1972; 54 (4): 691–703.
54. Rettig A.C., Strickland J.W. Glomus tumor of the digits. *J. Hand Surg. Am.* 1977; 2 (4): 261–265. [http://doi.org/10.1016/s0363-5023\(77\)80121-4](http://doi.org/10.1016/s0363-5023(77)80121-4)
55. Mansat M., Bonneville P., Gay R., Durrux R. Tumeurs glomiques de la main: A propos de quatorze cas. [Glomus tumors of the hand: Presentation of fourteen cases]. *Ann. Chir. de la Main.* 1985; 4 (1): 43–50. [http://doi.org/10.1016/S0753-9053\(85\)80081-8](http://doi.org/10.1016/S0753-9053(85)80081-8)
56. Gandon F., Legallard P., Brueton R. et al. Forty-eight glomus tumours of the hand. Retrospective study and four-year follow-up. *Ann. Chir. Main. Memb. Super.* 1992; 11 (5): 401–405. [http://doi.org/10.1016/s0753-9053\(05\)80277-7](http://doi.org/10.1016/s0753-9053(05)80277-7)
57. Arkwright S., Bachar M., Vilde F. Tumeurs glomiques. Etude clinique, histologique et immunohistochemique. A propos de vingt-neuf cas [Glomus tumors. Clinical, histological and immunohistochemical study. Apropos of 29 cases]. *Arch. Anat. Cytol. Pathol.* 1996; 44 (4): 160–165.
58. Kim S.-H., Suh H.-S., Choi J.-H. et al. Glomus Tumor: a Clinical and Histopathologic Analysis of 17 Cases. *Ann. Dermatol.* 2000; 12 (2): 95. <http://doi.org/10.5021/ad.2000.12.2.95>
59. Assmus H., Dombert T. Zur Lokalisation und operativen Behandlung der Glomustumoren der Extremitäten. Bericht über 36 Fälle [Glomus tumours of the extremities: localisation and operative treatment in 36 cases]. *Handchir. Mikrochir. Plast. Chir.* 2002; 34 (2): 103–107. German. <http://doi.org/10.1055/s-2002-32308>
60. Schiefer T.K., Parker W.L., Anakwenze O.A. et al. Extradigital glomus tumors: a 20-year experience. *Mayo Clin. Proc.* 2006; 81 (10): 1337–1344. <http://doi.org/10.4065/81.10.1337>
61. Frikh R., Alioua Z., Harket A. et al. Tumeurs glomiques: étude anatomoclinique de 14 cas avec revue de littérature [Glomus tumors: anatomoclinical study of 14 cases with literature review]. *Ann. Chir. Plast. Esthet.* 2009; 54 (1): 51–56. <http://doi.org/10.1016/j.anplas.2008.05.001> (In French)
62. Lee D.W., Yang J.H., Chang S. et al. Clinical and pathological characteristics of extradigital and digital glomus tumours: a retrospective comparative study. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2011; 25 (12): 1392–1397. <http://doi.org/10.1111/j.1468-3083.2011.03979.x>
63. Fazwi R., Chandran P.A., Ahmad T.S. Glomus tumour: a retrospective review of 15 years experience in a single institution. *Malays. Orthop. J.* 2011; 5 (3): 8–12. <http://doi.org/10.5704/MOJ.1111.007>
64. Kumar S., Tiwary S.K., More R. et al. Digital glomus tumor: An experience of 57 cases over 20 years. *J. Family Med. Prim. Care.* 2020; 9 (7): 3514–3517. http://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_446_20
65. Mashalkar N.S., Shetty N., Ellur S.R. Role of High Magnification Using Operative Microscope in Surgical Clearance of Glomus Tumor in Distal Phalanx: An Experience of 13 Cases. *J. Cutan. Aesthet. Surg.* 2022; 15 (3): 226–229. http://doi.org/10.4103/JCAS.JCAS_161_21
66. Deng M., Luo R., Huang J. et al. Clinicopathologic features of gastric glomus tumor: A report of 15 cases and literature review. *Pathol. Oncol. Res.* 2023; 28: 1610824. <http://doi.org/10.3389/pore.2022.1610824>
67. Аникин И.А., Комаров М.В. Гломусная опухоль (параганглиома) уха. Современное состояние проблемы. Литературный обзор. *Российская оториноларингология.* 2010; 4 (47): 100–114. Anikin I.A., Komarov M.V. Glomus tumor (paraganglioma) of the ear. The current state of the problem. Literature review. *Russian Otorhinolaryngology.* 2010; 4 (47): 100–114. (In Russian)
68. Свистушкин В.М., Шевчик Е.А., Мухамедов И.Т., Пшонкина Д.М. Опыт хирургического лечения гломусных опухолей. *Вестник оториноларингологии.* 2017; 1: 15–19. <http://doi.org/10.17116/otorino201782115-19> Svistushkin V.M., Shevchik E.A., Mukhamedov I.T., Pshonkina D.M. Experience in surgical treatment of glomus tumors. *Bulletin of Otrinaryngology.* 2017; 1: 15–19. <http://doi.org/10.17116/otorino201782115-19> (In Russian)
69. Fan Z., Wu G., Ji B. et al. Color Doppler ultrasound morphology of glomus tumors of the extremities. *SpringerPlus.* 2016; 5: 1319. <http://doi.org/10.1186/s40064-016-2883-0>
70. Glazebrook K.N., Laundre B.J., Schiefer T.K., Inwards C.Y. Imaging features of glomus tumors. *Skeletal Radiol.* 2011; 40 (7): 855–862. <http://doi.org/10.1007/s00256-010-1067-1>
71. Lazor J.W., Guzzo T.J., Bing Z. et al. Glomus Tumor of the Kidney: A Case Report with CT, MRI, and Histopathological Findings. *Open J. Urol.* 2016; 6 (5): 80–85. <http://doi.org/10.4236/oju.2016.65015>
72. Tan T.J., Hayes M.M., Radigan J.P., Munk P.L. Glomus tumour of the colon: dynamic contrast-enhanced CT findings and review of the literature. *Clin. Imaging.* 2015; 39 (4): 714–716. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2015.02.015>
73. Leger M., Patel U., Mandal R. et al. Glomangioma. *Dermatol. Online. J.* 2010; 16 (11): 11.
74. Ghaly R.F., Ring A.M. Supraclavicular glomus tumor, 20 year history of undiagnosed shoulder pain: a case report. *Pain.* 1999; 83 (2): 379–382. [http://doi.org/10.1016/s0304-3959\(99\)00094-9](http://doi.org/10.1016/s0304-3959(99)00094-9)



Для корреспонденции*: Степанова Юлия Александровна – тел. +7 (916) 654-84-85. E-mail: stepanovaua@mail.ru

Степанова Юлия Александровна – доктор мед. наук, профессор, Ученый секретарь ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

Глотов Андрей Вячеславович – врач-патологоанатом патологоанатомического отделения ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6904-9318>

Широков Вадим Сергеевич – врач-рентгенолог отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7683-3672>

Коваленко Анастасия Андреевна – ординатор по специальности “лучевая диагностика” ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8276-3594>

Сапелкин Сергей Викторович – доктор мед. наук, главный научный сотрудник отделения сосудистой хирургии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3610-8382>

Ахтанин Евгений Александрович – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения абдоминальной хирургии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1543-6419>

Леднев Алексей Николаевич – канд. мед. наук, младший научный сотрудник отделения торакальной хирургии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3039-1183>

Contact*: Yulia A. Stepanova – phone: +7 (916) 654-84-85. E-mail: stepanovaua@mail.ru

Yulia A. Stepanova – Doc. of Sci. (Med.), Professor, Academic Secretary, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

Andrey V. Glotov – pathologist of Pathoanatomical Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6904-9318>

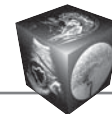
Vadim S. Shirokov – Radiologist, Department of Radiology and Magnetic Resonance Research, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7683-3672>

Anastasia A. Kovalenko – resident in the specialty “radiology”, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8276-3594>

Sergey V. Sapelkin – Doc. of Sci. (Med.), Chief Researcher of the Vascular Surgery Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3610-8382>

Evgeniy A. Akhtanin – Cand. of Sci. (Med.), Researcher of Abdominal Surgery Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1543-6419>

Aleksey N. Lednev – Cand. of Sci. (Med.), Junior Researcher of Thoracic Surgery Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3039-1183>



Малый таз | Small pelvis

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1341>

Лучевая диагностика рака шейки матки. Консенсус экспертов

© Рубцова Н.А.¹, Березовская Т.П.², Быченко В.Г.^{3*}, Павловская Е.А.⁴,
Солопова А.Е.³, Агабабян Т.А.², Ходжибекова М.М.¹, Рыжкова Д.В.⁶,
Чекалова М.А.⁵, Мешкова И.Е.⁴, Гажонова В.Е.¹⁰, Гус А.И.³, Багненко С.С.⁴,
Медведева Б.М.⁷, Ашрафян Л.А.³, Новикова Е.Г.¹, Берлев И.В.⁴,
Демидова Л.В.¹, Крикунова Л.И.², Коломиец Л.А.⁹

- ¹ МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, 3, Российская Федерация
- ² МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 249031 Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10, Российская Федерация
- ³ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Академика Опарина, д. 4, Российская Федерация
- ⁴ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация
- ⁵ Академия постдипломного образования ФНКЦ Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России); 125310 Москва, Волоколамское шоссе, 30, Российская Федерация
- ⁶ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова”; 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация
- ⁷ НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России; 115478 Москва, Каширское шоссе, д. 23, Российская Федерация
- ⁸ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России; 115478 Москва, Каширское шоссе, д. 23, Российская Федерация
- ⁹ НИИ онкологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН; 634009 Томск, Кооперативный пер., 5, Российская Федерация
- ¹⁰ ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко д.19, с.1А

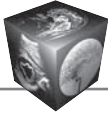
Представленная статья отражает современный взгляд на возможности диагностического алгоритма рака шейки матки (РШМ) – одного из наиболее часто встречаемых злокачественных новообразований женской репродуктивной системы. Алгоритм изложен в виде консенсуса ведущих специалистов по лучевой диагностике и онкогинекологов, занимающихся проблемами диагностики и лечения РШМ. В статье изложены основные тренды по использованию методов лучевой диагностики, их роли и возможностях для стадирования РШМ, планированию и оценке эффективности проводимой терапии, динамическому наблюдению за пациентками, прошедшими специализированное противоопухолевое лечение.

Ключевые слова: рак шейки матки, МРТ, УЗИ, ПЭТ/КТ, ¹⁸F-фтордезоксиглюкоза

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Рубцова Н.А., Березовская Т.П., Быченко В.Г., Павловская Е.А., Солопова А.Е., Агабабян Т.А., Ходжибекова М.М., Рыжкова Д.В., Чекалова М.А., Мешкова И.Е., Гажонова В.Е., Гус А.И., Багненко С.С., Медведева Б.М., Ашрафян Л.А., Новикова Е.Г., Берлев И.В., Демидова Л.В., Крикунова Л.И., Коломиец Л.А. Лучевая диагностика рака шейки матки. Консенсус экспертов. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 141–156. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1341>

Поступила в редакцию: 02.03.2023. **Принята к печати:** 10.03.2023. **Опубликована online:** 01.12.2023.



Imaging of cervical cancer. Consensus of experts

© **Natalia A. Rubtsova¹, Tatiana P. Berezovskaia², Vladimir G. Bychenko^{3*}, Evgenya A. Pavlovskaya⁴, Alina E. Solopova³, Tatev A. Agababyan², Malika M. Khodzhibekova¹, Daria V. Ryzhkova⁶, Marina A. Chekalova⁵, Irina E. Meshkova⁴, Veronica E. Gazhonova¹⁰, Alexandr I. Gus³, Sergey S. Bagnenko⁴, Bela M. Medvedeva⁷, Levon A. Ashrafyan³, Elena G. Novikova¹, Igor V. Berlev⁴, Ludmila V. Demidova¹, Lyudmola I. Krikunova², Larisa A. Kolomiets⁹**

¹ P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky proezd, Moscow 125284, Russian Federation

² A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (A. Tsyb MRRC); 10, Zhukov str., Obninsk 249031, Kaluga region, Russian Federation

³ Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Akademika Oparina str., Moscow 117997, Russian Federation

⁴ N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68, Leningradsкая str., Pesochny, Saint-Petersburg 197758, Russian Federation

⁵ Federal Scientific and Clinical Center for Special Types of Medical Care and Medical Technologies the Federal Medical Biological Agency (FMBA of Russia); 30, Volokolamskoye shosse, Moscow 125310, Russian Federation

⁶ Almazov National Medical Research Centre; 2, Akkuratova str., Saint-Petersburg 197341, Russian Federation

⁷ Research Institute of Clinical and Experimental Radiology, N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 23, Kashirskoe shosse, Moscow 115478, Russian Federation

⁸ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 23, Kashirskoe shosse, Moscow 115478, Russian Federation

⁹ Research Institute of Oncology, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences; 5, Kooperativny per., Tomsk 634009, Russian Federation

¹⁰ Central State Medical Academy Administration of the President of the Russian Federation; 19, bld. 1A, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

The article offers the latest view on possibilities of diagnostic algorithm to identify cervical cancer (CC), one of the most incidental tumor of the woman's reproductive system. The algorithm is described as a consensus of leading expert in imaging diagnostics, as well as oncogynecologists, investigating diagnostic challenges and cervical cancer therapies. The article sets forth the principal trends in using imaging methods, their role and possibilities for staging CC, planning and assessing the efficacy of applied therapy, on-going surveillance over patients, who have undergone specialized anti-cancer treatment.

Keywords: cervical cancer, imaging, MRI, US, FGD PET/CT

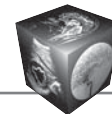
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Rubtsova N.A., Berezovskaya T.P., Bychenko V.G., Pavlovskaya E.A., Solopova A.E., Agababyan T.A., Khodzhibekova M.M., Ryzhkova D.V., Chekalova M.A., Meshkova I.E., Gazhonova V.E., Gus A.I., Bagnenko S.S., Medvedeva B.M., Ashrafyan L.A., Novikova E.G., Berlev I.V., Demidova L.V., Krikunova L.I., Kolomiets L.A. Imaging of cervical cancer. Consensus of experts. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 141–156. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1341>

Received: 02.03.2023.

Accepted for publication: 10.03.2023.

Published online: 01.12.2023.



Введение

Рак шейки матки (РШМ) – одно из наиболее часто встречаемых злокачественных новообразований (ЗНО) женской репродуктивной системы. На протяжении последних 10 лет РШМ стабильно занимает высокое 5-е ранговое место в структуре онкологической заболеваемости женщин. По сравнению с другими ЗНО женской половой сферы (тела матки, яичника) пик заболеваемости РШМ определяется в более молодом возрасте, при этом за последние 20 лет показатель смертности женщин от РШМ в возрасте 35–59 лет вырос на 85,2%.

Среди ЗНО внутренних органов женской репродуктивной системы РШМ является единственной локализацией, для которой клиническая стадия определяется размером опухоли. Этот факт определяет важность использования в алгоритме обследования методов визуализации.

В опубликованном отчете о пересмотре системы стадирования FIGO 2019 устранены ранее известные ограничения клинического стадирования и признана ценность визуализации и гистопатологии для оптимальной стратификации риска и планирования лечения [1–6].

В настоящее время определение стадии производится на основании классификации FIGO (2021) и TNM (9-е издание UICC, 2021) [7, 8]. Для указания стадии РШМ применяются номенклатура TNM. Буквенной аббревиатурой перед TNM обозначаются данные, на основании которых был определен статус первичной опухоли (Т), лимфатических узлов (N) и отдаленных метастазов (M): клиническое стадирование – cTNM, лучевые методы обследования – iTNM, послеоперационное морфологическое исследование – pTNM.

Оценка первичной опухоли

При РШМ ультразвуковое исследование (УЗИ) является наиболее доступным методом визуализации, в большинстве случаев позволяющим оценить распространенность опухолевого процесса в полости малого таза, брюшной полости, забрюшинном пространстве, а также определить статус регионарных и отдаленных лимфатических узлов [9, 10]. УЗИ должно проводиться специалистом, имеющим опыт работы в онкогинекологии. Исследование проводится по стандартной методике полипроекционно с использованием трансабдоминальных и полостных датчиков с переменной частотой. Обязательно при исследовании области малого таза следует использовать трансабдоминальный и трансвагинальный доступ, при невозможности проведения трансвагинального

УЗИ из-за угрозы кровотечения следует выполнять УЗИ с использованием трансректального и трансабдоминального доступов. Применение методик ЦДК и ЭД, эластографии и контрастно-усиленного УЗИ позволяет повысить информативность метода в оценке распространенности первичной опухоли.

Согласно рекомендациям российских и международных профессиональных сообществ (AOP, RUSSCO, ESGO, ESMO, ESTRO, ESR, ASTRO, ACR), МРТ является обязательным компонентом диагностического алгоритма для оценки местной распространенности РШМ при первичном стадировании, планировании и оценке эффективности химиолучевой терапии (ХЛТ) [11–17].

Роль компьютерной томографии (КТ) для оценки органов таза при РШМ ограничена в связи с низкой тканевой визуализацией, обусловленной физической основой метода. Для оценки местной распространенности опухолевого процесса КТ при РШМ может назначаться в случаях невозможности выполнения МРТ при стадиях T1b3 и более [18]. В остальных случаях КТ у больных инвазивным РШМ назначается при наличии факторов неблагоприятного прогноза для оценки статуса лимфатических узлов и диагностики отдаленных метастазов, в случаях невозможности проведения позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с КТ (ПЭТ/КТ).

ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ не применяется для стадирования РШМ по Т-критерию из-за ограниченного пространственного разрешения метода. Однако ПЭТ/КТ рекомендуется пациенткам с размером опухоли более 4 см (T1b3) в связи с высоким риском метастатического поражения лимфатических узлов и наличия отдаленных метастазов [19, 20]. Согласно данным ряда исследований, ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в сравнении с МРТ и КТ является наиболее информативным методом диагностики с показателями чувствительности и специфичности 72 и 96% соответственно [21–23]. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ рутинно не используется для оценки поражения лимфатических узлов на ранних стадиях РШМ. В этой группе пациенток поражение лимфатических узлов встречается редко и проявляется в виде микрометастазов, которые невозможно визуализировать в связи с ограниченным пространственным разрешением метода.

Рекомендации по выбору методов лучевой диагностики для оценки распространенности (стадирования) РШМ в зависимости от уровня лучевой нагрузки и диагностической эффективности метода представлены в табл. 1.



Таблица 1. Рекомендации по выбору методов лучевой диагностики для стадирования РШМ

Table 1. Recommendations on choice of diagnostic methods for CC staging

Лучевые методы исследования Diagnostic method	Рекомендации по использованию Recommendations for use	Комментарии Comments	Уровень лучевой нагрузки Radiation level
МРТ таза MRI of the pelvis	ОПТИМАЛЬНО OPTIMAL	Для оценки распространенности первичной опухоли и статуса регионарных лимфатических узлов For assess the extent of the primary tumor and the status of regional lymph nodes	0
УЗИ таза (комплексное трансабдоминальное и трансвагинальное исследование) US of the pelvis (complex of transabdominal and transvaginal examination)	ДОПУСТИМО ACCEPTABLE	При невозможности выполнить МРТ таза If it is impossible to perform MRI of the pelvis	0
ФДГ-ПЭТ/КТ FDG-PET-CT	ОПТИМАЛЬНО OPTIMAL	Для оценки статуса лимфатических узлов и диагностики отдаленных метастазов при стадии > IB3 To assess the status of lymph nodes and diagnose distant metastases at stage > IB3	4
КТ брюшной полости/таза с внутривенным контрастированием CT of the abdomen/pelvis with CE	ОПТИМАЛЬНО OPTIMAL	Для оценки статуса лимфатических узлов и диагностики отдаленных метастазов при стадии > IB3 To assess the status of lymph nodes and diagnose distant metastases at stage > IB3	3
КТ брюшной полости/таза без внутривенного контрастирования CT of the abdomen/pelvis without CE	НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ NOT RECOMMENDED	Малоинформативно при оценке паренхиматозных органов Not enough for assessing parenchymal organs	3
МРТ брюшной полости без и с внутривенным контрастированием MRI of the abdomen with and without CE	ДОПУСТИМО ACCEPTABLE	При невозможности выполнить КТ с внутривенным контрастным усилением из-за аллергии на рентгеноконтрастные препараты If it is impossible to perform CT with IV CE due to an allergy to contrast agents	0
УЗИ брюшной полости US of the abdomen	ДОПУСТИМО ACCEPTABLE	При невозможности выполнить КТ с в/в контрастным усилением из-за аллергии на рентгеноконтрастные препараты If it is impossible to perform CT with IV CE due to an allergy to contrast agents	0
Рентгенография грудной клетки X-RAY of the chest	ДОПУСТИМО ACCEPTABLE	При невозможности выполнить КТ грудной полости Isolated purpose CT of the chest when it is impossible to perform CT of the abdomen with CE	1
КТ грудной полости без контрастного усиления CT of the chest without CE	ДОПУСТИМО ACCEPTABLE	Изолированное назначение КТ грудной полости при невозможности выполнения КТ брюшной полости с контрастным усилением Isolated purpose CT of the chest when it is impossible to perform CT of the abdomen with CE	2

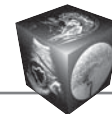


Таблица 1 (окончание).

Table 1 (end).

Лучевые методы исследования Diagnostic method	Рекомендации по использованию Recommendations for use	Комментарии Comments	Уровень лучевой нагрузки Radiation level
Внутривенная урография Excretory urography	НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ NOT RECOMMENDED	Малоинформативна в оценке состояния мочеточника, так как не позволяет дифференцировать причину блока и оценивать окружающие ткани It is not enough in assessing the condition of the ureter, because does not allow to differentiate the cause of the block and evaluate the surrounding tissues	3
Ректография Rectography	НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ NOT RECOMMENDED	Малоинформативна в оценке состояния прямой кишки. Позволяет выявить деформацию и стеноз прямой кишки, но не дает возможности оценивать стенку и взаимоотношение с окружающими тканями и органами Not enough in assessing the condition of the rectum. Allows you to identify deformation and stenosis of the rectum, but does not make it possible to evaluate the wall and the relationship with surrounding tissues and organs	3
Сцинтиграфия скелета Scintigraphy/SPECT	РУТИННО НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ NOT RECOMMENDED IN ROUTINE PRACTICE	Выполняется при стадии > II или при наличии симптомов метастазов в кости Performed for stage > II or if there are symptoms of bone metastases	3

Взрослые: 0 – отсутствие лучевой нагрузки; 1 – < 0,1 мЗв; 2 – 0,1–1 мЗв; 3 – 1–10 мЗв; 4 – 10–30 мЗв; 5 – 30–100 мЗв
Adults: 0 – no radiation exposure; 1 – < 0,1 mSv; 2 – 0,1–1 mSv; 3 – 1–10 mSv; 4 – 10–30 mSv; 5 – 30–100 mSv

Магнитно-резонансная томография при раке шейки матки

1. Показания к МРТ

- Оценка местной распространенности опухолевого процесса у пациенток с верифицированным диагнозом РШМ.
- Планирование органосохраняющего лечения у пациенток репродуктивного возраста.
- Оценка эффективности ХЛТ (в процессе и после проведенного лечения)
- Подозрение или установленный рецидив в области таза.

2. Оборудование

Для проведения МРТ таза необходимо использовать высокопольные системы с индукцией магнитного поля 1,5 или 3 Тл.

3. Подготовка к МРТ органов таза

- Рекомендуется ограничить прием пищи за 4 ч до исследования.
- С целью уменьшения перистальтики, если нет противопоказаний, рекомендуется внутривенное

введение средств, оказывающих спазмолитическое воздействие на гладкомышечную мускулатуру (дротаверин 80,0 мг; глюкагон 1,0 мг).

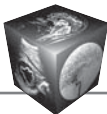
- С целью уменьшения артефактов движения рекомендуется опорожнение мочевого пузыря за 30–40 мин до начала исследования.

Комментарии:

*При РШМ не требуется проводить МРТ в соответствии с фазами менструального цикла.

**При планировании органосохраняющего лечения РШМ реактивные воспалительные изменения после биопсии шейки матки могут изменять МР-картину, имитируя под опухолевую инфильтрацию, что осложняет установление истинных границ новообразования. В связи с этим для объективизации картины может понадобиться повторное выполнение МРТ после проведения противовоспалительной терапии. При планировании лечения РШМ у пациенток репродуктивного возраста со стадиями T1b2 и выше реактивные изменения после проведенной биопсии не оказывают существенного влияния на оценку местной распространенности опухолевого процесса.

***Интравагинальное контрастирование не рекомендуется в рутинной практике, хотя в ряде случаев данная опция может способствовать улучше-



нию визуализации за счет распрямления стенок влагалища, позволяя более четко визуализировать границы опухоли [24–26].

4. Протокол МРТ для оценки распространенности при РШМ

4.1. Для оценки местной распространенности РШМ

- Т1ВИ в аксиальной проекции с и без подавления сигнала от жировой ткани.
- Т2ВИ минимум в 2 ортогональных плоскостях: сагиттальная + ориентированная перпендикулярно цервикальному каналу (рис. 1).

Комментарий: предпочтительны 2D-Т2ВИ [17, 27]. Для Т2ВИ в плоскости, перпендикулярной цервикальному каналу, толщина среза должна быть <4 мм, размер вокселя не более $1 \times 1 \times 4$ мм, FOV не более 180 мм, подавление сигнала от жировой ткани не рекомендуется. Т2ВИ в плоскости, параллельной цервикальному каналу, являются необязательными [17, 28].

- диффузионно-взвешенное изображение (ДВИ) минимум с двумя значениями b-фактора ($b = 0-50$ с/мм² и $b = 800-1000$ с/мм²).

Комментарий: ДВИ с малым FOV в плоскости, соответствующей косоориентированным Т2ВИ, облегчают интерпретацию за счет возможности

их сопоставления [14, 26, 29]. ДВИ с малым FOV (менее 180 мм) рассматривается как дополнение к стандартному протоколу [30].

- динамическое контрастное усиление (ДКУ) не является обязательной последовательностью [17].

Комментарий: ДКУ может оптимизировать визуализацию при опухолях малых размеров или при оценке распространения на соседние органы, при оценке остаточных и рецидивных опухолей [31].

4.2. Для оценки статуса забрюшинных лимфатических узлов и мочеточников

- Т2ВИ и ДВИ в аксиальной плоскости от уровня почечных сосудов до уровня лонного сочленения.

5. Роль МРТ в диагностике, стадировании и выборе тактики лечения РШМ

Одним из основных обновлений системы FIGO, внесенных в 2018 г., является изменение классификации в отношении категории IV. В настоящее время стадия IV подразделяется на три подгруппы, а не на две как ранее, в зависимости от максимального размера первичной опухоли: IV1 (≤ 2 см), IV2 (> 2 см и ≤ 4 см) и IV3 (> 4 см) [9, 10, 32]. Эти изменения были обоснованы различиями онкологических результатов и клиническими подходами к ведению больных локализованным РШМ [33–35]. По мнению большинства экспертов, од-

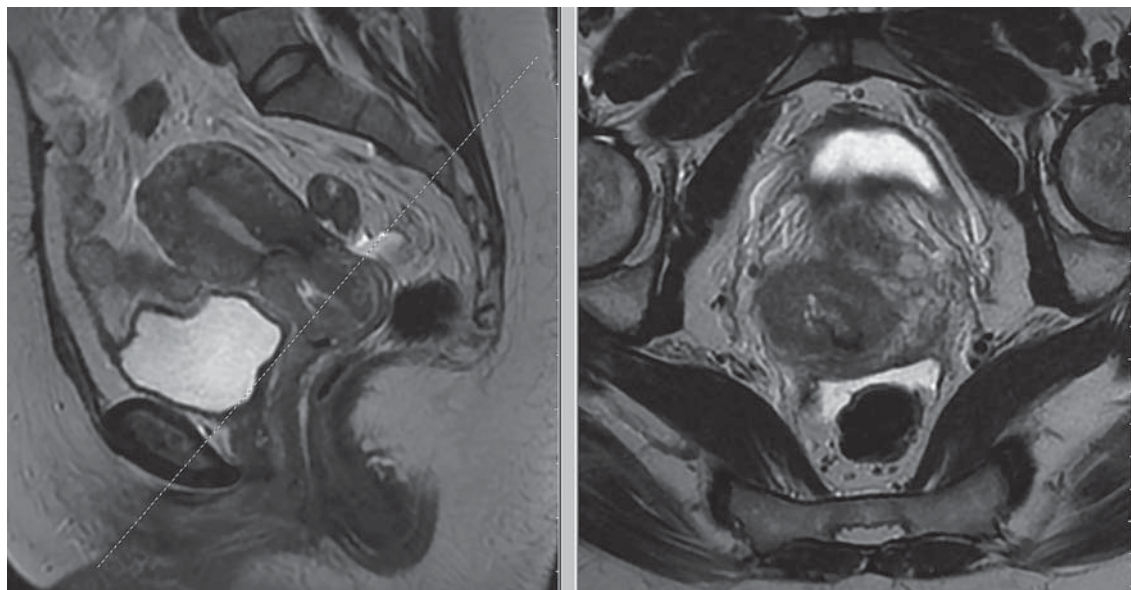
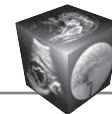


Рис. 1. МР-томограммы таза больной РШМ (стадия IIB, FIGO). Т2ВИ в сагиттальной и косоориентированной проекциях. На сагиттальном изображении пунктирная линия указывает угол наклона косоориентированных изображений (перпендикулярно длинной оси шейки матки).

Fig. 1. MRI of the patient's pelvis with CC (stage IIB, FIGO). T2WI on sagittal and axial oblique planes. In the sagittal image, the dotted line points to the inclination angle of oblique images (perpendicular to the long axis of uterine cervix).



ним из критериев отбора для органосохраняющего лечения у пациенток репродуктивного возраста является размер опухоли ≤ 2 см (стадия IB1) [33–35]. В большинстве случаев при стадии РШМ IB2 (опухоль >2 см и ≤ 4 см) методом выбора является расширенная экстирпация матки с придатками, с тазовой +/- парааортальной лимфаденэктомией, тогда как при стадии IB3 (>4 см) алгоритм лечения включает ХЛТ [12, 36].

Для выявления опухоли шейки матки, определения ее локализации, размера и распространенности на окружающие структуры и органы ключевое значение имеют Т2ВИ в сагиттальной и в перпендикулярной плоскости, а в ряде случаев и параллельной, основной оси шейки матки.

На Т2ВИ для опухоли шейки матки характерен МР-сигнал промежуточной интенсивности, сочетающийся с высоким МР-сигналом на ДВИ при высоком b-факторе и низком сигнале на параметрических картах (ИКД).

Т2ВИ в перпендикулярной плоскости к шейке матки превосходит аксиальные Т2ВИ для определения границ опухоли и оценки инвазии в параметральную клетчатку и распространения на своды влагалища [28].

В отношении роли ДКУ при выявлении опухолей шейки матки небольших размеров после биопсий и резекций эксперты не достигли единого мнения, в связи с чем включение данной последовательности в протокол МРТ остается необязательным [17, 31]. Однако ДКУ может оптимизировать визуализацию при опухолях малых размеров или при оценке распространения на соседние органы.

При органосохраняющем лечении РШМ в объеме трахелэктомии к критериям отбора, оцениваемым по данным МРТ, относятся: длина шейки матки $>2,5$ см, размер опухоли $<2,0$ см, расстояние от опухоли до внутреннего зева >1 см [37–40].

Измерение длины шейки матки, размера и расстояния от опухоли до внутреннего зева рекомендуется выполнять на сагиттальных Т2ВИ, в сопоставлении с косоориентированными изображениями [39]. Сопоставление Т2ВИ с ДВИ оптимизирует оценку границ опухоли с окружающими тканями при измерении размера и распространенности опухоли в краниокаудальном направлении и при оценке параметральной инвазии (рис. 2) [27, 41, 42].

По данным метаанализа, МРТ имеет высокую информативность в диагностике параметральной инвазии: общая чувствительность, специфичность и точность составляют 76, 94 и 94% соответственно [43]. К повышению диагностической информа-

тивности при оценке параметральной инвазии могут приводить: использование МР-систем с индукцией магнитного поля 3 Тл; сочетание Т2ВИ и ДВИ в плоскости, перпендикулярной длинной оси шейки матки; при подготовке пациентов использование средств, обладающих спазмолитическим действием, для снижения перистальтики петель кишки [43]. Включение в протокол МРТ ДКУ не приводит к повышению диагностической ценности метода при оценке параметральной инвазии. Включение ДВИ, напротив позволяет повысить информативность. Исследования, в которых ДВИ не были включены в протокол МРТ, продемонстрировали более низкую чувствительность (75% против 81%) и специфичность (85% против 97%) [44].

Критерием исключения инвазии в параметральную клетчатку при РШМ (с высокой отрицательной прогностической ценностью) является сохранение стромы шейки матки в виде ободка с сигналом низкой интенсивности на Т2ВИ по внешнему контуру опухоли [43]. Согласно рекомендации ESUR, параметральная инвазия может быть исключена со специфичностью 96–99%, если по периферии опухоли сохраняется неизменная строма шейки матки толщиной не менее 3 мм [45].

Отсутствие гипоинтенсивного ободка неизменной стромы на Т2ВИ между опухолью и клетчаткой не всегда свидетельствует о распространении опухоли в параметрии. Чтобы констатировать параметральную инвазию, необходимо сочетание опухоли шейки матки, вовлекающей всю толщу стромы, с одним из следующих признаков [45, 46]:

- нечеткий спикурообразный контур между опухолью и клетчаткой;
- наличие опухолевого инфильтрата в параметральной клетчатке;
- распространение опухоли вдоль сосудистых перфорантов (инфильтрация вдоль сосудов и/или внутри просветов сосудов в виде опухолевых тромбов).

При выраженной инвазии параметральной клетчатки принципиальным моментом для определения стадии опухолевого процесса, которая повлияет на выбор тактики лечения, является вовлеченность структур стенок таза и мочеточников. Согласно рекомендациям ESUR, на Т2ВИ инвазия до стенки таза устанавливается, если расстояние от края опухоли до внутренней запирающей мышцы и/или мышцы, поднимающей задний проход, и/или грушевидной мышцы, и/или подвздошных сосудов составляет менее 3 мм [38]. Распространение опухоли до стенки таза

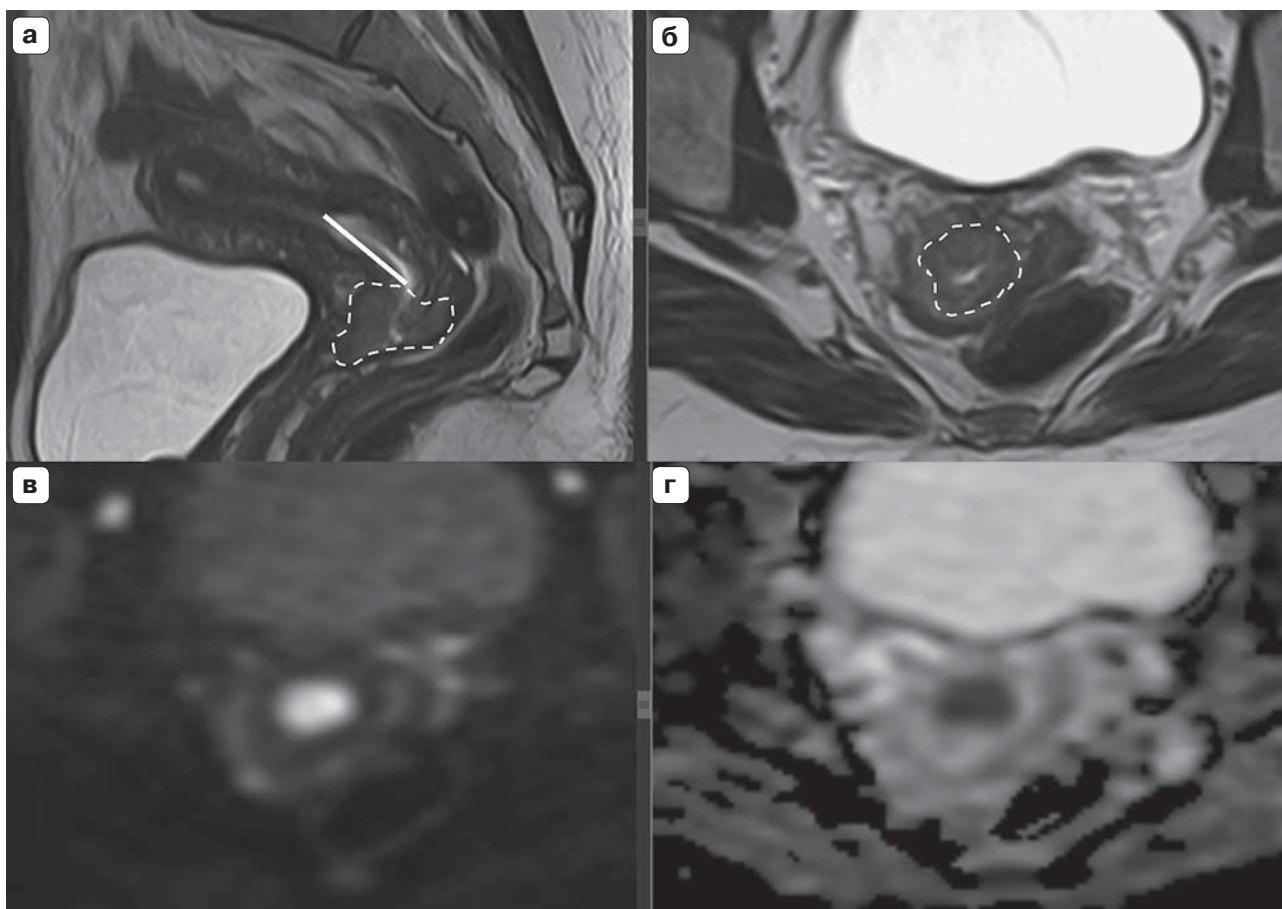
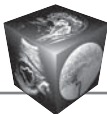


Рис. 2. МР-томограммы таза больной РШМ (стадия IB1, FIGO). **а** – Т2ВИ в сагиттальной проекции; **б** – Т2ВИ в плоскости, перпендикулярной длинной оси шейки матки; **в** – ДВИ с b-фактором 1000 с/мм²; **г** – параметрическая карта ИКД. Белая линия демонстрирует измерение расстояния в краниокаудальном направлении от внутреннего зева матки до визуального верхнего контура опухоли. Опухоль (оконтурена пунктирной линией) локализуется во влагалищной порции шейки матки (в пределах стромы), на Т2ВИ имеет сигнал средней интенсивности, при выраженном ограничении диффузии (высокий сигнал на ДВИ с параллельно низким сигналом на ИКД).

Fig. 2. MRI of the patient's pelvis with verified CC (stage IB1, FIGO). **a** – sagittal T2WI; **б** – axial oblique T2WI; **в** – axial oblique DWI b-value 1000 s/mm²; **г** – ADC map. The white line shows the distance from the uterus internal os to the tumor visual upper contour. The tumor (marked with dotted line) is located in the cervix vaginal portion (within the stroma). T2WI shows a medium intensity signal with.

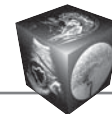
может сопровождаться блоком мочеточника, что проявляется расширением его просвета в вышележащих отделах и расширением чашечно-лоханочной системы и может приводить к нарушению функции почки.

Инвазия опухоли в стенку мочевого пузыря или прямой кишки, подтвержденная гистологически при цисто- и/или колоноскопии, в соответствии с системой FIGO классифицируется как стадия IVA. При местнораспространенном РШМ МРТ, обладая высокой тканевой визуализацией, позволяет определить вовлеченность окружающих органов с высокой точностью. Оптимальной информативностью для оценки состояния органов

таза обладают Т2ВИ, как минимум в двух проекциях (сагиттальной и перпендикулярной к длинной оси шейки матки). Ключевыми признаками вовлеченности в опухолевый процесс стенки мочевого пузыря и/или прямой кишки являются:

- отсутствие сохраненной прослойки жировой клетчатки между измененной опухолью шейкой матки и мочевым пузырем/прямой кишкой [37];
- врастание опухоли в просвет органа.

Стадия IVA устанавливается только при наличии инвазивного роста опухоли на всю толщину стенки, включая слизистую оболочку. При этом наличие буллезного отека не следует интерпретировать как инвазию слизистой оболочки.



6. Отчет МРТ при РШМ

Для принятия клинического решения в выборе тактики лечения РШМ важной информацией является распространенность опухолевого процесса, которая должна быть детализирована и отражена с учетом ее значимости (табл. 2).

7. Оценка статуса лимфатических узлов

В настоящее время, согласно классификации FIGO, метастатическое поражение лимфатических узлов определяется как стадия IIIС [5, 6]. Внесенное в 2019 г. изменение отражает ключевое прогностическое значение статуса лимфатических узлов при стратификации риска и выборе тактики лечения. Стадия IIIС подразделяется на две подстадии: IIIС1 – метастатическое поражение тазовых лимфатических узлов (включая микрометастазы), IIIС2 – тазовых и/или парааортальных. Для уточнения, каким способом был оценен статус лимфатических узлов, к стадии добавляется обозначение “r” или “p” (например: IIIС1r – метастатическое

поражение лимфатических узлов диагностировано по данным методов визуализации, IIIС1p – метастазы верифицированы по результатам патоморфологического исследования) [5].

Для определения статуса лимфатических узлов по данным МРТ и КТ при РШМ применима система RECIST 1.1, основанная на оценке размеров лимфатических узлов по короткой оси (узлы $\geq 1,0$ см считаются измененными, $\geq 1,5$ см – измеряемыми) [47].

Согласно рекомендациям ESUR, тазовые и забрюшинные лимфатические узлы считаются подозрительными на метастатическое поражение в случае увеличения их размеров до 10 мм по короткой оси на аксиальных срезах, паховые лимфатические узлы – при увеличении размера до 15 мм и более. При округлой форме тазовых лимфатических узлов предельный размер снижается до 8 мм.

Изолированная оценка по критерию размера лимфатического узла имеет низкую чувствитель-

Таблица 2. Ключевые элементы отчета МРТ при РШМ

Table 2. Key elements to the CC MRI report

Оцениваемые параметры / Estimated parameters
Размер опухоли (в наибольшем измерении) Tumor size (in greatest dimension)
Расстояние от опухоли до внутреннего зева шейки матки (при планировании органосохраняющего лечения в объеме трахелэктомии) Distance from the tumor to the internal os of the cervix (when planning organ-preserving treatment in the scope of trachelectomy)
Инвазия параметральной клетчатки (нет/есть) Invasion of parametrial tissue (no/yes)
Инвазия влагалища (нет/есть, с указанием распространенности: < верхних 2/3 влагалища или нижнюю/3) Vaginal invasion (no/present, invasion: <2/3 upper of vagina or lower/3)
Вовлечение мочеточника с расширением вышележащих отделов мочеточника и лоханки почки (нет/есть) Involvement of the ureter with expansion of the overlying parts of the ureter and renal pelvis (no/yes)
Инвазия стенки таза (нет/есть) Invasion of the pelvic wall (no/yes)
Инвазия мочевого пузыря/прямой кишки (нет/есть, с указанием степени инвазии: инвазия стенки или инвазия слизистой оболочки/ внутрипросветный рост) Invasion of the bladder/rectum (no/yes, indicating the degree of invasion: wall invasion or mucosal invasion/intraluminal growth)
Статус регионарных лимфатических узлов Condition of regional lymph nodes
Образования придатков Uterine appendage mass
Сопутствующие доброкачественные изменения Associated benign changes
Анатомические варианты строения органов таза Anatomical variants of the pelvic organs



ность – до 56–61% при специфичности 89–91%. Использование дополнительных критериев оценки, таких как форма и границы, неоднородность структуры (за счет некроза) и нарушение зональной дифференцировки лимфатических узлов, позволяет повысить информативность КТ и МРТ в диагностике лимфогенного метастазирования [21, 22].

Использование в протоколе МРТ ДВИ с высоким b-фактором также повышает чувствительность метода, так как обеспечивает более легкое выявление лимфатических узлов из-за высокого МР-сигнала. По данным ряда авторов, для метастатически пораженных лимфатических узлов были установлены более низкие значения измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) по сравнению с неизменными и гиперплазированными узлами. Однако переменные пороговые значения и существенное перекрытие значений ИКД в метастатически пораженных и неизменных лимфатических узлах не позволяют использовать данный критерий в рутинной практике [48, 49].

Для стандартизации заключений о возможном метастатическом поражении регионарных и отдаленных лимфатических узлов по данным КТ и МРТ предложена концепция Node Reporting and Data System 1.0 (Node-RADS), согласно которой “размер” оценивается с учетом локализации выявленных лимфатических узлов и “конфигурации” – обозначаемой в виде суммы числовых значений, присвоенных для трех подкатегорий: “текстура”, “граница” и “форма” [50].

ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ обладает преимуществом по сравнению с КТ и МРТ в диагностике лимфогенного и отдаленного метастазирования. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ позволяет выявлять метастатическое поражение лимфатических узлов (в том числе не увеличенных) с высокой точностью до 94%, а также отдаленные метастазы, которые не были обнаружены при стандартном алгоритме обследования [51]. Такие результаты достигаются, в том числе, благодаря возможности сканирования всего тела в рамках одного исследования. Наличие отдаленных метастазов, особенно за пределами парааортальной области, обычно подразумевает изменение стратегии лечения. У 40% пациентов с метастазами в парааортальные лимфатические узлы, при ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ диагностируются метастазы в надключичные лимфатические узлы.

В настоящее время в рамках оценки статуса регионарных лимфатических узлов при РШМ пациенткам со стадиями IA1, IA2, IB1, IB2 или IIA1 (FIGO) выполняется предоперационная радионуклидная визуализация сторожевых лимфатических узлов. Проведение сцинтиграфии сторожевых лимфатических узлов считается нецелесообраз-

ным при подозрении на инвазию в параметрии (стадия IIB); при выявленном, по данным методов лучевой диагностики, метастатическом поражении тазовых и/или парааортальных лимфатических узлов; после проведения неoadъювантной терапии; при наличии противопоказаний к хирургическому лечению, связанных с возрастом или тяжестью заболевания. Процедура сцинтиграфии сторожевых лимфатических узлов состоит из введения радиофармпрепарата и/или синего красителя, выполнения сцинтиграфии с ОФЭКТ/КТ зоны интереса на предоперационном этапе и интраоперационной локализацией сторожевых лимфатических узлов с использованием гамма-сканера с последующим их удалением.

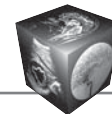
8. Планирование и оценка эффективности химиолучевой терапии при РШМ

При стадиях процесса IB3–IIB (исключение составляет стадия IIA1) алгоритм лечения РШМ предполагает проведение ХЛТ, либо в неoadъювантном режиме, либо в сочетании с брахитерапией. В этих случаях МРТ перед лечением способствует адекватному планированию лучевой терапии и дает возможность впоследствии оценить промежуточный результат. Контрольную МРТ рекомендуется выполнять через 5 нед от начала ХЛТ, перед внутриволновой брахитерапией, с целью расчета дозы, пропорциональной остаточному объему опухоли.

Согласно клиническим рекомендациям, с целью оценки эффективности лечения контрольная МРТ назначается через 3–6 мес после окончания всего курса ХЛТ.

На T2ВИ критерием полного ответа опухоли на проводимое лечение является отсутствие ранее визуализируемого опухолевого образования с МР-сигналом средней и высокой интенсивности наряду с восстановлением однородности низкоинтенсивного МР-сигнала от стромы шейки матки. Однако в строме шейки матки зоны повышенного МР-сигнала на T2ВИ могут сохраняться до 6 мес после завершения ХЛТ, что бывает обусловлено сохраняющимся отеком, воспалением и некрозом, затрудняющими исключение остаточной опухоли [52]. Методики ДВИ и ДКУ могут способствовать повышению информативности МРТ в дифференциальной диагностике остаточной опухоли шейки матки с постлучевыми реакциями, однако среди экспертов нет единого мнения и на сегодняшний день их роль ограничена научно-исследовательским интересом.

В процессе и после ХЛТ протокол МРТ соответствует протоколу для оценки местной распространенности РШМ (см. выше). У пациенток после



экстирпации матки Т2ВИ выполняются в строго аксиальной плоскости.

Применение ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ для ранней оценки эффективности лечения предпочтительнее анатомической визуализации (МРТ, КТ) [53]. Однако несоблюдение временных интервалов может приводить как к ложноположительным, так и к ложноотрицательным результатам [54]. Оптимальные сроки для оценки эффективности проведенного лечения составляют не менее 12 нед после ХЛТ [55]. Наличие резидуальной, метаболически активной опухолевой ткани после завершения ХЛТ выступает отрицательным прогностическим фактором 5-летней выживаемости. У пациенток с местнораспространенным РШМ рекомендуется проводить ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ через 3–6 мес после ХЛТ для выявления бессимптомного прогрессирования опухолевого процесса/раннего рецидива, а также при планировании спасительного лечения в объеме эвисцерации малого таза или дистанционной лучевой терапии.

9. Динамическое наблюдение

После специализированного противоопухолевого лечения для повторной оценки органов малого таза рекомендуется назначение МРТ (либо УЗИ, при невозможности проведения МРТ). У пациенток с высоким риском для диагностики лимфогенного и отдаленного метастазирования КТ органов грудной и брюшной полостей предпочтительнее ПЭТ/КТ [12, 56].

При динамическом наблюдении после специализированного противоопухолевого лечения методы визуализации назначаются по клиническим показаниям. Рутинное использование МРТ, КТ или ПЭТ/КТ у бессимптомных пациенток не рекомендуется.

10. Диагностика рецидивов

До 30% рецидивов РШМ реализуются в течение 2 лет после окончания специализированного противоопухолевого лечения [57, 58]. Для диагностики тазовых рецидивов оптимальным методом является МРТ, которая назначается через 6 мес после хирургического лечения либо через 3–6 мес после завершения ХЛТ и далее 1 раз в год в течение 3 лет. Сроки могут быть изменены при клиническом подозрении на наличие рецидива и дополнены другими методами обследования.

На Т2ВИ рецидивная опухоль имеет МР-сигнал промежуточной интенсивности по сравнению с низкоинтенсивным сигналом от фиброза и рубцовой ткани. ДВИ играют существенную роль в диагностике рецидивов и качественно дополняют Т2ВИ. На ДВИ рецидивная опухоль, в отличие

от рубца и фиброза, имеет сигнал высокой интенсивности с параллельно низким сигналом на параметрических картах. ДКУ также позволяет повысить информативность МРТ в диагностике рецидивов РШМ, однако, по мнению экспертов ESUR, методика не считается обязательной в протоколе исследования, используемого при динамическом наблюдении [52].

Раннее обнаружение рецидива РШМ коррелирует с большей выживаемостью пациенток [59]. Проведение ПЭТ/КТ рекомендовано у пациенток при подозрении на рецидив с неоднозначными результатами других методов визуализации [60]. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ позволяет определить группу пациенток с высоким риском локорегионарного рецидива и в ранние сроки выявить рецидив или продолженный рост, а также метастатическое поражение с высокой диагностической эффективностью.

Заключение

Понимание возможностей каждого из методов лучевой диагностики позволяет грамотно составить алгоритм обследования пациентов при ЗНО. Учитывая, что в 2019 г. в опубликованном отчете о пересмотре системы стадирования FIGO устранены известные ранее ограничения клинического стадирования и признана роль визуализации для стратификации риска и планирования лечения РШМ, существенно возрастает ценность методов лучевой диагностики. Унификация алгоритмов диагностики, соблюдение единых принципов при выборе метода исследования, протоколов его проведения и формировании протокола описания позволят качественно повысить диагностическую информацию, что в свою очередь будет способствовать адекватному выбору тактики лечения и положительно отразится на его результатах.

Участие авторов

Рубцова Н.А. – написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Березовская Т.П. – написание текста

Быченко В.Г. – написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Павловская Е.А. – написание текста.

Солопова А.Е. – написание текста.

Агабабян Т.А. – написание текста.

Ходжибекова М.М. – написание текста.

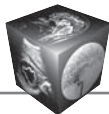
Рыжкова Д.В. – написание текста.

Чекалова М.А. – написание текста, подготовка и редактирование текста.

Мешкова И.Е. – написание текста.

Гажонова В.Е. – написание текста.

Гус А.И. – написание текста.



Багненко С.С. – написание текста.
Медведева Б.М. – написание текста.
Ашрафян Л.А. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.
Новикова Е.Г. – написание текста.
Берлев И.В. – написание текста.
Демидова Л.В. – написание текста.
Крикунова Л.И. – написание текста.
Коломиец Л.А. – написание текста.

Authors' participation

Rubtsova N.A – writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Berezovskaya T.P. – writing text.
Bychenko V.G. – writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.
Pavlovskaya E.A. – writing text.
Solopova A.E. – writing text.
Agababyan T.A. – writing text
Khodzhbekova M.M. – writing text.
Ryzhkova D.V. – writing text.
Chekalova M.A. – writing text, text preparation and editing.
Meshkova I.E. – writing text.
Gazhonova V.E. – writing text.
Gus A.I. – writing text.
Bagненко S.S. – writing text.
Medvedeva B.M. – writing text.
Ashrafyan L.A. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.
Novikova E.G. – writing text.
Berlev I.V. – writing text.
Demidova L.V. – writing text.
Krikunova L.I. – writing text.
Kolomiets L.A. – writing text.

Список литературы [References]

- FIGO Committee on Gynecologic Oncology. Revised FIGO staging for carcinoma of the vulva, cervix, and endometrium. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2009; 105 (2): 103–104. <http://doi.org/10.1016/j.ijgo.2009.02.012>
- FIGO Committee on Gynecologic Oncology. Revised FIGO staging for carcinoma of the cervix uteri. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2019; 145 (1): 129–135. <http://doi.org/10.1002/ijgo.12749>
- Bhatla N., Aoki D., Sharma D.N., Sankaranarayanan R. Cancer of the cervix uteri. *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2018; 143 (Suppl. 2): 22–36. <http://doi.org/10.1002/ijgo.12611>
- Berek J.S., Matsuo K., Grubbs B.H. et al. Multidisciplinary perspectives on newly revised 2018 FIGO staging of cancer of the cervix uteri. *J. Gynecol. Oncol.* 2019; 30 (2): e40. <http://doi.org/10.3802/jgo.2019.30.e40>
- Bhatla N., Aoki D., Sharma D.N., Sankaranarayanan R. Corrigendum to "Revised FIGO staging for carcinoma of the cervix uteri". *Int. J. Gynecol. Obstet.* 2019; 145: 129–135. <http://doi.org/10.1002/ijgo.12969>
- Lee S.I., Atri M. 2018 FIGO staging system for uterine cervical cancer: enter cross-sectional imaging. *Radiology.* 2019; 292 (1): 15–24. <http://doi.org/10.1148/radiol.2019190088>
- Olawaiye A.B., Baker T.P., Washington M.K., Mutch D.G. The new (Version 9) American Joint Committee on Cancer tumor, node, metastasis staging for cervical cancer. *CA Cancer J. Clin.* 2021; 71 (4): 287–298. <http://doi.org/10.3322/caac.21663>
- FIGO CANCER REPORT 2021 Cancer of the cervix uteri: 2021 update International Journal of Obstetrics and Gynaecology. 155 (S1). Special Issue: FIGO Cancer Report 2021 October: 28–44. <https://doi.org/10.1002/ijgo.13967>
- Клинические рекомендации, одобренные научным советом МЗ РФ, Рак шейки матки, 2020 г. 48 с. Clinical guidelines approved by the scientific council of the Ministry of Health of the Russian Federation, Cervical Cancer, 2020, 48 p. (In Russian) <https://oncology.ru/specialist/treatment/references/actual/537.pdf?ysclid=lp6m9w7k57670993368>
- Tian Y., Luo H. Diagnostic accuracy of transvaginal ultrasound examination for local staging of cervical cancer: a systematic review and meta-analysis. *Med. Ultrason.* 2022; 24 (3): 348–355. <http://doi.org/10.11152/mu-3246>
- Cibula D., Pötter R., Planchamp F. et al. The European Society of Gynaecological Oncology/European Society for Radiotherapy and Oncology/European Society of Pathology Guidelines for the Management of Patients With Cervical Cancer. *Int. J. Gynecol. Cancer.* 2018; 28 (4): 641–655. <http://doi.org/10.1097/IGC.0000000000001216>
- Marth C., Landoni F., Mahner S. et al.; ESMO Guidelines Committee. Cervical cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann. Oncol.* 2017; 28 (Suppl_4): iv72–iv83. <http://doi.org/10.1093/annonc/mdx220>
- Chino J., Annunziata C.M., Beriwal S. et al. Radiation Therapy for Cervical Cancer: Executive Summary of an ASTRO Clinical Practice Guideline. *Pract. Radiat. Oncol.* 2020; 10 (4): 220–234. <http://doi.org/10.1016/j.prro.2020.04.002>
- Hricak H., Gatsonis C., Chi D.S. et al. Role of imaging in pretreatment evaluation of early invasive cervical cancer: results of the intergroup study American College of Radiology Imaging Network 6651-Gynecologic Oncology Group 183. *J. Clin. Oncol.* 2005; 23 (36): 9329–9337. <http://doi.org/10.1200/JCO.2005.02.0354>
- Xiao M., Yan B., Li Y. et al. Diagnostic performance of MR imaging in evaluating prognostic factors in patients with cervical cancer: a meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2020; 30 (3): 1405–1418. <http://doi.org/10.1007/s00330-019-06461-9>
- Thomeer M.G., Gerestein C., Spronk S. et al. Clinical examination versus magnetic resonance imaging in the pretreatment staging of cervical carcinoma: systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2013; 23: 2005–2018. <http://doi.org/10.1007/s00330-013-2783-4>
- Manganaro L., Lakhman Y., Bharwani N. et al. Staging, recurrence and follow-up of uterine cervical cancer using MRI: Updated Guidelines of the European Society of Urogenital Radiology after revised FIGO staging 2018. *Eur. Radiol.* 2021; 31 (10): 7802–7816. <http://doi.org/10.1007/s00330-020-07632-9>. Erratum in: *Eur. Radiol.* 2021 Jun 17. PMID: 33852049
- Bourgoti C., Chatoupis K., Mouloupoulos L.A. Current imaging strategies for the evaluation of uterine cervical cancer. *Wld J. Radiol.* 2016; 8 (4): 342–354. <http://doi.org/10.4329/wjr.v8.i4.342>



19. Nogami Y., Iida M., Banno K. et al. Application of FDG-PET in cervical cancer and endometrial cancer: utility and future prospects. *Anticancer Res.* 2014; 34 (2): 585–592. PMID: 24510987
20. Mirpour S., Mhlanga J., Logeswaran P. et al. The role of PET/CT in the management of cervical cancer. *Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (2): W192–205. <http://doi.org/10.2214/AJR.12.9830>
21. Choi H.J., Ju W., Myung S.K., Kim Y. Diagnostic performance of computer tomography, magnetic resonance imaging, and positron emission tomography or positron emission tomography/computer tomography for detection of metastatic lymph nodes in patients with cervical cancer: meta-analysis. *Cancer Sci.* 2010; 101 (6): 1471–1479. <http://doi.org/10.1111/j.1349-7006.2010.01532.x>
22. Liu B., Gao S., Li S. A comprehensive comparison of CT, MRI, positron emission tomography or positron emission tomography/CT, and diffusion weighted imaging-MRI for detecting the lymph nodes metastases in patients with cervical cancer: a metaanalysis based on 67 studies. *Gynecol. Obstet Invest.* 2017; 82 (3): 209–222. <http://doi.org/10.1159/000456006>
23. Ruan J., Zhang Y., Ren H. Meta-analysis of PET/CT Detect Lymph Nodes Metastases of Cervical Cancer. *Open Med. (Wars.)* 2018; 13: 436–442. <http://doi.org/10.1515/med-2018-0065>
24. Young P., Daniel B., Sommer G. et al. Intravaginal gel for staging of female pelvic cancers—preliminary report of safety, distention, and gel-mucosal contrast during magnetic resonance examination. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2012; 36 (2): 253–256. <http://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3182483c05>
25. Van Hoe L., Vanbeckevoort D., Oyen R. et al. Cervical carcinoma: optimized local staging with intravaginal contrast-enhanced MR imaging—preliminary results. *Radiology.* 1999; 213 (2): 608–611. <http://doi.org/10.1148/radiology.213.2.r99oc23608>
26. Akata D., Kerimoglu U., Hazirolan T. et al. Efficacy of transvaginal contrast-enhanced MRI in the early staging of cervical carcinoma. *Eur. Radiol.* 2005; 15 (8): 1727–1733. <https://doi.org/10.1007/s00330-005-2645-9>
27. Li X., Wang L., Li Y., Song P. The value of diffusionweighted imaging in combination with conventional magnetic resonance imaging for improving tumor detection for early cervical carcinoma treated with fertility-sparing surgery. *Int. J. Gynecol. Cancer.* 2017; 27 (8): 1761–1768. <http://doi.org/10.1097/IGC.0000000000001113>
28. Woo S., Moon M.H., Cho J.Y. et al. Diagnostic performance of MRI for assessing parametrial invasion in cervical cancer: a head-to-head comparison between oblique and true axial T2-weighted images. *Korean J. Radiol.* 2019; 20 (3): 378–384. <http://doi.org/10.3348/kjr.2018.0248>
29. Hori M., Kim T., Onishi H. et al. Uterine tumors: comparison of 3D versus 2D T2-weighted turbo spin-echo MR imaging at 3.0 T—initial experience. *Radiology.* 2011; 258 (1): 154–163. <http://doi.org/10.1148/radiol.10100866>
30. Hwang J., Hong S.S., Kim H.J. et al. Reduced field-of-view diffusion-weighted MRI in patients with cervical cancer. *Br. J. Radiol.* 2018; 91 (1087): 20170864. <http://doi.org/10.1259/bjr.20170864>
31. Huang J.-W., Song J.-C., Chen T. et al. Making the invisible visible: improving detectability of MRI-invisible residual cervical cancer after conisation by DCE-MRI. *Clin. Radiol.* 2019; 74 (2): 166.e15–166.e21. <http://doi.org/10.1016/j.crad.2018.10.013>
32. Bermudez A., Bhatla N., Leung E. FIGO cancer report 2015. Cancer of the cervix uteri. *Int. J. Gynecol. Obstet.* 2015; 131: S88–95. <http://doi.org/10.1016/j.ijgo.2015.06.004>
33. Bentivegna E., Gouy S., Maulard A. et al. Oncological outcomes after fertility-sparing surgery for cervical cancer: a systematic review. *Lancet Oncol.* 2016; 17 (6): e240–e253. [http://doi.org/10.1016/S1470-2045\(16\)30032-8](http://doi.org/10.1016/S1470-2045(16)30032-8)
34. Zhang Q., Li W., Kanis M.J. et al. Oncologic and obstetrical outcomes with fertility-sparing treatment of cervical cancer: a systematic review and meta-analysis. *Oncotarget.* 2017; 8 (28): 46580–46592. <http://doi.org/10.18632/oncotarget.16233>
35. Bentivegna E., Maulard A., Pautier P. et al. Fertility results and pregnancy outcomes after conservative treatment of cervical cancer: a systematic review of the Literature. *Fertil Steril.* 2016; 106 (5): 1195–1211.e5. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2016.06.032>
36. Koh W.J., Abu-Rustum N.R., Bean S. et al. Cervical Cancer, Version 3.2019, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J. Natl. Compr. Canc. Netw.* 2019; 17 (1): 64–84. <http://doi.org/10.6004/jnccn.2019.0001>
37. Engin G. Cervical cancer: MR imaging findings before, during, and after radiation therapy. *Eur. Radiol.* 2006; 16 (2): 313–324. <http://doi.org/10.1007/s00330-005-2804-z>
38. Hricak H., Yu K.K. Radiology in invasive cervical cancer. *Am. J. Roentgenol.* 1996; 167: 1101–1108. <http://doi.org/10.2214/ajr.167.5.8911159>
39. Lakhman Y., Akin O., Park K.J. et al. Stage IB1 cervical cancer: role of preoperative MR imaging in selection of patients for fertility-sparing radical trachelectomy. *Radiology.* 2013; 269 (1): 149–158. <https://doi.org/10.1148/radiol.13121746>
40. Noël P., Dubé M., Plante M., St-Laurent G. Early cervical carcinoma and fertility-sparing treatment options: MR imaging as a tool in patient selection and a follow-up modality. *Radiographics.* 2014; 34 (4): 1099–1119. <https://doi.org/10.1148/rg.344130009>
41. Downey K., Attygalle A.D., Morgan V.A. et al. Comparison of optimised endovaginal vs external array coil T2-weighted and diffusion-weighted imaging techniques for detecting suspected early stage (IA/IB1) uterine cervical cancer. *Eur. Radiol.* 2016; 26 (4): 941–950. <http://doi.org/10.1007/s00330-015-3899-5>
42. DeSouza N.M., Rockall A., Freeman S. Functional MR imaging in gynecologic cancer. *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.* 2016; 24 (1): 205–222. <http://doi.org/10.1016/j.mric.2015.08.008>
43. Woo S., Suh C.H., Kim S.Y. et al. Magnetic resonance imaging for detection of parametrial invasion in cervical cancer: an updated systematic review and meta-analysis of the literature between 2012 and 2016. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (2): 530–541. <http://doi.org/10.1007/s00330-017-4958-x>
44. Park J.J., Kim C.K., Park S.Y., Park B.K. Parametrial invasion in cervical cancer: fused T2-weighted imaging and high-b-value diffusion-weighted imaging with background body signal suppression at 3 T. *Radiology.* 2015; 274 (3): 734–741. <http://doi.org/10.1148/radiol.14140920>



45. Sala E., Rockall A.G., Freeman S.J. et al. The Added Role of MR Imaging in Treatment Stratification of Patients with Gynecologic Malignancies: What the Radiologist Needs to Know. *Radiology*. 2013; 266: 717–740. <http://doi.org/10.1148/radiol.12120315>
46. Raithatha A., Papadopoulou I., Stewart V. et al. Cervical cancer staging: a resident's primer: women's imaging. *Radiographics*. 2016; 36 (3): 933–934. <http://doi.org/10.1148/rg.2016150173>
47. Eisenhauer E.A., Therasse P., Bogaerts J. et al. New response evaluation criteria in solid tumours: revised RECIST guideline (version 1.1). *Eur. J. Cancer*. 2009; 45 (2): 228–247. <http://doi.org/10.1016/j.ejca.2008.10.026>
48. Zhang A., Song J., Ma Z., Chen T. Application of apparent diffusion coefficient values derived from diffusion-weighted imaging for assessing different sized metastatic lymph nodes in cervical cancers. *Acta Radiol*. 2020; 61 (6): 848–855. <https://doi.org/10.1177/0284185119879686>
49. Qi Y.F., He Y.L., Lin C.Y. et al. Diffusion-weighted imaging of cervical cancer: Feasibility of ultra-high b-value at 3T. *Eur. J. Radiol*. 2020; 124: 108779. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.108779>
50. Elsholtz F.H.J., Asbach P., Haas M. et al. Introducing the Node Reporting and Data System 1.0 (Node-RADS): a concept for standardized assessment of lymph nodes in cancer. *Eur. Radiol*. 2021; 31 (8): 6116–6124. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07572-4>
51. Wong T.Z., Jones E.L., Coleman R.E. Positron emission tomography with 2-deoxy-2-[(18)F]fluoro-D-glucose for evaluating local and distant disease in patients with cervical cancer. *Mol. Imaging Biol*. 2004; 6 (1): 55–62. <http://doi.org/10.1016/j.mibio.2003.12.004>
52. Hameeduddin A., Sahdev A. Diffusion-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced MRI in assessing response and recurrent disease in gynaecological malignancies. *Cancer Imaging*. 2015; 15 (1): 3. <http://doi.org/10.1186/s40644-015-0037-1>
53. Young H., Baum R., Cremerius U. et al. Measurement of clinical and subclinical tumour response using [18F]-fluorodeoxyglucose and positron emission tomography: review and 1999 EORTC recommendations. European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC) PET Study Group. *Eur. J. Cancer*. 1999; 35 (13): 1773–1782. [http://doi.org/10.1016/s0959-8049\(99\)00229-4](http://doi.org/10.1016/s0959-8049(99)00229-4)
54. Wang X., Koch S. Positron emission tomography/computed tomography potential pitfalls and artifacts. *Curr. Probl. Diagn. Radiol*. 2009; 38 (4): 156–169. <http://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2008.01.001>
55. Amit A., Person O., Keidar Z. FDG PET/CT in monitoring response to treatment in gynecological malignancies. *Curr. Opin. Obstet. Gynecol*. 2013; 25 (1): 17–22. <http://doi.org/10.1097/GCO.0b013e32835a7e96>
56. American College of Radiology ACR Appropriateness Criteria: Pretreatment Planning of Invasive Cancer of the Cervix. <https://acsearch.acr.org/docs/69461/Narrative/>
57. Moore K.N., Herzog T.J., Lewin S. et al. A comparison of cisplatin/paclitaxel and carboplatin/paclitaxel in stage IVB, recurrent or persistent cervical cancer. *Gynecol. Oncol*. 2007; 105 (2): 299–303. <http://doi.org/10.1016/j.ygyno.2006.12.031>
58. Lorusso D., Petrelli F., Coiru A. et al. A systematic review comparing cisplatin and carboplatin plus paclitaxel-based chemotherapy for recurrent or metastatic cervical cancer. *Gynecol. Oncol*. 2014; 133 (1): 117–123. <http://doi.org/10.1016/j.ygyno.2014.01.042>
59. Bodurka-Bevers D., Morris M., Eifel P.J. et al. Posttherapy surveillance of women with cervical cancer: an outcomes analysis. *Gynecol. Oncol*. 2000; 78 (2): 187–193. <http://doi.org/10.1006/gyno.2000.5860>
60. Scottish Intercollegiate Guidelines Network. Management of cervical cancer/ (SIGN guideline no 99) 2008; National Comprehensive Cancer Network (NCCN) guidelines for cervical cancer/ 2022

Для корреспонденции*: Быченко Владимир Геннадьевич – e-mail: vbychenko@yandex.ru

Рубцова Наталья Алефтиновна – доктор мед. наук, заведующая отделом лучевой диагностики МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>. E-mail: rna17@yandex.ru

Березовская Татьяна Павловна – доктор мед. наук, профессор, заведующая отделением магнитно-резонансной томографии МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Обнинск, Калужская обл. <https://orcid.org/0000-0002-3549-4499>. E-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

Быченко Владимир Геннадьевич – канд. мед. наук, заведующий отделением лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1459-4124>. E-mail: vbychenko@yandex.ru

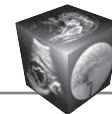
Павловская Евгения Александровна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-5652-1580>

Солопова Алина Евгеньевна – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4768-115X>. E-mail: a_solorova@oparina4.ru

Агабабян Татев Артаковна – канд. мед. наук, заведующий отделением лучевой диагностики МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Обнинск, Калужская обл. <https://orcid.org/0000-0003-0406-0046>. E-mail: agababyan@mrrc.obninsk.ru

Ходжибекова Малика Маратовна – доктор мед. наук, врач-радиолог отделения радионуклидной диагностики МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2172-5778>. E-mail: malika_25@mail.ru

Рыжкова Дарья Викторовна – доктор мед. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела ядерной медицины и тераностики Института онкологии и гематологии, руководитель научно-клинического объединения ядерной медицины, заведующая кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой Института медицинского образования Центра Алмазова, ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7086-915>



Чекалова Марина Альбертовна – доктор мед. наук, профессор, врач ультразвуковой диагностики АПО ФНКЦ ФМБА России; профессор ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5661-2589>. E-mail: ch2me@yandex.ru

Мешкова Ирина Евгеньевна – канд. мед. наук, врач ультразвуковой диагностики, онкогинеколог ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-5799-1269>

Гажонова Вероника Евгеньевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кабинетом ультразвуковой ангиографии, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва. <https://ORCID.org/0000-0003-4742-9157>. E-mail: vx969@yandex.ru

Гус Александр Иосифович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отделения ультразвуковой и функциональной диагностики отдела визуальной диагностики ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-1377-3128>. E-mail: A_gus@oparina4.ru

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

Медведева Бэла Михайловна – доктор мед. наук, профессор, заведующая отделением рентгенодиагностики, ведущий научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1779-003X>

Ашрафян Левон Андреевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6396-4948>

Новикова Елена Григорьевна – доктор мед. наук, профессор, заместитель начальника отдела опухолей репродуктивных и мочевыводящих органов МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2768-5698>. E-mail: mnioi@mail.ru

Берлев Игорь Викторович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением онкогинекологии ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-6937-2740>. E-mail: iberlev@gmail.com.

Демидова Людмила Владимировна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела лучевой терапии МНИОИ им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2104-0859>

Крикунова Людмила Ивановна – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отделения лучевых и комбинированных методов лечения гинекологических заболеваний с группой восстановительной и эстетической медицины МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Обнинск, Калужская обл. <https://orcid.org/0000-0003-1842-156X>. E-mail: krikunova_li@mail.ru

Коломиец Лариса Александровна – доктор мед. наук, профессор, заведующая отделением гинекологии Научно-исследовательского института онкологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-6854-8940>

Contact*: Vladimir G. Bychenko – e-mail: vbychenko@yandex.ru

Natalia A. Rubtsova – Doct. of Sci. (Med.), Head of the department of radiation diagnostics P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>. E-mail: rna17@yandex.ru

Tatiana P. Berezovskaia – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the MRI department A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (A. Tsyb MRRC), Obninsk, Kaluga region. <https://orcid.org/0000-0002-3549-4499>. E-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

Vladimir G. Bychenko – Cand. of Sci. (Med.), Head of radiation diagnostics department Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1459-4124>. E-mail: vbychenko@yandex.ru

Evgenya A. Pavlovskaya – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist, National Medical Research Centre of Oncology named after N.N. Petrov of MoH of Russia, St-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-5652-1580>.

Alina E. Solopova – Doct. of Sci. (Med.), Senior Researcher of the radiation diagnostics department Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1459-4124>. E-mail: vbychenko@yandex.ru

Tatev A. Agababyan – Cand. of Sci. (Med.), Head of radiation diagnostics department A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (A. Tsyb MRRC), Obninsk, Kaluga region. <https://orcid.org/0000-0003-0406-0046>. E-mail: agababyan@mrrc.obninsk.ru

Malika M. Khodzhibekova – Doct. of Sci. (Med.), Radiologist of the Radionuclide Diagnostics Department P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2172-5778>. E-mail: malika_25@mail.ru

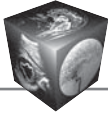
Daria V. Ryzhkova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of research department of nuclear medicine and theranostics of the institute of oncology and hematology, Head of the scientific and clinical association of nuclear medicine, head of the department of nuclear medicine and radiation technologies with the clinic of the institute of medical education of the Almazov Center, Almazov Medical Research Centre, St-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7086-915>

Marina A. Chekalova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, doctor of ultrasonic diagnostics of Federal Scientific and Clinical Center for Special Types of Medical Care and Medical Technologies The Federal Medical Biological Agency (FMBA of Russia); Professor, The Peoples' Friendship University of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5661-2589>. E-mail: ch2me@yandex.ru

Irina E. Meshkova – Cand. of Sci. (Med.), ultrasound diagnostic doctor, gynecological oncologist, National Medical Research Centre of Oncology named after N.N. Petrov of MoH of Russia, St-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-5799-1269>

Veronica E. Gazhonova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the ultrasound angiography room, ultrasound diagnostics doctor of the FSBI “United Hospital with Clinic” of the Administration of the President of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4742-9157>. E-mail: vx969@yandex.ru

Alexandr I. Gus – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of department of ultrasound and functional diagnostics, visual diagnostics department of the Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-1377-3128>. E-mail: A_gus@oparina4.ru



Sergey S. Bagnenko – Doct. of Sci. (Med.), associate Professor, Head of the scientific department, Leading Researcher of the scientific department of diagnostic and interventional radiology, National Medical Research Centre of Oncology named after N.N.Petrov of MoH of Russia, St-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>.

Bela M. Medvedeva – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the department of X-ray diagnostics, Leading Researcher, National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin of the Ministry of Health of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1779-003X>

Levon A. Ashrafyan – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director, Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6396-4948>

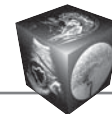
Elena G. Novikova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Head of the Department of Tumors of the Reproductive and Urinary Organs P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2768-5698>. E-mail: mnioi@mail.ru

Igor V. Berlev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the department of oncogynecology, National Medical Research Centre of Oncology named after N.N.Petrov of MoH of Russia, St-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-6937-2740>. E-mail: iberlev@gmail.com.

Ludmila V. Demidova – Doct. of Sci. (Med.), Leading Researcher of the department of radiation therapy P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2104-0859>

Lyudmola I. Krikunova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief scientific officer of the Department of Radiation and Combined Methods of Treatment of Gynecological Diseases with the Group of Restorative and Aesthetic Medicine A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (A. Tsyb MRRC), Obninsk, Kaluga region. <https://orcid.org/0000-0003-1842-156X>. E-mail: krikunova_li@mail.ru

Larisa A. Kolomiets – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the department of gynecology, Scientific. Oncology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-6854-8940>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1359>

Радиомика фетальной магнитно-резонансной томографии при врожденной диафрагмальной грыже

© Сыркашев Е.М.^{1,2*}, Буров А.А.¹, Подуровская Ю.Л.¹, Кадырбердиева Ф.З.¹, Икрянников Е.О.², Семенов Д.С.², Шарова Д.Е.², Васильев Ю.А.², Гус А.И.¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Академика Опарина, д. 4, Российская Федерация

² ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы»; 109029 Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1, Российская Федерация

Цель исследования: анализ возможностей радиомики в качестве источника дополнительной диагностической информации о структурной зрелости легких.

Материал и методы. В ретроспективное исследование включили 72 беременных: 35 с изолированной врожденной диафрагмальной грыжей плода (1-я группа, основная) и 37 без патологии легких плода (2-я группа, контрольная). Были получены фронтальные или кософронтальные T2ВИ (T2 FSE). Сегментация зон интереса на уровне легких плода проводилась вручную с использованием ИТК-Snar. С использованием rugadiomics было извлечено 107 радиомических признаков. Статистический анализ проводился с помощью пакета статистического анализа Statistica 10 (США) для выявления корреляции между значениями признаков и целевой переменной (наличие патологии легких при врожденной диафрагмальной грыже), а также для отображения различий в группах сравнения в зависимости от выявленных показателей.

Результаты. Были определены статистически значимые признаки для 2D- и 3D-сегментаций ($p < 0,05$). Для 2D- и 3D-сегментаций количество значимых признаков оказалось равно 14 и 73 соответственно. После исключения признаков, имеющих взаимные корреляции, их количество сократилось до 6 и 8 для одиночных срезов и 3D-изображений соответственно. Также были подсчитаны коэффициенты корреляции между признаками и наличием патологии легких. В случае использования 3D-изображений количество признаков, имеющих значимые коэффициенты корреляции ($r > 0,4$, $p < 0,05$), оказалось равно 20, в то время как для одиночных срезов данный показатель равен 3.

Заключение. Полученные данные позволяют сделать вывод о целесообразности применения текстурного анализа 3D-MPT-изображений в качестве источника дополнительной диагностической информации о структурной зрелости легких.

Ключевые слова: фетальная МРТ, радиомика, акушерство и гинекология, текстурный анализ, врожденная диафрагмальная грыжа

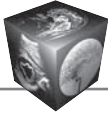
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Сыркашев Е.М., Буров А.А., Подуровская Ю.Л., Кадырбердиева Ф.З., Икрянников Е.О., Семенов Д.С., Шарова Д.Е., Васильев Ю.А., Гус А.И. Радиомика фетальной магнитно-резонансной томографии при врожденной диафрагмальной грыже. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 157–167. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1359>

Поступила в редакцию: 12.05.2023.

Принята к печати: 06.06.2023.

Опубликована online: 01.12.2023.



Radiomics of fetal magnetic resonance imaging in congenital diaphragmatic hernia

© Egor M. Syrkashev^{1, 2*}, Artem A. Burov¹, Yulia L. Podurovskaya¹,
Faina Z. Kadyrberdiyeva¹, Egor O. Ikryannikov², Dmitriy S. Semenov²,
Daria E. Sharova², Yuriy A. Vasilev², Aleksandr I. Gus¹

¹ Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Akademika Oparina street, Moscow 117997, Russian Federation

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department; 24, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation

Objectives. Analysis of possibilities of radiomics as a source of additional diagnostic information about the structural maturity of the lungs

Materials and methods. A retrospective study included 72 pregnant women: 35 with congenital fetal diaphragmatic hernia (group 1) and 37 without fetal lung pathology (group 2). Frontal or co-frontal T2 images (T2 FSE) were obtained. Segmentation of regions of interest at the fetal lung level was performed manually with ITK-Snap. A total of 107 radiomic features were extracted using pyradiomics. The statistical analysis was performed using the STATISTICA 10 statistical analysis package (USA) to detect correlation between trait values and the target variable (presence of lung pathology in CDH), and to show differences in the comparison groups according to the detected parameters.

Results. Statistically significant features were identified for 2D and 3D segmentations ($p < 0.05$). For 2D and 3D segmentations, the number of significant features was 14 and 73, respectively. After exclusion of features with cross-correlations, their number decreased to 6 and 8 for single slices and 3D images, respectively. Correlation coefficients between the features and the presence of lung pathology were also calculated. In the case of 3D images, the number of features with significant correlation coefficients ($r > 0.4$, $p < 0.05$) equaled 20, while for single-slice images this number was 3.

Conclusion. The data obtained allow to conclude that it is reasonable to use texture analysis of the 3D MRI images as a source of additional diagnostic information concerning the structural maturity of the lungs.

Keywords: fetal MRI, radiomics, obstetrics and gynecology, texture analysis, congenital diaphragmatic hernia

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

For citation: Syrkashev E.M., Burov A.A., Podurovskaya Y.L., Kadyrberdiyeva F.Z., Ikryannikov E.O., Semenov D.S., Sharova D.E., Vasilev Y.A., Gus A.I. Radiomics of fetal magnetic resonance imaging in congenital diaphragmatic hernia. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 157–167. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1359>

Received: 12.05.2023.

Accepted for publication: 06.06.2023.

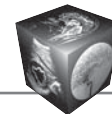
Published online: 01.12.2023.

Введение

Под термином “радиомика” принято понимать извлечение, анализ и интерпретацию множества количественных характеристик медицинских изображений [1, 2]. Данная методика включает в себя так называемый текстурный анализ, позволяющий проводить объективную оценку зоны интереса посредством выявления особенностей распределения и взаимодействия пикселей и вокселей на изображении [3]. К целям такого подхода относят определение визуально недоступных особенностей изображений, характеризующих конкретную область или ткань, а также построение количественных прогностических моделей различных клинических исходов [2]. Несмотря на то что первоначально текстурный анализ был использован в ди-

агностике и прогнозировании исходов онкологических заболеваний, в настоящее время данные подходы все чаще применяются в самых различных направлениях визуальной диагностики, в том числе антенатальной [4–8].

Фетальная магнитная-резонансная томография (МРТ) является важным дополнительным диагностическим методом в оценке особенностей развития плода [9, 10]. Поданным Международного общества по применению ультразвука в акушерстве и гинекологии (International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology, ISUOG), показанием к выполнению МРТ является подтверждение результатов ультразвукового исследования (УЗИ) либо получение важной дополнительной информации [11]. Среди наиболее частых причин



проведения МРТ можно выделить аномалии развития головного мозга, дефекты нервной трубки, врожденную диафрагмальную грыжу, а также различные пороки легких [12]. Своевременное выполнение МРТ играет основополагающую роль в планировании возможных исходов беременности и необходимости проведения как дополнительных методов интенсивной терапии в родильном зале, так и на этапе предоперационной подготовки [13, 14].

Большинство структурных изменений легких могут быть обнаружены при рутинной эхографии на сроке 18–20 нед беременности [15]. При этом в некоторых случаях даже в руках опытных специалистов прецизионная ультразвуковая диагностика может быть затруднена, в особенности при маловодии, избыточной массе тела беременной или на более поздних сроках гестации. В подобных наблюдениях для подтверждения диагноза либо получения дополнительной информации требуется выполнение МРТ. К преимуществам данного метода можно отнести большее поле обзора и высокий контраст от мягких тканей, в то время как влияние на качество изображений конституции беременной, положения плода или количества околоплодных вод значительно менее выражено. Кроме того, с использованием стандартизированных протоколов сканирования, согласно рекомендациям ISUOG, данные МРТ плода вполне соответствуют требованиям для проведения текстурного анализа [12]. Объективный количественный анализ изображений с использованием радиомики в совокупности с традиционной визуальной оценкой изображений потенциально позволит улучшить не только точность и качество диагностики, но и прогнозирование исходов различных заболеваний, включая аномалии развития легочной ткани, которые зачастую требуют проведения дополнительных мероприятий в родильном зале (например, потребность в проведении экстракорпоральной мембранной оксигенации или искусственной вентиляции легких) [16].

На сегодняшний день в отечественной и иностранной литературе отсутствуют данные о различиях между показателями текстурного анализа легких плода в норме и при врожденной диафрагмальной грыже. В связи с этим представляется крайне актуальным изучение возможностей радиомики в антенатальной диагностике аномалий развития легочной ткани.

Материал и методы

В ретроспективное исследование было включено 72 беременных: 35 с изолированной врожденной диафрагмальной грыжей плода (1-я груп-

па, основная) и 37 без патологии легких плода (2-я группа, контрольная). Всем была выполнена МРТ. 2-ю группу составили пациентки, патология плода которых не затрагивает состояние легких (аномалии развития головного мозга ($n = 25$), дефекты нервной трубки ($n = 7$), образования брюшной полости ($n = 2$), аномалии тел позвонков ($n = 3$)). Для анализа были отобраны Т2ВИ во фронтальной или кософронтальной плоскости. Исследования исключали при отсутствии результатов УЗИ (для определения точного срока гестации в неделях и днях), наличии значительных артефактов в зоне интереса на фоне активных движений плода или дыхательных движений матери.

Все исследования были проведены на томографе Toshiba Excelart Vantage с индукцией магнитного поля 1,5 Тл без использования седативных или контрастных препаратов. Фронтальные или кософронтальные Т2ВИ были получены с использованием импульсной последовательности Т2 FSE (fast spin echo) со следующими параметрами: TR – 7500–11520 мс, TE – 91–174 мс, поле обзора – 270 × 400–409 × 399 мм, матрица – 256 × 256–320 × 320, толщина среза – 3–4 мм, SAR ≤ 2 Вт/кг. Параметры сканирования были идентичны у всех пациентов.

Зоны интереса выделялись вручную на уровне легких плода после предобработки исследований, включающей анонимизацию и архивирование Т2ВИ во фронтальной или кософронтальной проекции с использованием открытого программного обеспечения itk-Snap [17]. При врожденной диафрагмальной грыже сегментация проводилась на уровне контралатерального легкого по отношению к стороне дефекта (рис. 1).

Данные МРТ и соответствующие сегментации легких экспортировались в формате nifti. Текстурный анализ включал следующие показатели: признаки первого рода, описывающие распределение интенсивности пикселей (для 2D) и вокселей (для 3D) в выделенной области, размерные признаки, а также признаки, характеризующие текстуру изображений (данные признаки описывают взаимное расположение пикселей и вокселей с различными интенсивностями сигнала). Радиомические признаки извлекались с помощью программного обеспечения Pyradiomics с использованием Python 3.7.1. Нормализация изображений проводилась со следующими параметрами: `normalize = True`, `normalize Scale=100`, `binwidth = 5`, `voxel Array Shift = 300`, `resampled Pixel Spacing = [0.78, 0.78, 5]`. Текстурный анализ проводили с получением различных признаков следующих классов: First Order ($n = 18$), Shape ($n = 14$), Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM, $n = 24$), Grey Level Size

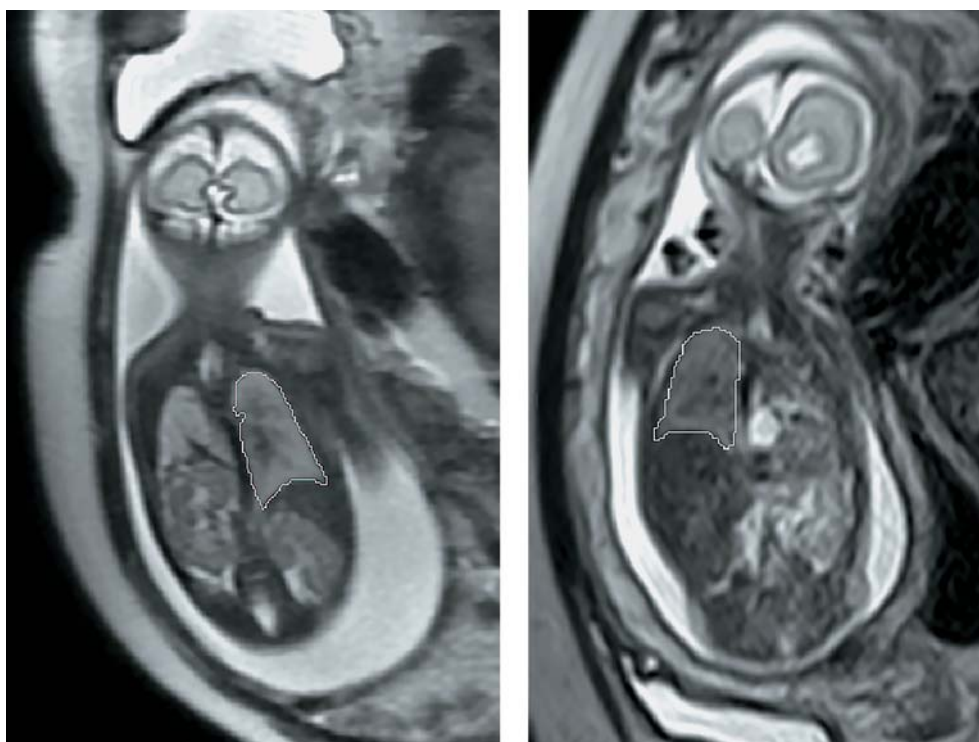
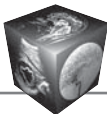


Рис. 1. Пример сегментации зон интереса на T2ВИ на уровне легких плода во фронтальной и кософронтальной проекциях у разных пациентов.

Fig. 1. Example of ROI segmentation on T2WI at the fetal lung in frontal and co-frontal projections in different patients.

Zone Matrix (GLSZM, $n = 16$), Grey Level Run Length Matrix (GLRLM, $n = 16$), Grey Level Dependence Matrix (GLDM, $n = 14$), Neighbouring Gray Tone Difference Matrix (NGTDM, $n = 5$). Полный список текстурных признаков представлен в табл. 1.

Признаки первого порядка (энергетические и энтропийные признаки, признаки, основанные на начальных и центральных моментах величин и т.д.) описывают распределение интенсивности пикселей и вокселей в области, ограниченной зоной интереса. Признаки более высоких порядков подразделяются на несколько групп (GLCM, GLRLM, GLSZM, NGTDM, GLDM) и являются более сложными показателями, описывающими отношения между пикселями. GLCM (Gray-Level Co-occurrence Matrix) – матрица смежности представляет собой оценку плотности распределения вероятностей второго порядка, полученную по изображению в предположении, что плотность вероятности зависит лишь от расположения двух пикселей. GLRLM (Gray-Level Run-Length Matrix) – матрица длин серых уровней, которая отражает распределение длин серий по различным направлениям в изображении. GLSZM (Gray-Level Size Zone Matrix) – матрица зон размеров уровней серого, которая отражает распределение разме-

ров зон по уровням серого в изображении. NGTDM (Neighborhood Gray-Tone Difference Matrix) – матрица различий тонов серого со смежными пикселями (для 2D) и вокселями (для 3D); количественно определяет разницу между значением серого и средним значением серого смежных пикселей и вокселей. GLDM (Gray-Level Dependence Matrix) – матрица зависимости уровня серого, которая отражает, сколько раз пара пикселей или вокселей с заданными значениями яркости встречается в изображении, учитывая расстояние между ними. Также существуют признаки, характеризующие размеры выделенной зоны. В совокупности было проанализировано 107 текстурных признаков, извлеченных из 72 сегментаций.

Статистический анализ проводился с помощью пакета статистического анализа Statistica 10 (США) для выявления корреляции между значениями признаков и целевой переменной (наличие патологии легких при врожденной диафрагмальной грыже), а также для отображения различий в группах сравнения в зависимости от выявленных показателей. Отбор признаков для разделения пациентов на группы проводился в несколько этапов. На первом этапе исключили часть признаков, на основании которых различия между группами

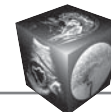


Таблица 1. Список проанализированных текстурных признаков
Table 1. List of analyzed textural features

Класс Class	Признаки Features	Класс Class	Признаки Features
firstorder	10Percentile	glszm	SumEntropy
	90Percentile		SumSquares
	Energy		GrayLevelNonUniformity
	Entropy		GrayLevelNonUniformityNormalized
	InterquartileRange		GrayLevelVariance
	Kurtosis		HighGrayLevelZoneEmphasis
	Maximum		LargeAreaEmphasis
	MeanAbsoluteDeviation		LargeAreaHighGrayLevelEmphasis
	Mean		LargeAreaLowGrayLevelEmphasis
	Median		LowGrayLevelZoneEmphasis
	Minimum		SizeZoneNonUniformity
	Range		SizeZoneNonUniformityNormalized
	RobustMeanAbsoluteDeviation		SmallAreaEmphasis
	RootMeanSquared		SmallAreaHighGrayLevelEmphasis
	Skewness		SmallAreaLowGrayLevelEmphasis
	TotalEnergy		ZoneEntropy
	Uniformity		ZonePercentage
Variance	ZoneVariance		
shape	Elongation	glrlm	GrayLevelNonUniformity
	Flatness		GrayLevelNonUniformityNormalized
	LeastAxisLength		GrayLevelVariance
	MajorAxisLength		HighGrayLevelRunEmphasis
	Maximum2DDiameterColumn		LongRunEmphasis
	Maximum2DDiameterRow		LongRunHighGrayLevelEmphasis
	Maximum2DDiameterSlice		LongRunLowGrayLevelEmphasis
	Maximum3DDiameter		LowGrayLevelRunEmphasis
	MeshVolume		RunEntropy
	MinorAxisLength		RunLengthNonUniformity
	Sphericity		RunLengthNonUniformityNormalized
	SurfaceArea		RunPercentage
	SurfaceVolumeRatio		RunVariance
VoxelVolume	ShortRunEmphasis		
glcm	Autocorrelation	ngtdm	ShortRunHighGrayLevelEmphasis
	ClusterProminence		ShortRunLowGrayLevelEmphasis
	ClusterShade		Busyness
	ClusterTendency	gldm	Coarseness
	Contrast		Complexity
	Correlation		Contrast
	DifferenceAverage		Strength
	DifferenceEntropy		DependenceEntropy
	DifferenceVariance		DependenceNonUniformity
	Id		DependenceNonUniformityNormalized
	Idm	DependenceVariance	
	Idmn	GrayLevelNonUniformity	
	Idn	GrayLevelVariance	
	Imc1	HighGrayLevelEmphasis	
	Imc2	LargeDependenceEmphasis	
	InverseVariance	LargeDependenceHighGrayLevelEmphasis	
	JointAverage	LargeDependenceLowGrayLevelEmphasis	
	JointEnergy	LowGrayLevelEmphasis	
	JointEntropy	SmallDependenceEmphasis	
	MCC	SmallDependenceHighGrayLevelEmphasis	
MaximumProbability	SmallDependenceLowGrayLevelEmphasis		
SumAverage			

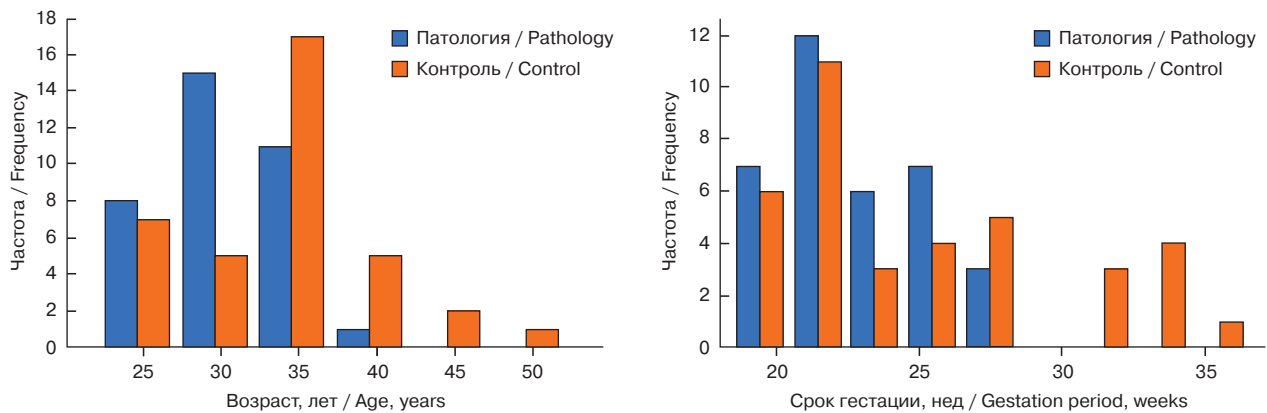


Рис. 2. Распределение беременных по возрасту и сроку гестации на момент проведения МРТ.
Fig. 2. Pregnant women distribution by age and age of gestation at moment of MRI scan.

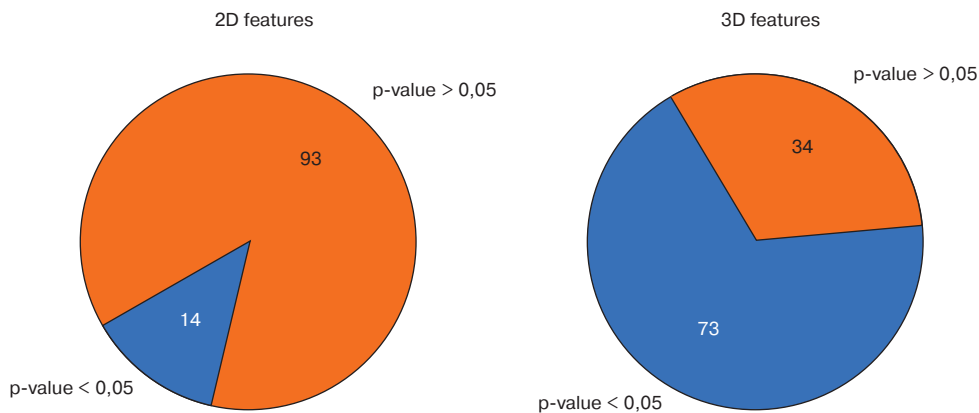


Рис. 3. Количество статистически значимых и незначимых признаков для 2D- и 3D-сегментации (U-критерий Манна–Уитни).
Fig. 3. Number of statistically significant and non-significant features for 2D and 3D segmentation (Mann–Whitney U-test).

не были статистически значимыми ($p > 0,05$, U-критерий Манна–Уитни). Далее устраняли признаки, имеющие взаимные корреляции (коэффициент корреляции Спирмена, $r > 0,7$). Для исключения признаков с наибольшим количеством взаимных связей был использован алгоритм Брона–Кербоша [17]. Выбор в пользу удаления того или иного признака проводился на основании среднего значения взаимной информации (mutual information, MI).

Результаты

Медиана возраста пациенток на момент проведения МРТ в основной группе ($n = 35$) составила 29 (27–34) лет, в контрольной ($n = 37$) – 34 (30–36) года ($p = 0,014$). Срок беременности на момент выполнения МРТ в основной группе составил 22 (20,57–27,0) нед, в группе контроля – 23 (20,78–

27,71) нед. Статистически значимых различий по срокам гестации на момент выполнения МРТ не наблюдалось ($p = 0,176$). Распределение беременных по возрасту и сроку гестации представлено на рис. 2. Отмечалось преобладание плодов с мужским полом (60%, $n = 21$).

Среди признаков текстурного анализа выявили статистически значимые различия в группах сравнения во всех классах (shape, first order, ngtm, gldm, glcm, glszm, glrlm). Наибольшее количество параметров, на основании которых группы считали различными (U-критерий Манна–Уитни, $p < 0,05$), обнаружили по данным, извлеченным из трехмерной сегментации изображений (рис. 3).

Кроме того, признаки, рассчитанные на основании трехмерных данных, имели более высокий коэффициент корреляции с целевой переменной (1-й или 2-й группы) (рис. 4).

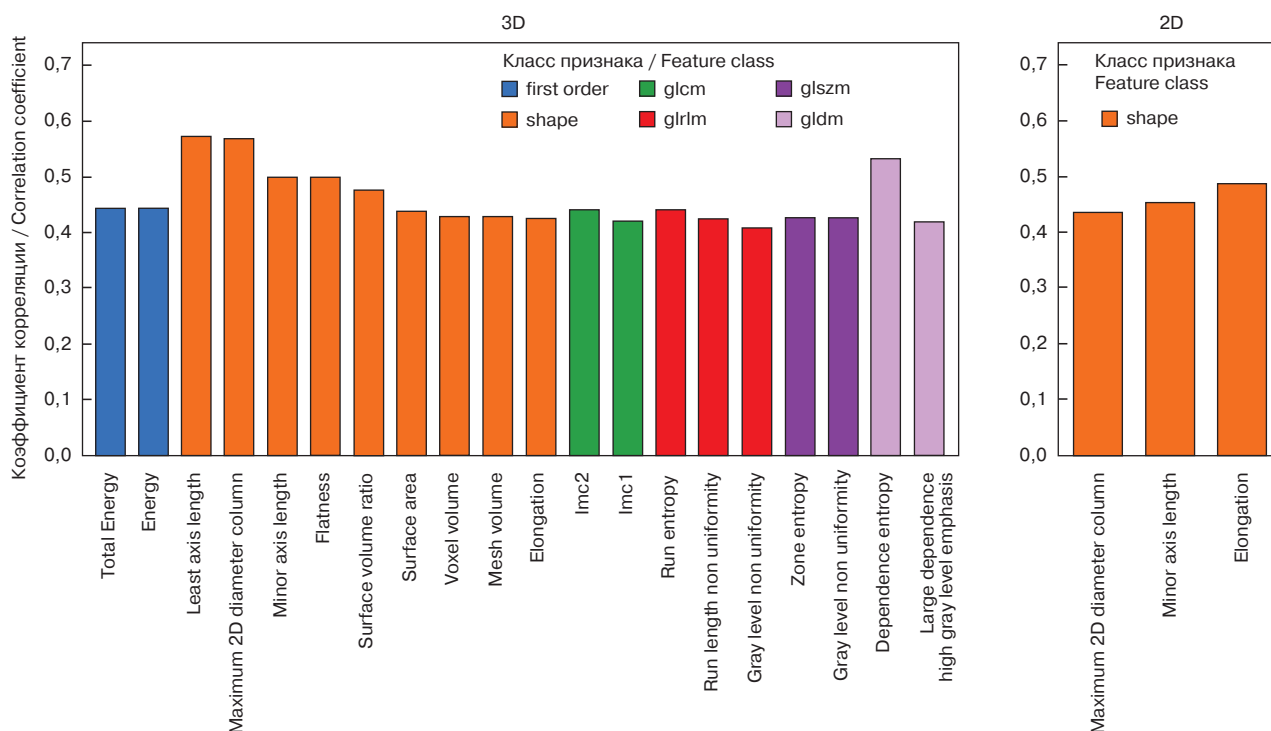
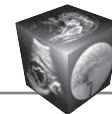


Рис. 4. Коэффициенты корреляции признаков с целевой переменной ($p < 0,05$, $r > 0,4$).
Fig. 4. The correlation coefficients of features with the target variables ($p < 0.05$, $r > 0.4$).

После устранения мультиколлинеарности (высокой взаимной корреляции) количество признаков сократилось до 6 для данных, полученных в ходе анализа одиночных срезов (2D) и до 8 для данных, полученных в ходе анализа 3D-изображений (табл. 2). При этом среднее значение MI (mutual information) для 2D-признаков составило 0,11, в то время как для 3D-признаков данный по-

казатель оказался равен 0,15. Результаты отбора признаков представлены на рис. 5.

Таким образом, основные классы текстурных признаков (в том числе процент от общего количества), по которым мы можем разделить пациентов в зависимости от наличия или отсутствия легочной гипоплазии, это:

- First order (6%),

Таблица 2. Признаки различных классов после устранения мультиколлинеарности для данных, полученных в ходе анализа одиночных срезов (2D) и трехмерных изображений (3D)

Table 2. Signs of different classes after elimination of multicollinearity for data from analysis of single slices (2D) and three-dimensional images (3D)

Класс признаков Class of features	2D-сегментация 2D-segmentation	3D-сегментация 3D-segmentation
First order	90 Percentile	Maximum
Shape	Elongation	Flatness
	Maximum 2D Diameter Column	Least Axis Length
GLCM	–	Imc1
GLSZM	–	–
GLRLM	Run Length Non Uniformity	Gray Level Non Uniformity Normalized
NGTDM	Coarseness	Busyness
GLDM	Small Dependence Low Gray Level Emphasis	Dependence Non Uniformity Normalized
	–	Large Dependence High Gray Level Emphasis

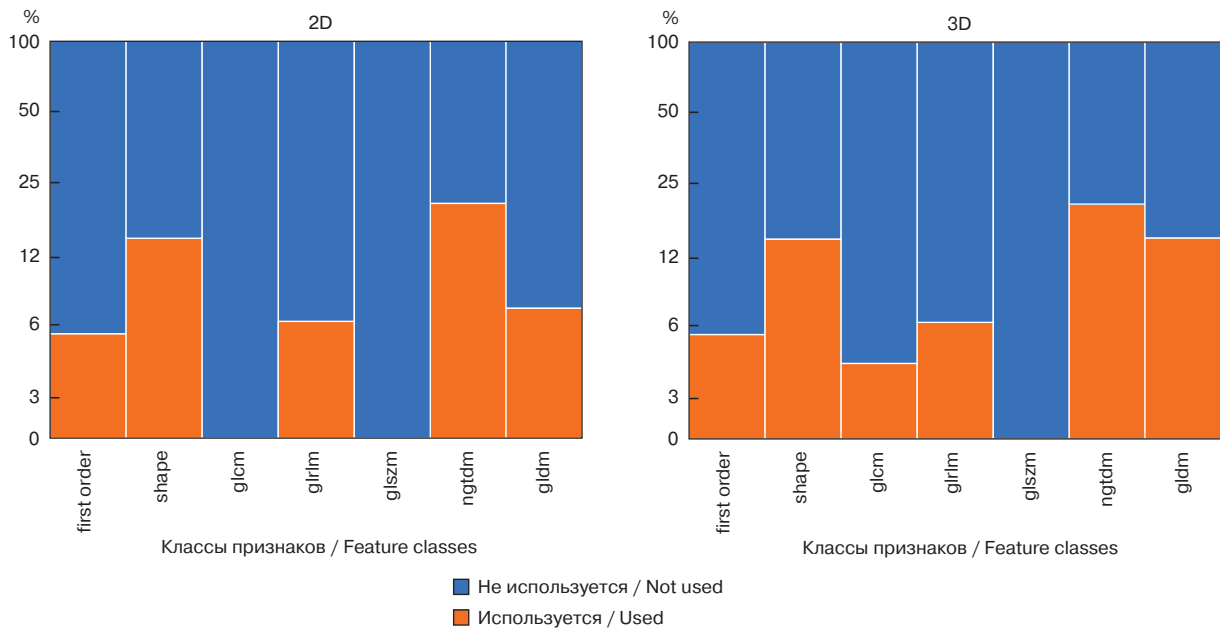


Рис. 5. Процентное соотношение отброшенных и использующихся признаков после устранения мультиколлинеарности ($p < 0,05$, $r > 0,4$).

Fig. 5. Percent of rejected and used features after elimination of multicollinearity ($p < 0.05$, $r > 0.4$).

- Shape (14%),
- GLCM (4%),
- GLRLM (6%),
- NGTDM (20%),
- GLDM (14%).

При этом, исключая признаки, характеризующие форму и размеры (Shape) интересующей зоны (легкое), количество последних сокращается до 4% и 6% от общего количества анализируемых признаков для 2D- и 3D-изображений соответственно.

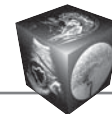
Обсуждение

Процессы созревания легких относятся к одним из наиболее важных факторов, определяющих прогноз в постнатальном периоде среди недоношенных детей или новорожденных с врожденными пороками развития. В большинстве случаев гипоплазия легких проявляется сразу после рождения в виде дыхательной недостаточности и ассоциированной легочной гипертензии и зачастую является непосредственной причиной гибели ребенка [18]. Поэтому своевременное определение степени гипоплазии легких плода, ее градация на летальные и нелетальные формы является основополагающим критерием полноценного антенатального обследования.

К наиболее распространенным критериям оценки зрелости ткани легких можно отнести измерение интенсивности сигнала на T2ВИ и опре-

деление объема легких [19–23]. При этом визуальная оценка интенсивности сигнала представляется субъективной, а использование нормализации (в виде отношения интенсивностей сигнала) на печень, мышцы или цереброспинальную жидкость демонстрируют неоднозначные данные [13, 19, 21–24]. Объемные характеристики легких являются широко используемым признаком их нормального развития и предиктора легочной гипоплазии и, соответственно, дыхательной недостаточности; в то же время единая точка зрения о целесообразности применения данного критерия в качестве предиктора легочной гипертензии отсутствует [13, 25–28]. Рядом авторов предлагалось определение измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) на диффузионно-взвешенных изображениях (ДВИ), другими – анализ внутривоксельного некогерентного движения (Intra-voxel incoherent motion, IVIM), T2* картирования, однако используемые методики также демонстрировали неоднозначные результаты [29–35]. Последние наряду с объемными характеристиками отражают необходимость разработки иных количественных критериев оценки структурной зрелости легких плода.

Потенциально текстурный анализ позволит улучшить диагностику различных аномалий развития путем извлечения количественных признаков из томограмм. Полученные результаты демонстрируют, что использование единичных изображений (2D) в радиомике нецелесообразно: признаки,



извлеченные путем анализа трехмерных данных, обладают более статистически значимой информацией относительно разделения групп пациентов по наличию или отсутствию патологии. После устранения мультиколлинеарности количество признаков сократилось до 6 и 8 для 2D- и 3D-изображений соответственно (5,7 и 7,5% от исходного количества признаков для 2D и 3D). Данное наблюдение согласуется с ранее опубликованными работами [8, 36]. Также можно отметить, что корреляции между признаками и целевой переменной выше в случае использования 3D-изображений: лишь 3 признака, полученных в ходе анализа изображений с одним срезом, показали корреляцию $r > 0,4$, в то время как для 3D-изображений таких признаков оказалось 20 (2,8% и 18,7% от исходного количества признаков для 2D- и 3D-изображений соответственно).

Проведенное исследование имеет ряд особенностей. Во-первых, относительно небольшое количество пациентов в группах сравнения. При этом общая выборка составила большее количество пациентов относительно ранее опубликованных работ по данной тематике [8, 36]. Во-вторых, ввиду ретроспективного дизайна исследования мы не проводили измерение надежности теста путем проведения повторного анализа на той же выборке с использованием других плоскостей сканирования, например аксиальной. Тем не менее, по данным ряда авторов, коэффициент внутривыводимости корреляции (intra-class correlation coefficient, ICC) при текстурном анализе легкого плода (по данным МРТ), полученных во фронтальной и аксиальной проекциях, составил 0,79 (IQR 0.15, 0.2–1), что демонстрирует достаточно высокую надежность и воспроизводимость метода [36]. В-третьих, в рамках проведенного исследования мы не выяснили потенциал радиомического анализа Т1ВИ или ДВИ (ИКД).

Заключение

Таким образом, представленные данные позволяют использовать текстурный анализ в качестве источника дополнительной диагностической информации о структурной зрелости легких. При наборе большего количества пациентов в исследуемых группах радиомический анализ легкого плода по данным МРТ потенциально позволит разработать новые предикторы исходов (наряду с объемными характеристиками легких) при врожденной диафрагмальной грыже, которые будут основаны на прогнозировании дыхательной недостаточности и ассоциированной легочной гипертензии.

Источник финансирования и конфликт интересов

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы “Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии” (№ ЕГИСУ: № 123031500007-6).

Source of financing and conflict of interest

This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Research program to further the standardization, safety and quality of magnetic resonance imaging”, (USIS No. 123031500007-6).

Участие авторов

Сыркашев Е.М. – написание текста, подготовка и редактирование текста.

Буров А.А. – написание текста, подготовка и редактирование текста.

Подуровская Ю.Л. – ответственность за целостность всех частей статьи.

Кадырбердиева Ф.З. – сбор и обработка данных.

Икрянников Е.О. – статистическая обработка данных.

Семенов Д.С. – анализ и интерпретация полученных данных.

Шарова Д.Е. – обзор публикаций по теме статьи.

Васильев Ю.А. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Гус А.И. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Syrkashev E.M. – writing text, text preparation and editing.

Burov A.A. – writing text, text preparation and editing.

Podurovskaya Y.L. – responsibility for the integrity of all parts of the article.

Kadyrberdieva F.Z. – collection and analysis of data.

Ikryannikov E.O. – statistical analysis.

Semenov D.S. – analysis and interpretation of the obtained data.

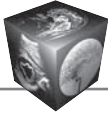
Sharova D.E. – review of publications.

Vasiliev Y.A. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Gus A.I. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Lambin P., Rios-Velazquez E., Leijenaar R. et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur. J. Cancer*. 2012; 48 (4): 441–446. <http://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036>
2. Kumar V., Gu Y., Basu S. et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magn. Reson. Imaging*. 2012; 30 (9): 1234–1248. <http://doi.org/10.1016/j.mri.2012.06.010>
3. Mirestean C.C., Pagute O., Buzea C. et al. Radiomic Machine Learning and Texture Analysis - New Horizons for Head and Neck Oncology. *Maedica (Bucur)*. 2019; 14 (2): 126–130. <http://doi.org/10.26574/maedica.2019.14.2.126>



4. Говорукина В.Г., Семенов С.С., Гележе П.Б., Диденко В.В., Морозов С.П., Андрейченко А.Е. Роль маммографии в радиомике рака молочной железы. *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (2): 185–199. <http://doi.org/10.17816/DD70479>
Govorukhina V.G., Semenov S.S., Gelezhe P.B. et al. The role of mammography in breast cancer radiomics. *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (2): 185–199. <http://doi.org/10.17816/DD70479> (In Russian)
5. Bae S., Choi Y.S., Ahn S.S. et al. Radiomic MRI Phenotyping of Glioblastoma: Improving Survival Prediction. *Radiology*. 2018; 289 (3): 797–806. <http://doi.org/10.1148/radiol.2018180200>
6. Coroller T.P., Agrawal V., Huynh E. et al. Radiomic-Based Pathological Response Prediction from Primary Tumors and Lymph Nodes in NSCLC. *J. Thorac. Oncol.* 2017; 12 (3): 467–476. <http://doi.org/10.1016/j.jtho.2016.11.2226>
7. Du Y., Fang Z., Jiao J. et al. Application of ultrasound-based radiomics technology in fetal-lung-texture analysis in pregnancies complicated by gestational diabetes and/or pre-eclampsia. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2021; 57 (5): 804–812. <http://doi.org/10.1002/uog.22037>
8. Watzenboeck M.L., Heidinger B.H., Rainer J. et al. Reproducibility of 2D versus 3D radiomics for quantitative assessment of fetal lung development: a retrospective fetal MRI study. *Insights. Imaging*. 2023; 14 (1): 31. <http://doi.org/10.1186/s13244-023-01376-y>
9. Heinzerling N., Wagner A. Fetal Diagnosis and Therapy: A Reference Handbook for Pediatric Surgeons. *Fetal Diagn. Ther.* 2013.
10. Jokhi R.P., Whitby E.H. Magnetic resonance imaging of the fetus. *Dev. Med. Child Neurol.* 53 (1): 18–28. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03813.x>
11. Prayer D., Malinge G., De Cotte L. et al.; ISUOG Clinical Standards Committee. ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2023; 61 (2): 278–287. <http://doi.org/10.1002/uog.26129>
12. Prayer D., Malinge G., Brugger P.C. et al. ISUOG Practice Guidelines: performance of fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2017; 49 (5): 671–680. <http://doi.org/10.1002/uog.17412>
13. Düttemeyer V., Cordier A.G., Cannie M.M. et al. Prenatal prediction of postnatal survival in fetuses with congenital diaphragmatic hernia using MRI: lung volume measurement, signal intensity ratio, and effect of experience. *J. Matern. Fetal Neonatal Med.* 2022; 35 (6): 1036–1044. <http://doi.org/10.1080/14767058.2020.1740982>
14. Сыркашев Е.М., Солопова А.Е., Быченко В.Г., Буров А.А., Подуровская Ю.Л., Гус А.И. Антенатальная биометрия легких при врожденной диафрагмальной грыже по данным МРТ. *REJR.* 2020; 10 (4): 169–178. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-4-169-178>
Syrkashev E.M., Solopova A.E., Bychenko V.G. et al. Fetal pulmonary biometry in congenital diaphragmal hernia using MRI. *REJR.* 2020; 10 (4): 169–178. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-4-169-178> (In Russian)
15. Farrugia M.K., Raza S.A., Gould S., Lakhoo K. Congenital lung lesions: classification and concordance of radiological appearance and surgical pathology. *Pediatr. Surg. Int.* 2008; 24 (9): 987–991. <http://doi.org/10.1007/s00383-008-2201-1>
16. Zani A., Chung W.K., Deprest J. et al. Congenital diaphragmatic hernia. *Nat. Rev. Dis. Primers.* 2022; 8 (1): 37. <http://doi.org/10.1038/s41572-022-00362-w>
17. Yushkevich P.A., Gao Y., Gerig G. ITK-SNAP: An interactive tool for semi-automatic segmentation of multi-modality biomedical images. *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Orlando, FL, USA.* 2016; 3342–3345. <http://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591443>
18. Shchegolev A.I., Tumanova U.N. Pulmonary hypoplasia: causes and pathological finding. *Int. J. Appl. Fundam. Res.* 2017; 4: 101–153.
19. Ogawa R., Kido T., Nakamura M. et al. Magnetic resonance assessment of fetal lung maturity: comparison between signal intensity and volume measurement. *Jpn. J. Radiol.* 2018; 36 (7): 444–449. <http://doi.org/10.1007/s11604-018-0745-0>
20. Keller T.M., Rake A., Michel S.C. et al. MR assessment of fetal lung development using lung volumes and signal intensities. *Eur. Radiol.* 2004; 14 (6): 984–989. <http://doi.org/10.1007/s00330-004-2256-x>
21. Oka Y., Rahman M., Sasakura C. et al. Prenatal diagnosis of fetal respiratory function: evaluation of fetal lung maturity using lung-to-liver signal intensity ratio at magnetic resonance imaging. *Prenat. Diagn.* 2014; 34 (13): 1289–1294. <http://doi.org/10.1002/pd.4469>
22. Moshiri M., Mannelli L., Richardson M.L. et al. Fetal lung maturity assessment with MRI fetal lung-to-liver signal-intensity ratio. *Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (6): 1386–1390. <http://doi.org/10.2214/AJR.12.9679>
23. Mills M., Winter T.C., Kennedy A.M., Woodward P.J. Determination of fetal lung maturity using magnetic resonance imaging signal intensity measurements. *Ultrasound Q.* 2014; 30 (1): 61–67. <http://doi.org/10.1097/RUQ.0000000000000054>
24. Yamoto M., Iwazaki T., Takeuchi K. et al. The fetal lung-to-liver signal intensity ratio on magnetic resonance imaging as a predictor of outcomes from isolated congenital diaphragmatic hernia. *Pediatr. Surg. Int.* 2018; 34 (2): 161–168. <http://doi.org/10.1007/s00383-017-4184-2>
25. Cordier A.G., Russo F.M., Deprest J., Benachi A. Prenatal diagnosis, imaging, and prognosis in Congenital Diaphragmatic Hernia. *Semin. Perinatol.* 2020; 44 (1): 51163. <http://doi.org/10.1053/j.semperi.2019.07.002>
26. Madenci A.L., Church J.T., Gajarski R.J. et al. Pulmonary Hypertension in Patients with Congenital Diaphragmatic Hernia: Does Lung Size Matter? *Eur. J. Pediatr. Surg.* 2018; 28 (6): 508–514. <http://doi.org/10.1055/s-0037-1607291>
27. Basurto D., Russo F.M., Papastefanou I. et al. Pulmonary hypertension in congenital diaphragmatic hernia: Antenatal prediction and impact on neonatal mortality. *Prenat. Diagn.* 2022; 42 (10): 1303–1311. <http://doi.org/10.1002/pd.6207>
28. Petroze R.T., Caminsky N.G., Trebichavsky J. et al. Prenatal prediction of survival in congenital diaphragmatic hernia: An audit of postnatal outcomes. *J. Pediatr. Surg.* 2019; 54 (5): 925–931. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.01.021>
29. Moore R.J., Strachan B., Tyler D.J. et al. In vivo diffusion measurements as an indication of fetal lung maturation using echo planar imaging at 0.5T. *Magn. Reson. Med.*



- 2001; 45 (2): 247–253. [http://doi.org/10.1002/1522-2594\(200102\)45:2<247::aid-mrm1033>3.0.co;2-m](http://doi.org/10.1002/1522-2594(200102)45:2<247::aid-mrm1033>3.0.co;2-m)
30. Balassy C., Kasprian G., Brugger P.C. et al. Diffusion-weighted MR imaging of the normal fetal lung. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (4): 700–706. <http://doi.org/10.1007/s00330-007-0784-x>
31. Cannie M., Jani J., De Keyser F. et al. Diffusion-weighted MRI in lungs of normal fetuses and those with congenital diaphragmatic hernia. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2009; 34 (6): 678–686. <http://doi.org/10.1002/uog.7326>
32. Manganaro L., Perrone A., Sassi S. et al. Diffusion-weighted MR imaging and apparent diffusion coefficient of the normal fetal lung: preliminary experience. *Prenat. Diagn.* 2008 Aug;28(8):745–748. <http://doi.org/10.1002/pd.2041>
33. Afacan O., Gholipour A., Mulkern R.V. et al. Fetal lung apparent diffusion coefficient measurement using diffusion-weighted MRI at 3 Tesla: Correlation with gestational age. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2016; 44 (6): 1650–1655. <http://doi.org/10.1002/jmri.25294>
34. Ercolani G., Capuani S., Antonelli A. et al. IntraVoxel Incoherent Motion (IVIM) MRI of fetal lung and kidney: Can the perfusion fraction be a marker of normal pulmonary and renal maturation? *Eur. J. Radiol.* 2021; 139: 109726. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109726>
35. Sethi S., Giza S.A., Goldberg E. et al. Quantification of 1.5T T1 and T2* Relaxation Times of Fetal Tissues in Uncomplicated Pregnancies. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2021; 54 (1): 113–121. <http://doi.org/10.1002/jmri.27547>
36. Prayer F., Watzenböck M.L., Heidinger B.H. et al. Fetal MRI radiomics: non-invasive and reproducible quantification of human lung maturity. *Eur. Radiol.* 2023; 33 (6): 4205–4213. <http://doi.org/10.1007/s00330-022-09367-1>

Для корреспонденции*: Сыркашев Егор Михайлович – тел.: +7-915-107-52-28. E-mail: egorsrkshv@mail.ru

Сыркашев Егор Михайлович – канд. мед. наук, научный сотрудник ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; научный сотрудник ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4043-907X>

Буров Артем Александрович – канд. мед. наук, заведующий по клинической работе ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7374-9803>

Подуровская Юлия Леонидовна – канд. мед. наук, заведующий отделением хирургии новорожденных ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9928-6234>

Кадырбердиева Фаина Залимхановна – канд. мед. наук, научный сотрудник ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-7787-3413>

Икрянников Егор Олегович – техник ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1780-6903>

Семенов Дмитрий Сергеевич – начальник сектора ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>

Шарова Дарья Евгеньевна – руководитель отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Гус Александр Иосифович – доктор мед. наук, главный научный сотрудник ФГБУ “Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1377-3128>

Contact*: Egor M. Syrkashev – phone: +7-915-107-52-28. E-mail: egorsrkshv@mail.ru

Egor M. Syrkashev – Cand. of Sci. (Med.), Researcher of the Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov; Researcher of the Center for Diagnostics and Telemedicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4043-907X>

Artem A. Burov – Cand. of Sci. (Med.), Chief Clinician of the “Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology” Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7374-9803>

Yulia L. Podurovskaya – Cand. of Sci. (Med.), Head of the neonatal surgery department, Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9928-6234>

Faina Z. Kadyrberdiyeva – Cand. of Sci. (Med.), Researcher of “Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology” Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-7787-3413>

Egor O. Ikryanikov – technician of Center for Diagnostics and Telemedicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1780-6903>

Dmitriy S. Semenov – Head of sector of Center for Diagnostics and Telemedicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>

Daria E. Sharova – Head of innovative technologies department, Center for Diagnostics and Telemedicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>

Yuriy A. Vasilev – Cand. of Sci. (Med.), Director of Center for Diagnostics and Telemedicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Aleksandr I. Gus – Doct. of Sci. (Med.), Chief Researcher of Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1377-3128>