

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

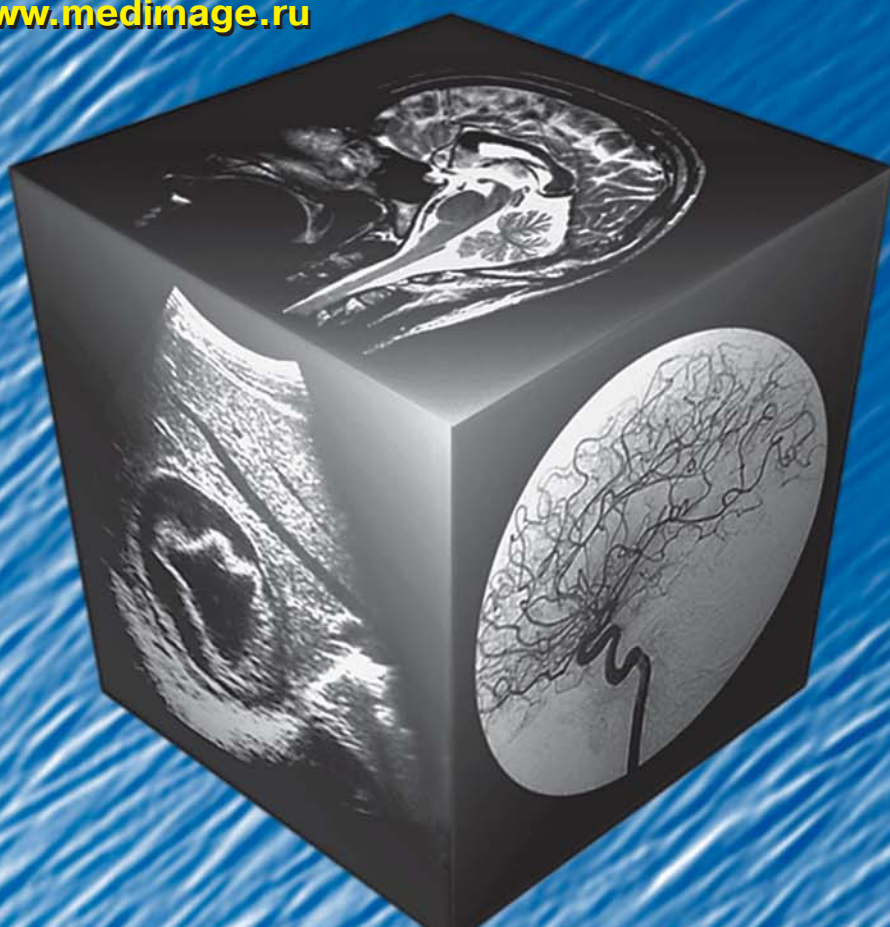
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 29 №4
Vol 29 N4

2025

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



ВИДАР-М

- Нейровизуализация детского инсульта
- МР-морфометрия височных долей у детей
- АРТ-визуализация в диагностике злокачественности глиом
- Трансапикальная имплантация неохорд под рентгенонавигацией
- Сравнительный анализ методов коррекции аортального стеноза
- От наблюдения к тактике: диагностика очагов «мамовое стекло»
- Радиомика и риск панкреатических фистул после ПДР
- Метастатическое поражение яичников: возможности МРТ
- Фьюжн-биопсия предстательной железы: ретроспективный анализ МРТ

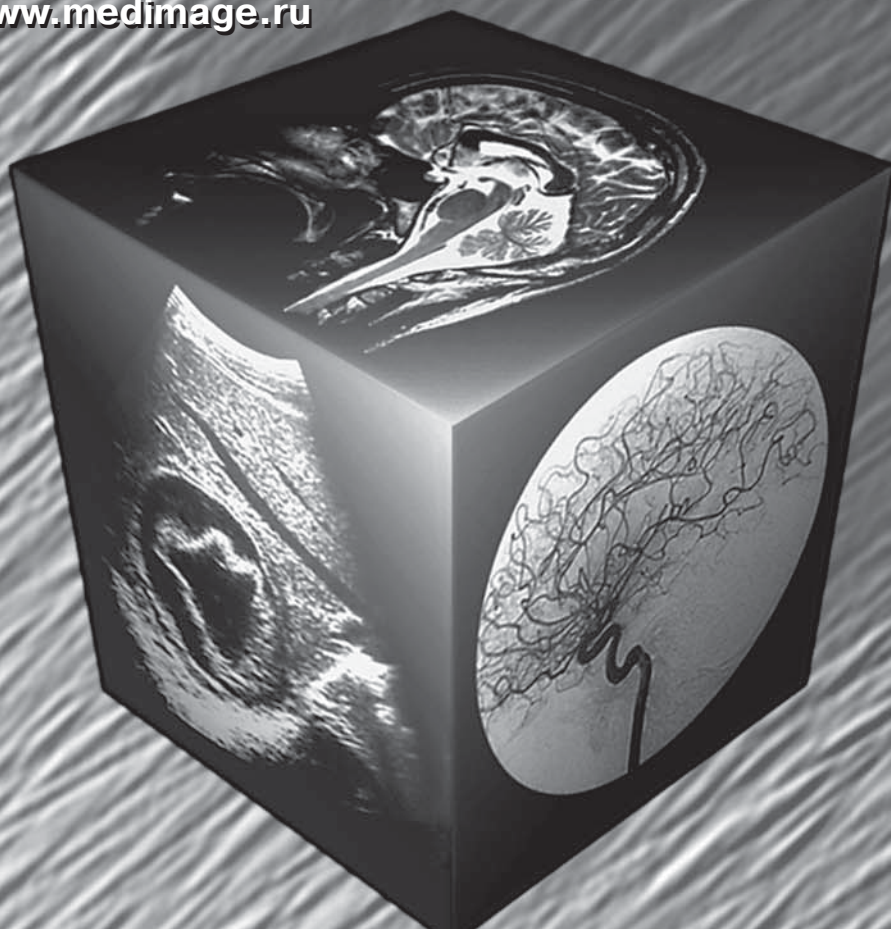
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 29 №4
Vol 29 N4

2025

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



ВИДАР-М

- Нейровизуализация детского инсульта
- МР-морфометрия височных долей у детей
- АРТ-визуализация в диагностике злокачественности глиом
- Трансапикальная имплантация неохорд под рентгеннавигацией
- Сравнительный анализ методов коррекции аортального стеноза
- От наблюдения к тактике: диагностика очагов «матовое стекло»
- Радиомика и риск панкреатических фистул после ПДР
- Метастатическое поражение яичников: возможности МРТ
- Фьюжн-биопсия предстательной железы: ретроспективный анализ МРТ

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization

Meditsinskaya vizualizatsiya

2025 Том 29 №4**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)

Главные редакторы

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/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753**Нуднов Николай Васильевич** – доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заместитель директора по научной работе ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” 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, руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000290149022>. Scopus Author ID: 7102053957

Научные консультанты

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 – канд. мед. наук. E-mail: safonova.td@mail.ru

Редакционная коллегия

Анфиногенова Нина Джоновна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения популяционной кардиологии НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-1106-0730>. Scopus Author ID 15755135700**Араблинский Андрей Владимирович** – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова” Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>. Scopus Author ID 55446175400**Ахадов Толибджон Абдуллаевич** – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой диагностики ГБУЗ города Москвы “Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000308543598>. Scopus Author ID 6701867282**Ахметов Ермек Абибуллаевич** – доктор мед. наук, доцент, доцент кафедры онкологии и визуальной диагностики Казахстано-Российского медицинского университета, Алматы, Республика Казахстан.**Борсуков Алексей Васильевич** – доктор мед. наук, профессор, директор Проблемной научно-исследовательской лаборатории “Диагностические исследования и малоинвазивные технологии” ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, Смоленск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000340477252>. Scopus Author ID 7801311680**Васильев Юрий Александрович** – канд. мед. наук, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация.**Вишнякова Марина Валентиновна** – доктор мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики ГБУЗ МО “Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского”, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0003-3838-636X>. Scopus Author ID: 6603209206

Ветшева Наталья Николаевна – доктор мед. наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>. Scopus Author ID: 6176616600

Груздев Иван Сергеевич – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения рентгеновских и магнитно-резонансных методов исследования ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>. Scopus Author ID: 57209689128.

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

Даутов Таирхан Бекполатович – доктор мед. наук, директор Клинико-академического департамента радиологии и ядерной медицины Университетского медицинского центра, Нур-Султан, Республика Казахстан. <http://orcid.org/0000-0002-5267-0108>. Scopus Author ID 55836811900

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

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

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

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

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, заведующий отделом рентгеновских и магнитно-резонансных методов исследования ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. Scopus Author ID: 55865664400

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/0000-0002-7021-6419>. 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/0000-0002-0369-5755>. 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/0000-0002-5032-4164>

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/0000-0002-5649-2193>. 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/0000-0003-4871-2341>. 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/0000-0002-8008-9660>

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/0000-0002-7352-6068>. 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/0000-0003-4503-950X>. 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/0000-0002-0032-0341>. 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, заведующая кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации факультета непрерывного медицинского образования медицинского института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы; 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/0000-0003-1334-6652>. 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/0000-0002-0310-0889>. Scopus Author ID 7102669707

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

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

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

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

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

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

Адрес для корреспонденции

117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27. НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского (Ревизишвили Амиран Шотаевич)

E-mail: nudnov@rncrr.ru Тел.: +7-495-334-29-60 (Нуднов Николай Васильевич)

<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”, 2025.

Все права сохраняются.

Формат 60 × 90 1/8. Печ. л. 18. Тираж 1500 экз. Свободная цена.
Отпечатано в типографии Onebook.ru (ООО “СамПолиграфист”), www.onebook.ru
Подписано в печать 1.12.2025 г.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация

Meditsinskaya vizualizatsiya

2025 V. 29 N4**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)**Editors-in-Chief****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/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753**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/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053**Publishing Editor****Alexander I. Gromov** – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the group of radiation methods of diagnosis and treatment N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology - branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. Email: gai8@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>. Scopus Author ID: 7102053957**Scientific consultants****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** – Cand. of Sci. (Med.). E-mail: safonova.td@mail.ru**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/0000-0002-3235-8854>**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/0000-0003-4047-7252>. Scopus Author ID 7801311680**Yuri A. Vasiliev** – Cand. of Sci. (Med.), Director of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation.

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

Natalia N. Vetsheva – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>. Scopus Author ID: 6176616600

Ivan S. Gruzdev – Cand. of Sci. (Med.), Researcher of the X-ray and Magnetic Resonance Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>. Scopus Author ID: 57209689128

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

Evgeny V. Kondratyev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the X-ray and Magnetic Resonance Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. Scopus Author ID: 55865664400

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

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/0000-0003-1940-9175>. 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/0000-0002-7021-6419>. 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/0000-0003-1694-4682>. 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/0000-0002-0369-5755>. 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/0000-0002-3490-6324>. 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/0000-0002-5032-4164>

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/0000-0002-5649-2193>. 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/0000-0002-2348-4963>. 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/0000-0003-4871-2341>. 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/0000-0002-8008-9660>

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/0000-0002-7352-6068>. 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/0000-0003-4503-950X>. 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/0000-0002-0032-0341>. 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, Head of the Department of Radiology and Medical Imaging, Faculty of Continuing Medical Education, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 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/0000-0003-1334-6652>. 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/0000-0002-0310-0889>. Scopus Author ID 7102669707

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

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

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

Reg. № ПИ № ФС-77-21017, 12.05.05.

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

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

For inquiries relating to the publication, please contact:

27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., 117997, Moscow, Russian Federation.

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery (Amiran Sh. Revishvili)

E-mail: nudnov@rncrr.ru Phone: +7-495-334-29-60 (Nikolay V. Nudnov)

<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., 2025
All rights reserved

Format 60 × 90 1/8. 18 printer's sheet. Circulation: 1500 ex. Free price.
Printed at Onebook.ru (OOO “SamPoligrafist”), www.onebook.ru
Signed for printing: 1.12.2025



Содержание

Голова

- 10** Возможности методов нейровизуализации в оценке временных этапов развития ишемического инсульта у детей
Молодцов М.С., Горбунов А.В., Умеренков В.Н., Кессель А.Е., Кузнецова А.А., Хасанова К.А., Левов А.В.
- 22** Магнитно-резонансная морфометрия головного мозга у детей с детальной оценкой височных долей
Семибратов Н.Н., Фокин В.А., Труфанов Г.Е., Ефимцев А.Ю., Абрамов К.Б., Кондратьев Г.В., Левчук А.Г.
- 36** Визуальная оценка изображений, взвешенных по амидному протонному переносу, как критерий оценки злокачественности опухоли глиального ряда
Клюев Е.А., Сухова М.Б., Растеряева М.В., Кухнина Л.С., Зинатуллин Р.Д., Гришин А.С., Остапук М.В., Медяник И.А., Яшин К.С.

Сердце и сосуды

- 48** Роль рентгенологической навигации при трансапикальной имплантации митральных неоордов при значимой митральной регургитации на работающем сердце
Хубулава Г.Г., Быстров Э.В., Титов Н.С., Буненков Н.С., Комок В.В., Немков А.С.
- 58** Отдаленные результаты коррекции тяжелого аортального стеноза с использованием кардиохирургических и эндоваскулярных методов по данным контроля лучевыми методами
Тарасевич С.В., Жерко О.М., Крачак Д.И., Галицкая С.С.

Грудная клетка

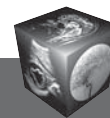
- 73** “Матовое стекло” — от наблюдения к действию. Современный арсенал диагностики периферических очаговых образований в легких по типу “матового стекла”
Лагкуева И.Д., Черниченко Н.В., Нуднов Н.В., Мурзин Я.Ю., Мельникова Н.В., Солодкий В.А.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

- 81** Оценка возможностей машинного обучения в радиомике для прогнозирования риска развития клинически значимых панкреатических фистул после панкреатодуоденальных резекций на КТ-изображениях
Кондратьев Е.В., Мазурок А.В., Усталов А.А., Шмелева С.А., Стручков В.Ю., Марков П.В., Сеницын В.Е.

Малый таз

- 94** Магнитно-резонансная томография в диагностике метастатического поражения яичников
Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Сергеев Н.И., Солодкий В.А., Шахвалиева Э.С.-А.
- 107** Ретроспективный анализ данных МРТ пациентов, перенесших фьюжн-биопсию предстательной железы
Громов А.И., Корякин А.В., Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Сивков А.В., Толстов И.С.



Contents

Head

- 10 Potential of neuroimaging methods in assessing the time stages of development of ischemic stroke in children**
Maxim S. Molodtsov, Alexander V. Gorbunov, Victor N. Umerenkov, Alexander E. Kessel, Alexandra A. Kuznetsova, Ksenia A. Khasanova, Aleksandr V. Levov
- 22 Features of voxel-based morphometry in children: focusing on the temporal lobes**
Nikolay N. Semibratov, Vladimir A. Fokin, Gennadiy E. Trufanov, Aleksandr Y. Efimtsev, Konstantin B. Abramov, Gleb V. Kondratiev, Anatoly G. Levchuk
- 36 Visual evaluation of amide proton transfer weighted images as an assessment criterion of the malignancy of a glial tumors**
Evgenii A. Kliuev, Marina B. Sukhova, Marina V. Rasteryaeva, Liudmila S. Kukhnina, Radik D. Zinatullin, Artyom S. Grishin, Mikhail V. Ostapiuk, Igor A. Medyanik, Konstantin S. Yashin

Heart and vessels

- 48 The role of X-ray navigation in transapical implantation of mitral neochords for significant mitral regurgitation on the beating heart**
Gennady G. Khubulava, Eduard V. Bystrov, Nikita S. Titov, Nikolai S. Bunenkov, Vladimir V. Komok, Alexander S. Nemkov
- 58 Long-term results of correction of severe aortic stenosis using cardiac surgical and endovascular methods, as from radiologic control data**
Svetlana V. Tarasevich, Olga M. Zherko, Dmitry I. Krachak, Svetlana S. Galitskaya

Thorax

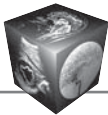
- 73 Ground glass opacity: from observation to action. A modern diagnostic tool for peripheral focal ground glass opacity in the lungs**
Irina D. Lagkueva, Natalya V. Chernichenko, Nikolay V. Nudnov, Yaroslav Yu. Murzin, Nadezhda V. Melnikova, Vladimir A. Solodkiy

Abdomen and retroperitoneum

- 81 Assessment of machine learning in radiomics for predicting the risk of clinically significant pancreatic fistulas after pancreatoduodenal resections using CT imaging**
Evgeny V. Kondratyev, Alina V. Mazurok, Andrey A. Ustalov, Sofia A. Shmeleva, Vladimir Y. Struchkov, Pavel V. Markov, Valentin E. Sinitsyn

Small pelvis

- 94 Magnetic resonance imaging in the diagnosis of metastatic ovarian lesions**
Svetlana P. Aksenova, Nikolay V. Nudnov, Nikolay I. Sergeev, Vladimir A. Solodkiy, Elina S.-A. Shakhvalieva
- 107 Retrospective analysis of MRI data in patients undergoing fusion biopsy of the prostate**
Alexander I. Gromov, Andrey V. Koryakin, Andrey D. Kaprin, Boris Ya. Alekseev, Andrey V. Sivkov, Ivan S. Tolstov



Возможности методов нейровизуализации в оценке временных этапов развития ишемического инсульта у детей

© Молодцов М.С.^{2, 1*}, Горбунов А.В.^{1, 3}, Умеренков В.Н.¹,
Кессель А.Е.¹, Кузнецова А.А.¹, Хасанова К.А.¹, Левов А.В.¹

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 имени Л.А. Ворохобова ДЗ города Москвы";
123423 Москва, ул. Саляма Адила, д. 2/44, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова
Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Цель исследования. Проанализировать данные компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) у детей с ишемическим инсультом на разных временных этапах патологического процесса и определить значение полученных результатов.

Материал и методы. В основу исследования положен анализ результатов обследования 105 детей (в возрасте от 29-го дня жизни до 18 лет) с клиническими проявлениями инсульта, которым проведена КТ в 48 и МРТ в 101 случае, из них сочетание было в 44 случаях. При статистическом сравнении характеристик МРТ-сигнала очага ишемического нарушения мозгового кровообращения (иНМК) в режимах T2ВИ и FLAIR применялся критерий Мак-Немара. При описательной статистике использовалось определение медианы, а при качественных данных – определение абсолютных и относительных частот с указанием 95% доверительного интервала.

Результаты. КТ позволяет выявить очаговое поражение при иНМК на начальных этапах его развития в 62,5% случаев, но не дает возможность дифференцировать стадию, в отличие от МРТ, которая позволяет определить сверхострую, острую, раннюю и позднюю подострую стадии. В связи с малоразличимыми характеристиками МРТ-сигнала от очага иНМК на T2-, T1ВИ, FLAIR и ДВИ (b = 1000) в сочетании с ИКД-картой в острую и раннюю подострую стадии необходимо проводить анализ перифокальных изменений очага ишемии головного мозга (ГМ). Установлено, что в острую и раннюю подострую стадии режимы T2ВИ и FLAIR могут быть взаимозаменяемы, так как имеют одинаковые характеристики МР-сигнала очагового изменения в этот временной промежуток.

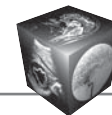
Обсуждение. Проведенное исследование продемонстрировало возможности КТ и МРТ у детей с иНМК в выявлении и определении временных этапов развития патологического процесса. Определена МРТ-семиотика очага иНМК на этапе первых 21 сут от момента развития неврологической симптоматики. Установлен диагностический МРТ-признак, позволяющий дифференцировать острую с ранней подстрой стадией, а также режимы при МРТ-обследовании, необходимые для установления времени от момента возникновения неврологической симптоматики. Выявлены различия в МРТ-семиотике иНМК у детей и взрослых, которые могут возникать в результате физиологических особенностей детского мозга, обуславливающих течение патологического процесса.

Закключение. Нейровизуализация методами КТ и МРТ является обязательной у детей с клинической картиной нарушения мозгового кровообращения. Отсутствие очагового поражения в веществе ГМ на КТ-изображениях с сохраняющейся или нарастающей неврологической симптоматикой создает потребность в проведении МРТ. Применение КТ дает возможность определить очаговое поражение вещества ГМ, но не позволяет оценить временные границы развития иНМК, в отличие от МРТ, которая на основании совокупного анализа разных режимов сканирования и оценки периферических отделов очагового поражения позволяет дифференцировать стадийность ишемического инсульта.

Ключевые слова: КТ; МРТ; детский возраст; инфаркт мозга; ишемический инсульт

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Работа выполнена в ГБУЗ "Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ Москвы".



Для цитирования: Молодцов М.С., Горбунов А.В., Умеренков В.Н., Кессель А.Е., Кузнецова А.А., Хасанова К.А., Левов А.В. Возможности методов нейровизуализации в оценке временных этапов развития ишемического инсульта у детей. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 10–21. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1491>

Поступила в редакцию: 04.07.2024. **Принята к печати:** 11.06.2025. **Опубликована online:** 13.10.2025.

Potential of neuroimaging methods in assessing the time stages of development of ischemic stroke in children

© Maxim S. Molodtsov^{2, 1*}, Alexander V. Gorbunov^{1, 3}, Victor N. Umerenkov¹, Alexandr E. Kessel¹, Alexandra A. Kuznetsova¹, Ksenia A. Khasanova¹, Aleksandr V. Levov¹

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

² L.A. Vorokhobov City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; 2/44, Salam Adil str., Moscow 123423, Russian Federation

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

Purpose of the study. To analyze the data of computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) in children with ischemic stroke at different time stages of the pathological process and determine the significance of the results obtained.

Materials and methods. The study is based on the analysis of the examination results of 105 children (aged from 29 days to 18 years) with clinical manifestations of stroke, who underwent CT in 48 cases and MRI in 101 cases, of which a combination was in 44 cases. In statistical comparison of the characteristics of the MRI signal of the focus of ischemic cerebrovascular accident (iCVA) in T2-WI and FLAIR modes, the McNemar criterion was used. In descriptive statistics, the definition of the median (Me) was used, and in qualitative data – the definition of absolute and relative frequencies with an indication of the 95% confidence interval (CI).

Results. CT allows to detect focal lesion in ischemic stroke at the initial stages of its development in 62.5% of cases, but does not provide the opportunity to differentiate the stage, unlike MRI, which allows to determine the hyperacute, acute, early and late subacute stages. Due to the poorly distinguishable characteristics of the MRI signal from the focus of ischemic stroke on T2-WI, T1-WI, FLAIR and DWI ($b = 1000$) in combination with the ADC map in the acute and early subacute stages, it is necessary to analyze perifocal changes in the focus of cerebral ischemia. It was found that in the acute and early subacute stages, the T2-WI and FLAIR modes can be interchangeable, since they have the same characteristics of the MR signal of the focal change in this time interval.

Discussion. The conducted study demonstrated the capabilities of CT and MRI in children with iCVA in identifying and determining the time stages of the pathological process development. MRI semiotics of the iCVA focus at the stage of the first 21 days from the moment of development of neurological symptoms were determined. A diagnostic MRI sign was established that allows differentiating the acute with the early subacute stage, as well as the modes in MRI examination necessary to establish the time from the moment of occurrence of neurological symptoms. Differences in MRI semiotics of iCVA in children and adults were revealed, which can occur as a result of physiological features of the child's brain, causing the course of the pathological process.

Conclusions. Neuroimaging using CT and MRI methods is mandatory in children with a clinical picture of cerebrovascular accident. The absence of focal lesions in the brain tissue on CT images with persistent or increasing neurological symptoms creates the need for MRI. The use of CT makes it possible to determine focal lesions in the brain tissue, but does not allow assessing the time limits for the development of ischemic stroke, unlike MRI, which, based on a combined analysis of different scanning modes and assessment of the peripheral parts of the focal lesion, allows differentiating the stages of ischemic stroke.

Keywords: CT; MRI; childhood; cerebral infarction; ischemic stroke

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

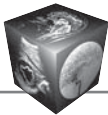
The work was carried out at the Morozov Children's City Clinical Hospital of the Moscow Health Department.

For citation: Molodtsov M.S., Gorbunov A.V., Umerenkov V.N., Kessel A.E., Kuznetsova A.A., Khasanova K.A., Levov A.V. Potential of neuroimaging methods in assessing the time stages of development of ischemic stroke in children. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 10–21. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1491>

Received: 04.07.2024.

Accepted for publication: 11.06.2025.

Published online: 13.10.2025.



Авторы выражают благодарность доктору медицинских наук Мазаеву Александру Павловичу за инновационные идеи и существенную помощь в написании данной статьи.

Введение

Педиатрический инсульт – это остро возникшая очаговая или общемозговая неврологическая симптоматика, которая длится более 24 ч в результате острого нарушения мозгового кровообращения у детей в периоде от 29-го дня жизни ребенка до 18 лет [1, 2]. Актуальность проблемы ишемического нарушения мозгового кровообращения (иНМК) в педиатрической практике обусловлена увеличением частоты его встречаемости, активным применением и развитием методов лучевой диагностики [3, 4]. В 2014 г. на базе ГБУЗ “Морозовская ДГКБ ДЗМ” был создан Центр по лечению цереброваскулярной патологии у детей и подростков, по данным которого отмечено, что в 2014 г. число пациентов, поступивших в стационар с клинической картиной НМК, составляло 169 человек, а в 2020 г. – 408 [5].

Особенности этиологии иНМК, неспецифическое клиническое течение заболевания, а также патологические процессы, имитирующие неврологические симптомы, значительно увеличивают временные границы диагностики и создают существенные трудности в установлении истинной причины возникшего состояния [6, 7]. Нейровизуализация методами компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) позволяет своевременно установить тип патологического процесса, оценить его размеры, локализацию и распространенность, что способствует выбору тактики лечения [8]. Известно о возможности МРТ в определении причины возникновения иНМК на основе МРТ-семиотики очагового поражения [9, 10].

В связи с развитием методов лечения иНМК у детей [11, 12] перед лучевой диагностикой встает вопрос не только быстрого и точного установления причины возникновения очаговых изменений в структуре головного мозга (ГМ), но и определения временных границ развития патологического процесса. Метод КТ является начальным этапом нейровизуализации ребенка, поступившего с клинической картиной НМК. Известно о диагностической возможности КТ в разные стадии формирования иНМК у взрослых: в первые 3 ч развития инфаркта ГМ выявление ранних КТ-признаков возможно в 31–53% случаев, а после 6 ч чувствительность не превышает 67% [13, 14]. Применение КТ может ответить на вопрос о наличии очагового поражения ГМ при иНМК, но, в отли-

чие от МРТ, не позволяет установить временные границы развития патологического процесса. В литературе описана МРТ-семиотика иНМК на разных временных этапах у пациентов взрослой популяции [15, 16]. При этом необходимо сказать о возможных трудностях использования МРТ-семиотики иНМК у взрослого населения при детском возрасте, которые обусловлены особенностями физиологии развития головного мозга ребенка [17]. Известно, что перфузия ГМ у детей сильно отличается в зависимости от возраста. Максимальные показатели перфузии отмечены в периоде 2–4 лет жизни ребенка, а показатели, характерные для взрослого населения, наблюдаются к 11 годам жизни [18]. Кроме того, описаны различия в количестве эритроцитов и концентрации гемоглобина в детском возрасте, с наибольшими значениями в возрасте первых двух лет жизни [19]. Особенности физиологии детского мозга в разные возрастные периоды могут влиять на скорость протекания патологических процессов, в связи с этим описанная в литературе КТ- и МРТ-визуализация иНМК стадий инфаркта ГМ может отличаться от взрослой популяции.

Таким образом, КТ и МРТ являются основными методами диагностики при иНМК в детском возрасте и позволяют установить наличие патологического процесса. Однако развитие методов лечения иНМК у детей требует установления временных границ, которые могут быть дифференцированы благодаря методам нейровизуализации на основе анализа семиотики очагового поражения.

Цель исследования: проанализировать данные КТ и МРТ у детей с ишемическим инсультом на разных временных этапах патологического процесса и определить значение полученных результатов.

Материал и методы

Проанализированы результаты обследования 105 детей с клиническими проявлениями НМК на разных временных этапах развития патологического процесса, у которых в результате выполнения нейровизуализации методами КТ и МРТ установлено иНМК. Обследованы дети в возрасте от 29-го дня жизни до 18 лет, средний возраст составил 72 мес [14; 132], мальчиков было 64 (61%) и девочек 41 (39%) (табл. 1).

КТ проводилась на аппаратах Philips Brilliance iCT Elite 256 срезов и Toshiba Aquilion Prime 160 срезов, а МРТ – на аппарате фирмы Toshiba Vantage Atlas с индукцией магнитного поля 1,5 Тл, Philips Ingenia 1,5 Тл и Philips Omega HP 3 Тл. Анализировались бесконтактные КТ- и МРТ-изображения.

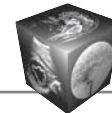


Таблица 1. Распределение детей с ишемическим нарушением мозгового кровообращения по полу и возрасту
Table 1. Distribution of children with ischemic cerebrovascular accident by gender and age

Показатель / Parameter	
Пол / Gender	
М / Male	64 (61%)
Ж / Female	41 (39%)
Возраст, годы / Age, years	
0–2	27 (25.7%)
2–6	21 (20%)
6–10	26 (24.8%)
10–18	31 (29.5%)
Медиана, мес / Median, months [25–75]	72 [14; 132]

Методом КТ обследовано 48 детей, МРТ – 101, сочетанным методом – 44. Протокол МРТ-обследования включал в себя следующие режимы сканирования: T2 TSE (T2ВИ), T2 FLAIR (FLAIR), а также диффузно-взвешенные изображения (ДВИ) EPI с фактором диффузии $b = 0$ и $b = 1000$, позволяющим получить измеряемый коэффициент диффузии (ИКД) с толщиной среза 3 мм и T1 TSE (T1ВИ) с толщиной среза 1 и 3 мм. В 56 случаях МРТ-исследование включало импульсную последовательность по магнитной восприимчивости (T2*/SWI): в период первых 6 ч – у 11 пациентов, в период 6–48 ч – у 21, в период 3–7 сут – у 19 и в период 7–21 сут – у 5 пациентов.

Классификация стадий иНМК основывалась на времени от момента возникновения неврологической симптоматики из анамнестических данных.

Для статистического сравнения характеристик МР-сигнала очага иНМК на всех временных эта-

пах патологического процесса в режимах сканирования T2ВИ и FLAIR использовался критерий Мак-Немара. При описательной статистике количественных признаков применялось определение медианы (Me) с указанием показателей нижнего (25-го) и верхнего (75-го) квартилей. Описание качественных данных проводилось с помощью абсолютных и относительных частот с указанием 95% доверительного интервала (ДИ).

Результаты исследования

В результате анализа КТ- и МРТ-обследований у детей с иНМК установлены особенности локализации очагового поражения в веществе ГМ. В каротидном бассейне кровоснабжения инфаркт ГМ определялся в 67,6% ($n = 71$) случаев, в вертебробазилярном – в 13,3% ($n = 14$), а сочетание поражения обоих бассейнов наблюдалось в 19,1% ($n = 20$) случаев. Очаги иНМК наиболее часто располагались в зонах ГМ, кровоснабжаемых средней мозговой артерией (77,1%, $n = 81$), как при изолированном, так и в сочетании с другими бассейнами кровоснабжения. Отмечено, что обособленная локализация патологического процесса в бассейнах передней (3,8%, $n = 4$) и задней (2,9%, $n = 3$) мозговых артерий, базилярной (основной) (2,9%, $n = 3$) и позвоночной (0,95%, $n = 1$) артериях встречается редко, а чаще наблюдается сочетание этих зон кровоснабжения.

Проанализированы КТ-исследования 48 детей на разных временных этапах развития патологического процесса (табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что применение КТ позволило выявить очаговое поражение ГМ на всех этапах формирования иНМК. При этом отмечена низкая диагностическая возможность метода на этапе первых 12 ч, всего в 27% случаев, в отли-

Таблица 2. КТ у детей с клиническими проявлениями нарушения мозгового кровообращения
Table 2. CT in children with clinical manifestations of cerebrovascular accident

Сроки выполнения КТ от момента возникновения симптоматики Timing of CT scan from the moment of symptom onset	Всего обследовано пациентов Total number of patients examined ($n = 48$)	Количество пациентов, у которых выявлено очаговое поражение Number of patients with focal lesions	Плотностные показатели в очаге поражения Density indicators in the lesion (min–max, HU)	Размер очагового поражения (аксиальный размер min–max, мм) Size of focal lesion (axial size min–max, mm)
Первые 12 ч The first 12 hours	22	6	21–27	4–22
Период 12–24 ч Period 12–24 hours	19	18	18–24	6–38
Свыше 24 ч Over 24 hours	7	6	6–38	7–39

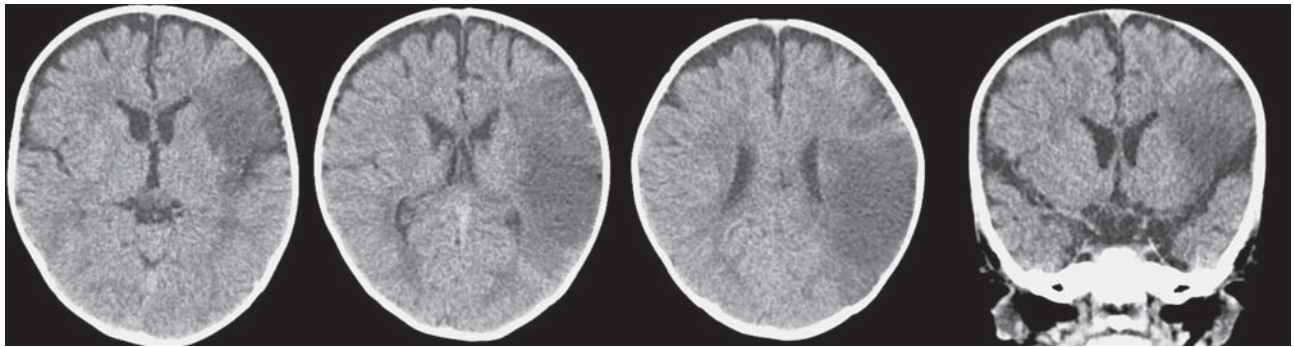
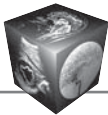


Рис. 1. КТ-обследование ребенка в возрасте 6 мес в 1-е сутки от момента возникновения неврологической симптоматики. В зоне кровоснабжения периферических ветвей средней мозговой артерии определяется массивная гиподенсная зона (зона ишемического инсульта) неправильной формы, с нечеткими неровными контурами, с наличием масс-эффекта в виде сужения межгиральных пространств.

Fig. 1. CT examination of a child aged 6 months on the first day from the onset of neurological symptoms. In the zone of blood supply to the peripheral branches of the middle cerebral artery, a massive hypodense zone (ischemic stroke zone) of irregular shape, with unclear uneven contours, and the presence of a mass effect in the form of narrowing of the intergyral spaces is determined.

чие от периода свыше 12 ч (рис. 1). Всем пациентам с сохраняющейся клинической симптоматикой и отсутствием очагового поражения на КТ-изображениях была проведена МРТ, которая позволила установить наличие иНМК.

Проведенное исследование продемонстрировало снижение плотностных показателей в очаге поражения с увеличением времени от момента неврологических проявлений, которое варьировало от 18 до 27 НУ. Анализ полученных плотностных характеристик на разных временных этапах развития патологического процесса не позволил достоверно установить временной промежуток иНМК в связи с тем, что показатели плотности статистически значимо не различались.

Использование КТ дало возможность выявить очаговые поражения вещества ГМ размерами от 6 до 7 мм, которые локализовались в центральных отделах больших полушарий мозга, а именно: в области базальных ядер, таламусах и в перивентрикулярном белом веществе.

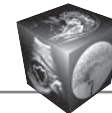
Применение КТ в качестве первичной методики нейровизуализации у детей с клинической картиной НМК является необходимым для исключения патологических изменений, требующих экстренных хирургических манипуляций. Однако при отсутствии очагового поражения вещества ГМ на КТ-изображениях важным и необходимым этапом в диагностике иНМК является проведение МРТ (рис. 2), которая дает возможность не только установить формирование ишемического поражения, но и оценить временные показатели развития иНМК в результате совокупного анализа режимов сканирования. Проведенное исследование позволило определить МРТ-семиотику и сопутствующие

признаки иНМК у детей на разных временных этапах формирования патологического процесса (табл. 3, 4).

Как видно из табл. 3, использование МРТ у детей дает возможность установить иНМК в 100% случаев на всех этапах патологического процесса, в том числе на начальных сроках формирования ишемии. Проведенный анализ очагов ишемии в разных режимах сканирования позволил определить МРТ-семиотику в зависимости от стадии. Важным этапом в МРТ-визуализации при иНМК является получение ДВИ с построением ИКД-карты, особенно для дифференциальной диагностики сверхострой стадии, которая характеризуется отсутствием патологического МРТ-сигнала или слабовыраженным повышением МРТ-сигнала на T2ВИ и FLAIR в сочетании с ограничением диффузии.

В первые несколько суток иНМК представляет собой формирование цитотоксического отека в результате уменьшения межклеточного пространства вследствие гибели клеток и имеет патогномоничный МРТ-признак в виде ограничения диффузии на ДВИ, который мы наблюдали у 100% обследованных детей на протяжении первых 7 дней с момента возникновения неврологической симптоматики (рис. 3).

Визуализация очага патологического МР-сигнала была возможна на T2-, T1ВИ и FLAIR начиная со сверхострой стадии. Проанализированы характеристики МР-сигнала очагов иНМК в режимах T2ВИ и FLAIR в разные временные сроки развития ишемических изменений с применением статистического анализа. В анализируемую группу пациентов с иНМК в поздней подострой стадии не



вошли 13 детей, у которых после проведения МРТ выявлены кистозно-глиозные изменения. Обнаружено, что в сверхострой стадии характеристики МР-сигнала очагового поражения на T2ВИ и FLAIR не совпадали в 1 (9%) наблюдении из 11 (95% ДИ 5%–43%) и в поздней подострой стадии в 3 (27%) наблюдениях из 11 (95% ДИ 7–61%), а в острой и ранней подострой стадиях отмечено полное совпадение сигнала в 29 и 37 случаев соответст-

венно. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о возможной взаимозаменяемости режимов T2ВИ и FLAIR у детей с иНМК в промежутке от 6 ч до 7 сут. Однако необходимо учесть, что в период продолжающейся миелинизации ГМ, в возрасте до 2 лет, T2ВИ дает возможность лучше дифференцировать границы анатомических структур, в отличие от FLAIR.

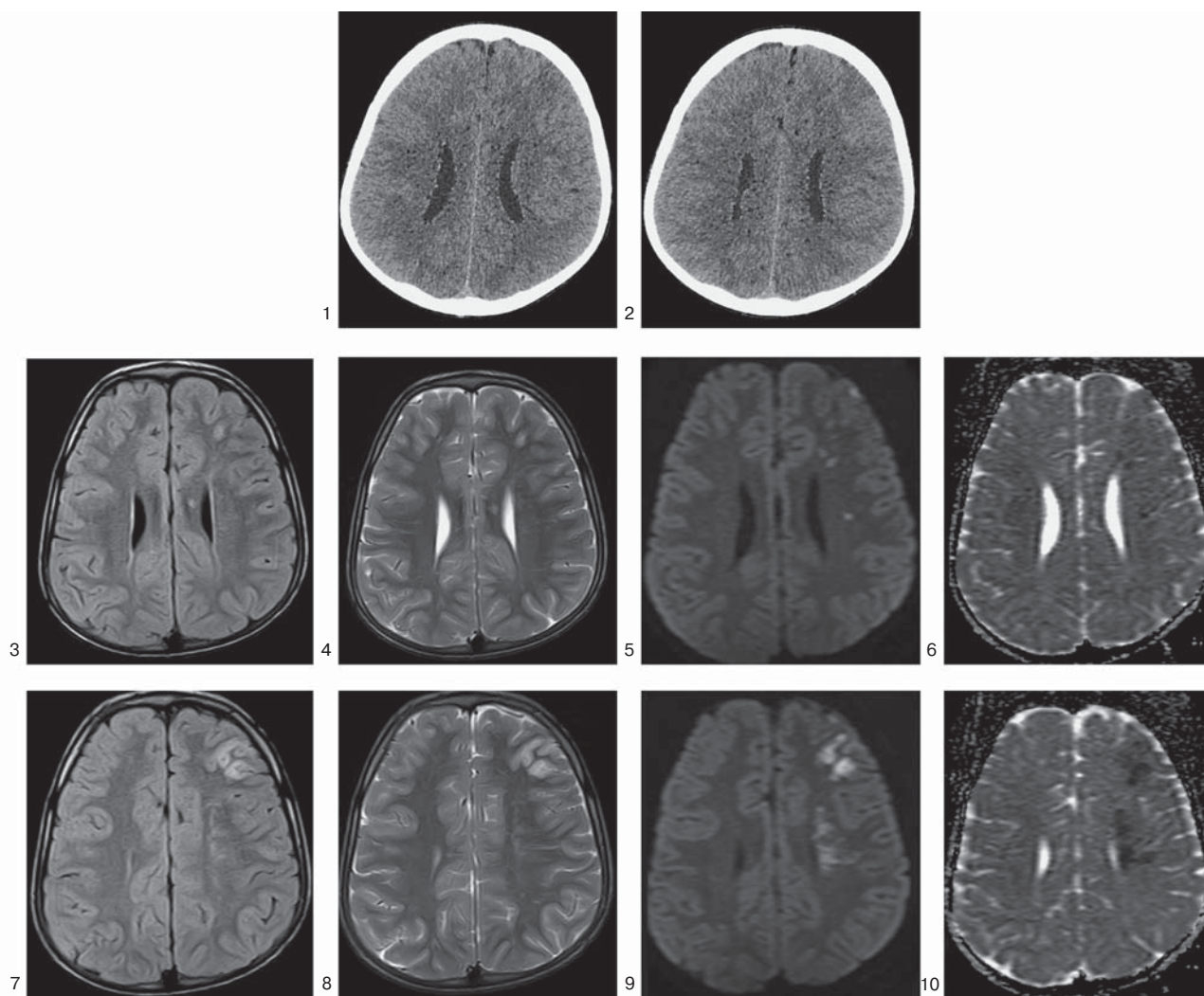


Рис. 2. КТ- и МРТ-обследование мальчика в возрасте 7 лет. КТ выполнена в первые 6 ч от момента возникновения неврологической симптоматики, МРТ в 1-е сутки. На представленных КТ-изображениях (1, 2) в левой лобной доле отмечен участок нарушения дифференцировки серого и белого вещества головного мозга. Проведение МРТ-обследования в режимах FLAIR (3, 7), T2 (4, 8), ДВИ с фактором $b = 1000$ (5, 9) и ИКД (6, 10) позволило установить наличие множественных очагов ишемического инсульта в острой стадии в бассейне левой средней мозговой артерии, оценить границы и размеры патологических изменений.

Fig. 2. CT and MRI examination of a boy aged 7 years. CT was performed in the first 6 hours from the onset of neurological symptoms, MRI was performed on the first day. On the presented CT images (1, 2), an area of impaired differentiation of the gray and white matter of the brain is noted in the left frontal lobe. MRI examination in FLAIR (3, 7), T2 (4, 8), DWI ($b = 1000$) (5, 9) and ADC (6, 10) modes allowed us to establish the presence of multiple foci of ischemic stroke in the acute stage in the left middle cerebral artery, assess the boundaries and size of pathological changes.

**Таблица 3.** Характеристики МР-сигнала очагового поражения головного мозга у детей с ишемическим нарушением мозгового кровообращения**Table 3.** Characteristics of the MR signal of focal brain lesions in children with ischemic cerebrovascular accident

Режимы сканирования Scan Modes	Сверхострая стадия (0–6 ч) Hyperacute stage (0–6 hours) n* = 11	Острая стадия (6–48 ч) Acute stage (6–48 hours) n = 29	Подострая стадия Subacute stage	
			ранняя подострая (3–7-е сутки) early subacute (3–7 days) n = 37	поздняя подострая (7–21-е сутки) late Subacute (7–21 days) n = 24
	МР-сигнал очагового изменения при инфаркте головного мозга MR signal of focal changes in cerebral infarction			
T2	55% – не определялся not determined 45% – слабый повышенный slightly elevated	100% – однородно повышенный uniformly elevated	100% – повышенный increased	64% – повышенный increased 36% – неоднородный heterogeneous
FLAIR	64% – не определялся not determined 36% – слабый повышенный slightly elevated	100% – однородно повышенный uniformly elevated	100% – повышенный increased	55% – повышенный increased 45% – неоднородный heterogeneous
T1	64% – не определялся not determined 36% – слабый пониженный weak reduced	93% – однородно пониженный uniformly reduced 7% – неоднородно пониженный heterogeneous reduced	100% – пониженный reduced	82% – пониженный reduced 18% – неоднородный heterogeneous
ДВИ с фактором b = 1000 DWI with factor b = 1000	Повышенный Elevated	Повышенный Elevated	Повышенный Elevated	73% – повышенный increased 27% – неоднородный heterogeneous
ИКД-карта ADC	Пониженный Reduced	Пониженный Reduced	Пониженный Reduced	36% – неоднородный heterogeneous 36% – повышенный increased 27% – пониженный reduced
T2*/SWI	27% – слабый неоднородно пониженный weak heteroge- neous reduced	71% – повышенный increased 19% – слабо пониженный slightly reduced 10% – не определялся not determined	63% – повышенный increased 11% – пониженный reduced 11% – не определялся not determined 16% – неоднородный heterogeneous	80% – повышенный increased 20% – не определялся not determined

n* – количество пациентов, обследованных в этот временной промежуток.

n* – number of patients examined during this time period.

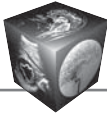


Таблица 4. Сопутствующие МР-признаки при ишемическом нарушении мозгового кровообращения
Table 4. Associated MR signs in ischemic cerebrovascular accident

Стадия инфаркта головного мозга Stage of cerebral infarction	Признаки, встречающиеся при инфаркте головного мозга Signs found in cerebral infarction
Сверхострая стадия (0–6 ч) Hyperacute stage (0–6 hours)	В 36% случаев отсутствие феномена “пустоты потока” с ипсилатеральной стороны на FLAIR, реже на T2ВИ In 36% of cases, the absence of the phenomenon of “empty flow” on the ipsilateral side on FLAIR, less often on T2WI Редко (9%) слабовыраженный масс-эффект Rarely (9%) mild mass effect
Острая стадия (6–48 ч) Acute stage (6–48 hours)	17% отсутствие феномена “пустоты потока” с ипсилатеральной стороны на FLAIR, реже на T2ВИ absence of the phenomenon of “empty flow” on the ipsilateral side on FLAIR, less often on T2WI 35% наличие перифокального цитотоксического отека presence of perifocal cytotoxic edema 52% присутствие масс-эффекта presence of mass effect
Ранняя подострая стадия (3–7-е сутки) Early subacute stage (3–7 days)	19% отсутствие феномена “пустоты потока” с ипсилатеральной стороны на T2ВИ и FLAIR absence of the “empty flow” phenomenon on the ipsilateral side on T2WI and FLAIR 46% присутствие масс-эффекта / presence of mass effect 16% наличие перифокального отека presence of perifocal edema 35% перифокальный цитотоксический отек / perifocal cytotoxic edema
Поздняя подострая стадия (7–21-е сутки) Late subacute stage (7–21 days)	45% присутствие масс-эффекта / presence of mass effect 18% наличие перифокального цитотоксического отека presence of perifocal cytotoxic edema 18% наличие перифокального отека / presence of perifocal edema 18% отсутствие феномена “пустоты потока” с ипсилатеральной стороны на T2ВИ и FLAIR absence of the “empty flow” phenomenon on the ipsilateral side on T2WI and FLAIR

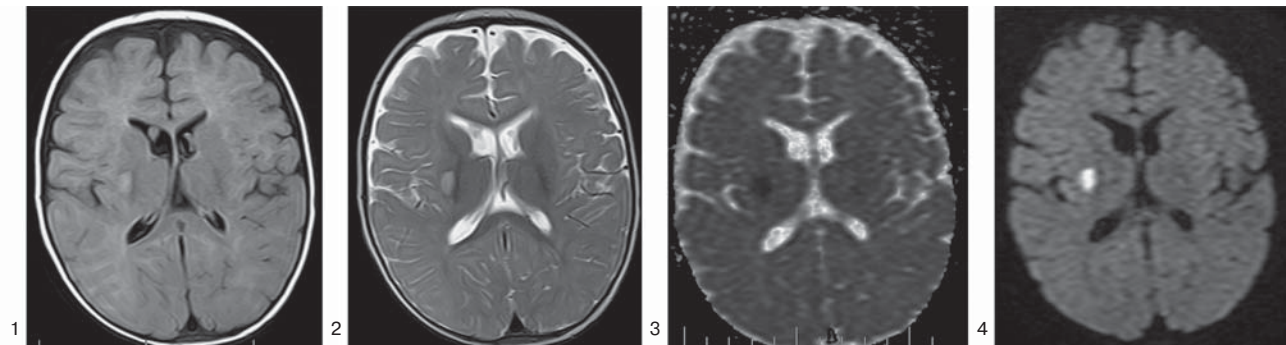


Рис. 3. МРТ-обследование ребенка в первый год жизни, проведенное в 1-е сутки от момента возникновения неврологических симптомов. На представленных МР-изображениях в области базальных ядер справа (проекция скорлупы) визуализируется очаг ишемического инсульта в острой стадии, характеризующийся повышенным МР-сигналом на FLAIR (1) и T2 (2), с признаками истинного ограничения диффузии (пониженный сигнал на ИКД (3) и повышенный на ДВИ с фактором $b = 1000$ (4)).

Fig. 3. MRI examination of a child in the first year of life, carried out on the first day from the onset of neurological symptoms. The presented MR images in the area of the basal ganglia on the right (projection of the putamen) visualize the focus of ischemic stroke in the acute stage, characterized by an increased MR signal on FLAIR (1) and T2 (2), with signs of true diffusion limitation (decreased signal on the ADC (3) and increased on DWI ($b = 1000$) (4)).



Использование импульсной последовательности по магнитной восприимчивости дало возможность установить наличие очага иНМК в 82% ($n = 48$) случаев, но не позволило судить о временных характеристиках и характере патологического процесса. Необходимо отметить, что применение T2*/SWI позволило установить наличие осложнения иНМК в виде геморрагического пропитывания в 4 случаях в период 3–6 сут от момента возникновения неврологической симптоматики.

Применение МРТ позволяет дифференцировать сверхострую и позднюю подострую стадии на основе совокупного анализа разных режимов сканирования, однако не позволяет разграничить острую стадию с ранней подострой в связи с малоразличимыми характеристиками МРТ-сигнала от очагового поражения на T2-, T1ВИ, FLAIR и ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД-картой. Для решения данной задачи были проанализированы периферические отделы иНМК. В результате анализа МРТ-семиотики иНМК установлено наличие в периферических отделах очагового поражения в подострой стадии участков, имеющих повышенный МР-сигнал по T2ВИ и FLAIR, но без ограничения диффузии: в ранней подострой стадии 16% ($n = 6$) и поздней подострой стадии 18% ($n = 2$) случаев (см. табл. 4). Таким образом, наличие очага иНМК с ограничением диффузии в центральной части с участками в периферических отделах патологических изменений без ограничения диффузии может способствовать дифференцировке острой стадии с ранней подострой.

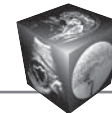
Сопутствующий признак в виде повышения МР-сигнала от просвета сосуда (отсутствие феномена “пустоты потока”) в области иНМК был отмечен на всех временных этапах патологического процесса, что не позволило дифференцировать стадию ишемии ГМ. Важно отметить, что присутствие этого признака сочеталось в 70% ($n = 14$) случаев с патологией сосудов ГМ, выявленной при использовании МР-ангиографии.

Обсуждение

Поступление ребенка в стационар с клиническими симптомами НМК создает необходимость в проведении нейровизуализации методами КТ и МРТ, так как только они способны определить истинную причину возникшего неврологического состояния, оценить размеры, распространенность и характер очагового поражения, а также дифференцировать иНМК от заболеваний, имеющих инсультподобное течение [20]. По данным Центра цереброваскулярных заболеваний ГБУЗ “Морозовская ДГКБ” в группе детей, поступающих с неврологической симптоматикой инсульта, на долю

внутричерепного кровоизлияния приходится до 30% пациентов [21]. В связи с этим наиболее распространенным методом лучевой диагностики на первом этапе является КТ, позволяющая исключить геморрагический компонент. Наше исследование продемонстрировало возможности КТ на начальных этапах формирования иНМК у пациентов детского возраста. Установлено, что визуализация иНМК в виде очагов пониженной плотности в 1-е сутки от момента возникновения неврологической симптоматики возможна в 59% ($n = 24$) случаев. Полученные данные совпадали с результатами, описанными в литературе, где присутствие очагов иНМК при КТ в первые 24 ч развития патологического процесса было возможно у 60–66% обследованных детей [6, 20].

Применение КТ способствует установлению типа инсульта, однако не позволяет достоверно судить о его стадии, в отличие от МРТ, которая дает возможность характеризовать остроту процесса на основе совокупного анализа характеристик МР-сигнала от очага иНМК. В работе А.П. Мазаева и М.С. Молодцова [22] установлены дифференциально-диагностические критерии иНМК в сверхострую стадию, заключающиеся в наличии очага ограничения диффузии на ДВИ в сочетании со слабовыраженным повышенным или отсутствующим МР-сигналом на T2ВИ и FLAIR. Наше исследование позволило определить МРТ-семиотику иНМК на разных стадиях формирования патологического процесса. Полученные характеристики МР-сигнала очага иНМК в нашем исследовании и описанные в работе А.Е. Goldman-Yassen и S. Dehkharghani [23] в периоде от 6 ч до 7 сут совпадали на T2-, T1ВИ, FLAIR и ДВИ ($b = 1000$) в сочетании с ИКД. При этом были отмечены различия в периоде сверхострой стадии, заключающиеся в отсутствии очаговых изменений на T1ВИ и на T2ВИ в первые 6 ч от момента неврологического дебюта в работе А.Е. Goldman-Yassen и соавт., а в нашем исследовании в этот временной промежуток визуализация иНМК была возможна на T1ВИ в 36% и на T2ВИ в 45% случаев. Важно заметить, что наше исследование дало возможность установить диагностический критерий, позволяющий разграничить период острой стадии с ранней подострой при одинаковых характеристиках МР-сигнала от очага изменений в этот временной интервал. Обнаружено, что в периоде 3–21 сут от начала неврологической симптоматики на периферии очага иНМК определяются участки повышенного МР-сигнала по T2ВИ и FLAIR без признаков ограничения диффузии в 17% ($n = 8$) случаев, а в острую стадию таких участков не отмечается.



В результате проведенного анализа режимов сканирования в разные временные периоды развития иНМК отмечены режимы сканирования, необходимые для определения стадии патологического процесса, включающие T2-, T1ВИ, FLAIR, ДВИ в сочетании с ИКД, что согласуется с данными литературы [24, 25]. В нашем исследовании установлена возможная взаимозаменяемость режимов сканирования T2ВИ и FLAIR при динамическом наблюдении у детей с иНМК, что позволит сократить протокол обследования ребенка и уменьшить время его нахождения в наркозе.

Проведенное исследование позволило определить различия в МРТ-семиотике иНМК на разных стадиях у детей и взрослых на основе данных научных публикаций. В работе Allen L.M. и соавт. [15] описаны характеристики МР-сигнала иНМК у взрослого населения, где очаг ишемии ГМ имеет признаки ограничения диффузии до 10–14-го дня от момента возникновения неврологической симптоматики с последующей псевдонормализацией сигнала. В нашем исследовании ограничение диффузии наблюдалось в первые 7 сут развития иНМК, после которых визуализировался гетерогенный МРТ-сигнал, что, возможно, обусловлено снижением степени выраженности цитотоксического отека.

В результате анализа иНМК у взрослых E. Tong и соавт. [26] и N.A. Bachtar и соавт. [27] отмечают наличие очага ограничения диффузии и отсутствие патологического МРТ-сигнала на T2- и T1ВИ в периоде первых 6 ч развития иНМК. В нашем исследовании в периоде сверхострой стадии определялись очаги слабого повышения МРТ-сигнала на T2ВИ и слабого понижения на T1ВИ в сочетании с ограничением диффузии. Таким образом, полученные различия в МРТ-семиотике иНМК у детей и взрослых могут возникать в результате физиологических особенностей детского мозга, которые обуславливают течение патологического процесса.

Заключение

Использование КТ и МРТ в качестве методов нейровизуализации у детей с клиническими признаками НМК является обязательным этапом в установлении причин возникшего состояния. Применение КТ дает возможность определить очаг иНМК на всех этапах развития патологического процесса, при этом диагностическая возможность метода возрастает по прошествии первых 12 ч и позволяет визуализировать поражение мозга в 92% случаев. В связи с этим отсутствие очагового поражения на КТ-изображениях у ребенка, обследованного в первые 12 ч развития неврологической симптоматики с сохраняющейся

или нарастающей клинической картиной НМК, создает необходимость повторного проведения КТ при невозможности выполнения МРТ.

Проведение МРТ дает возможность выявить иНМК во всех 100% случаев независимо от стадии и выраженности патологического процесса, а также дифференцировать сверхострую и позднюю подострую стадии на основании совокупного анализа характеристик МРТ-сигнала от очагового поражения. Для дифференциальной диагностики острой стадии с ранней подострой необходимо оценить периферические отделы очагового поражения. Наличие в периферических отделах очага иНМК участка повышенного МР-сигнала на T2ВИ, FLAIR и без ограничения диффузии дает возможность дифференцировать острую и раннюю подострую стадии в 17% случаев. Таким образом, применение МРТ у детей с иНМК позволяет установить временной интервал развития патологического процесса.

Установлено, что в периоде от 6 ч до 7 сут с момента возникновения неврологической симптоматики очаг иНМК имеет одинаковые характеристики МР-сигнала в режимах T2ВИ и FLAIR в 100% (n = 66) наблюдений, что позволяет предположить взаимозаменяемость этих режимов сканирования у детей при динамическом наблюдении.

Участие авторов

Молодцов М.С. – 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, ответственность за целостность всех частей статьи.

Горбунов А.В. – подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Умеренков В.Н. – подготовка, создание опубликованной работы.

Кессель А.Е. – подготовка, создание опубликованной работы.

Кузнецова А.А. – подготовка, создание опубликованной работы.

Хасанова К.А. – подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

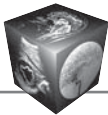
Левов А.В. – подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Molodtsov M.S. – 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, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Gorbunov A.V. – preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

Umerenkov V.N. – preparation and creation of the published work.



Kessel A.E. – preparation and creation of the published work.

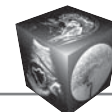
Kuznetsova A.A. – preparation and creation of the published work.

Khasanova K.A. – preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

Levov A.V. – preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

1. Володин Н.Н., Выхристюк О.Ф., Горбунов А.В., Колтунов И.Е., Петрайкина Е.Е., Селивёрстова Е.В., Щедеркина И.О. Компьютерная и магнитно-резонансная томография в диагностике острого нарушения мозгового кровообращения у детей / Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики [методические рекомендации]. М., 2019. 42 с. ISSN 2618-7124 Volodin N.N., Vykhristyuk O.F., Gorbunov A.V. et al. Computer and magnetic resonance imaging in the diagnosis of acute cerebrovascular accident in children / Best practices of radiation and instrumental diagnostics [recommendation method]. M., 2019. 42 p. ISSN 2618-7124 (In Russian)
2. Щедеркина И.О., Колтунов И.Е., Лившиц М.И. Инсульт и цереброваскулярная патология у детей и подростков: Руководство для врачей / Под ред. И.О. Щедеркиной. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022: 13–45. Shchederkina I.O., Koltunov I.E., Livshits M.I. Stroke and cerebrovascular pathology in children and adolescents. Guide for doctors / Ed. I.O. Shchederkina. M.: GEOTAR-Media, 2022: 13–45. (In Russian)
3. 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; 116 (9): 24–29. <http://doi.org/10.17116/jnevro20161169124-29> Shchederkina I.O., Zavadenko N.N., Koltunov I.E. Stroke in children and adolescents: formation of a pediatric register. Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova = Korsakov Neurology and Psychiatry Journal. 2016; 116 (9): 24–29. <http://doi.org/10.17116/jnevro20161169124-29> (In Russian)
4. Mallick A.A., Ganesan V., Kirkham F.J. et al. Childhood arterial ischaemic stroke incidence, presenting features, and risk factors: a prospective population-based study. Lancet Neurol. 2014; 13 (1): 35–43. [http://doi.org/10.1016/S1474-4422\(13\)70290-4](http://doi.org/10.1016/S1474-4422(13)70290-4)
5. Петрайкина Е.Е., Щедеркина И.О., Витковская И.П., Лившиц М.И., Свиринов П.В., Горбунов А.В., Кессель А.Е., Хачатуров Ю.А., Чмутин Г.Е., Кулешов Н.Н. Первичный центр детского инсульта на базе многопрофильного педиатрического стационара. Новая реальность в педиатрии. Здоровье мегаполиса. 2020; 1 (1): 15–30. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2020.v1i1;15-30> Petrayaykina E.E., Shchederkina I.O., Vitkovskaya I.P. et al. Primary pediatric stroke center based in a multidisciplinary pediatric hospital. New reality in pediatrics. Health of the Metropolis. 2020; 1 (1): 15–30. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2020.v1i1;15-30> (In Russian)
6. Ladner T.R., Mahdi J., Gindville M.C. et al. Pediatric acute stroke protocol activation in a children's hospital emergency department. Stroke. 2015; 46: 2328–2331. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009961>
7. McGlennan C., Ganesan V. Delays in investigation and management of acute arterial ischaemic stroke in children. Dev. Med. Child. Neurol. 2008; 50: 537–540. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03012.x>
8. Mirsky D.M., Beslow L.A., Amlie-Lefond C. et al.; International Paediatric Stroke Study Neuroimaging Consortium and the Paediatric Stroke Neuroimaging Consortium. Pathways for Neuroimaging of Childhood Stroke. Pediatr. Neurol. 2017; 69: 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2016.12.004>
9. Perez F.A., Oesch G., Amlie-Lefond C.M. MRI Vessel Wall Enhancement and Other Imaging Biomarkers in Pediatric Focal Cerebral Arteriopathy-Inflammatory Subtype. Stroke. 2020; 51 (3): 853–859. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.119.027917>
10. Мазаев А.П., Молодцов М.С., Щелькалина С.П. Магнитно-резонансная ангиография у детей с ишемическим инсультом. Детские болезни сердца и сосудов. 2023; 1 (20): 23–32. <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2023-20-1-23-32> Mazaev A.P., Molodtsov M.S., Shchelykalina S.P. Magnetic resonance angiography in children with ischemic stroke. Pediatric Diseases of the Heart and Blood Vessels. 2023; 1 (20): 23–32. <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2023-20-1-23-32> (In Russian)
11. Rivkin M.J., deVeber G., Ichord R.N. et al. Thrombolysis in pediatric stroke study. Stroke. 2015; 46 (3): 880–885. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.008210>
12. Щедеркина И.О., Ларина Л.Е., Власова А.В., Лившиц М.И., Кузнецова А.А., Горбунов А.В., Харьков А.В., Селиверстова Е.В., Петрайкина Е.Е., Анджели А.Е. Возможности реперфузионной терапии при ишемическом инсульте в педиатрии: протокол тромболизиса у детей в первичном центре детского инсульта. Московская медицина. 2020; 3 (37): 20–31. Shchederkina I.O., Larina L.E., Vlasova A.V. et al. Possibilities of reperfusion therapy for ischemic stroke in pediatrics: thrombolysis protocol in children at the primary pediatric stroke center. Moscow Medicine. 2020; 3 (37): 20–31. (In Russian)
13. Gonzalez R.G. et al. Acute ischemic stroke: imaging and intervention. Second edition. New York: Springer, 2011.
14. Merino J.G., Warach S. Imaging of acute stroke. Nat. Rev. Neurol. 2010; 6 (10): 560–571. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2010.129>
15. Allen L.M., Hasso A.N., Handwerker J., Farid H. Sequence-specific MR imaging findings that are useful in dating ischemic stroke. Radiographics. 2012; 32: 1285–1297. <https://doi.org/10.1148/rg.325115760>
16. Wouters A., Lemmens R., Dupont P., Thijs V. Wake-up stroke and stroke of unknown onset: a critical review. Front. Neurol. 2014; 5: 153. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00153>
17. Donahue M.J., Dlamini N., Bhatia A., Jordan L.C. Neuroimaging Advances in Pediatric Stroke. Stroke. 2019; 50 (2): 240–248. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.020478>
18. 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. <https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000275>
19. Pluncevic Gligoroska J., Gontarev S., Dejanova B. et al. Red Blood Cell Variables in Children and Adolescents



- regarding the Age and Sex. *Iran J. Public Hlth.* 2019; 48 (4): 704–712. PMID: 31110981
20. Sinha R, Ramji S. Neurovascular disorders in children: an updated practical guide. *Transl. Pediatr.* 2021; 10 (4): 1100–1116. <https://doi.org/10.21037/tp-20-205>
 21. Щедеркина И.О., Витковская И.П., Колтунов И.Е., Лившиц М.И., Чмутин Г.Е., Бузина Н.В., Лаврухин Д.Б. Инсульт у детей. Формирование педиатрического регистра инсультов: международный и региональный опыт. *Русский журнал детской неврологии.* 2018; 13 (1): 7–19. <https://doi.org/10.17650/2073-8803-2018-13-1-7-19>. Shchederkina I.O., Vitkovskaya I.P., Koltunov I.E. et al. Stroke in children. Formation of the pediatric register: international and regional experience. *Russian Journal of Child Neurology.* 2018; 13 (1): 7–19. <https://doi.org/10.17650/2073-8803-2018-13-1-7-19> (In Russian)
 22. Мазаев А.П., Молодцов М.С. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике ишемического инсульта у детей. *Медицинская визуализация.* 2023; 27 (3): 130–140. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1280>. Mazaev A.P., Molodtsov M.S. Possibilities of magnetic resonance imaging in the diagnosis of ischemic stroke in children. *Medical Visualization.* 2023; 27 (3): 130–140. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1280> (In Russian)
 23. Goldman-Yassen A.E., Dehkharghani S. Neuroimaging in Pediatric Stroke and Cerebrovascular Disease. Stroke. Dehkharghani S (Editor). Exon Publications, Brisbane, Australia. ISBN:978-0-6450017-6-1. <https://doi.org/10.36255/exonpublications.stroke.2021>
 24. Mastrangelo M., Giordo L., Ricciardi G. et al. Acute ischemic stroke in childhood: a comprehensive review. *Eur. J. Pediatr.* 2022; 181 (1): 45–58. <http://doi.org/10.1007/s00431-021-04212-x>
 25. Polan R.M., Poretti A., Huisman T.A., Bosemani T. Susceptibility-weighted imaging in pediatric arterial ischemic stroke: a valuable alternative for the noninvasive evaluation of altered cerebral hemodynamics. *Am. J. Neuroradiol.* 2015; 36 (4): 783–788. <http://doi.org/10.3174/ajnr.A4187>
 26. Tong E., Hou Q., Fiebach J.B., Wintermark M. The role of imaging in acute ischemic stroke. *Neurosurg. Focus.* 2014; 36 (1): E3. <http://doi.org/10.3171/2013.10.FOCUS13396>
 27. Bachtar N.A., Murtala B., Muis M. et al. Non-Contrast MRI Sequences for Ischemic Stroke: A Concise Overview for Clinical Radiologists. *Vasc. Hlth Risk Manag.* 2024; 20: 521–531. <http://doi.org/10.2147/VHRM.S474143>

Для корреспонденции*: Молодцов Максим Сергеевич – e-mail: dr.mmolodtsov@gmail.com

Молодцов Максим Сергеевич – канд. мед. наук, врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница имени Л.А. Ворохобова ДЗ города Москвы”; аспирант (09.2020–02.2024) ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7295-1708>

Горбунов Александр Валерьевич – доктор мед. наук, врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”; профессор кафедры неонатологии ФДПО ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0159-781X>

Умеренков Виктор Николаевич – заведующий нейрохирургическим отделением, врач-нейрохирург ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7821-0997>

Кессель Александр Евгеньевич – заведующий неврологическим отделением, врач-невролог ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6012-250X>

Кузнецова Александра Андреевна – руководитель Центра по лечению цереброваскулярной патологии детей и подростков, врач-невролог, врач-нейрофизиолог ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0344-9765>

Хасанова Ксения Андреевна – канд. мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики, врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>

Левов Александр Вячеславович – врач-нейрохирург ГБУЗ города Москвы “Морозовская детская городская клиническая больница ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3035-9375>

Contact*: Molodtsov Maksim Sergeevich – e-mail: dr.mmolodtsov@gmail.com

Maxim S. Molodtsov – Cand. of Sci. (Med.), radiologist of tomography department, L.A. Vorokhobov City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; postgraduate (09.2020–02.2024) of the Morozov Children's Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7295-1708>

Alexander V. Gorbunov – Doct. of Sci. (Med.), radiologist at the Morozov Children's Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; Professor, Department of Neonatology, of the Federal Faculty of Postgraduate Education, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0159-781X>

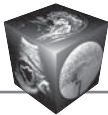
Victor N. Umerenkov – chief of the neurosurgical department, neurosurgeon, Morozov Children's Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7821-0997>

Alexandr E. Kessel – chief of the neurological department, neurologist, Morozov Children's Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6012-250X>

Alexandra A. Kuznetsova – chief of the Center for the treatment of cerebrovascular pathology of children and adolescents, neurologist, neurophysiologist, Morozov Children's Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0344-9765>

Ksenia A. Khasanova – Cand. of Sci. (Med.), chief of the Department of Radiation Diagnostics, Radiologist, Morozov Children's Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>

Aleksandr V. Levov – neurosurgeon, Morozov Children's Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3035-9375>



Магнитно-резонансная морфометрия головного мозга у детей с детальной оценкой височных долей

© Семибратов Н.Н.^{1*}, Фокин В.А.², Труфанов Г.Е.², Ефимцев А.Ю.²,
Абрамов К.Б.², Кондратьев Г.В.³, Левчук А.Г.²

¹ ГБУЗ “Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический) имени Н.П. Напалкова”; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68а, лит. А, Российская Федерация

² ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России; 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация

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

Введение. Постоянное совершенствование методов нейровизуализации и количественного анализа изображений способствует расширению наших знаний об анатомии головного мозга. В настоящее время методика магнитно-резонансной морфометрии позволяет проводить анализ структурных изменений головного мозга на разных уровнях – от крупных областей до отдельных извилин. Несмотря на значимость, количество исследований, посвященных изучению структурных изменений у детей в процессе нормального онтогенеза, остается ограниченным. В раннем детстве, когда происходит интенсивное развитие мозга, височные доли подвергаются значительным структурным изменениям. Исследование этих изменений у детей может расширить наше понимание в определении нормального развития нервной системы и помочь в выявлении патологий, связанных с неврологическими расстройствами, такими как эпилепсия и нейродегенеративные заболевания.

Цель исследования: провести морфометрический анализ структур височных долей головного мозга у неврологически здоровых детей с целью выявления возрастных и половых различий.

Материал и методы. В исследование включили 49 детей в возрасте от 6 мес до 18 лет. Наблюдения были разделены на 2 возрастные группы: первая группа – от 0 до 7 лет (17 человек), вторая группа – от 7 до 18 лет (32 человека). Для анализа была проведена автоматическая МР-морфометрия с использованием программного обеспечения FreeSurfer, в ходе которой определялись морфометрические показатели: объем для каждой структуры височных долей, площадь поверхности и толщина коры.

Результаты. В ходе исследования были обнаружены возрастные изменения в объеме, площади и толщине различных структур височной доли у детей. Несмотря на отсутствие статистически значимых гендерных различий в морфометрических показателях этих структур, наблюдалась тенденция к увеличению относительных размеров (рассчитанных относительно внутричерепного объема) у мальчиков по сравнению с девочками. Данные результаты свидетельствуют о сложной и разнонаправленной динамике развития височной доли в процессе взросления, проявляющейся в симметричных и асимметричных изменениях.

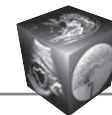
Заключение. Данное исследование демонстрирует эффективность МР-морфометрии для оценки развития структур височных долей у неврологически здоровых детей. Представленные морфометрические показатели могут быть использованы в качестве референсных значений при изучении детей с нейродегенеративными заболеваниями, позволяя выявлять отклонения от нормы.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; магнитно-резонансная морфометрия; височная доля; дети; старение; рост и развитие; головной мозг

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Семибратов Н.Н., Фокин В.А., Труфанов Г.Е., Ефимцев А.Ю., Абрамов К.Б., Кондратьев Г.В., Левчук А.Г. Магнитно-резонансная морфометрия головного мозга у детей с детальной оценкой височных долей. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 22–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1523>

Поступила в редакцию: 21.03.2025. **Принята к печати:** 04.07.2025. **Опубликована online:** 13.10.2025.



Features of voxel-based morphometry in children: focusing on the temporal lobes

© Nikolay N. Semibratov^{1*}, Vladimir A. Fokin², Gennadiy E. Trufanov², Aleksandr Y. Efimtsev², Konstantin B. Abramov², Gleb V. Kondratiev³, Anatoly G. Levchuk²

¹ Saint-Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialised Types of Medical Care (Oncological); 68a, Lit. A, Leningradskaya str., vill. Pesochnyi, St. Petersburg 197758, Russian Federation

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

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

Introduction. Advances in neuroimaging and quantitative image analysis have enhanced our understanding of cerebral anatomy. Voxel-based morphometry (VBM) enables precise evaluation of structural brain changes. Early childhood is a critical period of rapid brain maturation. Research focusing on structural changes of the temporal lobes in children during normal ontogeny remains limited. Investigating these structural changes could improve diagnostics for neurological disorders such as epilepsy and neurodegenerative conditions. Investigating these structural changes in children may deepen our understanding of normal nervous system development and improve diagnostics for neurological disorders such as epilepsy and neurodegenerative diseases.

Aim. To perform morphometric analysis of temporal lobes structures in neurologically healthy children and analyze age- and gender-related variations.

Methods. VBM was performed using FreeSurfer software, determining morphometric parameters volume (mm³), area (mm²), and thickness (mm) for each structure of the temporal lobes. The study included 49 MRI data from children aged between 6 months and 18 years. All participants were divided into two age groups: from 0 to 7 years (17 individuals) and from 7 to 18 years (32 individuals).

Results. Age-related differences in the volume, surface area, and thickness were observed across temporal lobes regions in children. While no statistically significant gender differences in the morphometric parameters of these structures were observed, boys exhibited a tendency for greater relative sizes (normalized to intracranial volume) compared to girls. These results indicate a complex and dynamic developmental pattern of the temporal lobes, with evidence of both symmetric and asymmetric changes.

Conclusion. MRI morphometry is shown to be an effective method for assessing temporal lobes development in neurologically healthy children in this study. The morphometric data presented here can serve as reference points for identifying deviations from normal development in children with neurodegenerative disorders.

Keywords: magnetic resonance imaging; voxel-based morphometry; temporal lobe; children; aging; growth and development; brain

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

For citation: Semibratov N.N., Fokin V.A., Trufanov G.E., Efimtsev A.Y., Abramov K.B., Kondratiev G.V., Levchuk A.G. Features of voxel-based morphometry in children: focusing on the temporal lobes. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 22–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1523>

Received: 21.03.2025.

Accepted for publication: 04.07.2025.

Published online: 13.10.2025.

Введение

Развитие головного мозга – это динамичный процесс прогрессивных и регрессивных изменений, продолжающийся на протяжении всей жизни, ранние этапы которого являются критически важными для нормального функционирования и адаптации к окружающей среде в будущем. Патологические состояния, препятствующие таким процессам созревания, могут привести к задержке развития нервной системы во взрослом возрасте [1]. Исследования показывают, что характер изменений зависит от множества факторов, включая возраст и пол ребенка [2–5]. Процессы формирования нервной системы наиболее интенсивно про-

исходят в течение первых 3 мес постнатального периода. К моменту достижения трехлетнего возраста завершается дифференцировка нейронов, характеризующаяся удлинением аксонов, их усиленной миелинизацией, а также увеличением количества и степени ветвления дендритов [6]. К восьми годам организация коры головного мозга соответствует коре взрослого человека [7]. Перекрестные исследования, изучающие развитие мозга у детей и подростков, демонстрируют увеличение объема белого вещества и уменьшение объема серого вещества в более позднем детском и раннем подростковом возрасте [8–10]. В зарубежной литературе описывается U-образная



траектория изменения объема серого вещества коры головного мозга у детей, характеризующаяся увеличением в раннем детстве с последующим уменьшением в пубертатный период: максимально размер достигается к 16,5 годам у мальчиков и к 16,7 годам у девочек [8, 11–13]. Особенностью процесса развития головного мозга является значительное увеличение площади коры при относительно незначительном увеличении ее толщины [14]. Объем белого вещества увеличивается на протяжении всего детского и подросткового возраста с максимальными размерами в возрасте 10,5 лет у девочек и 14,5 лет у мальчиков [3, 15]. Максимальный объем мозга достигается в возрасте около 10,5 лет у девочек и 14,5 лет у мальчиков [3]. У взрослых мужчин объем мозга примерно на 7–10% больше, чем у женщин [2–4].

Кора височных долей, особенно их задние отделы, является важным гетеромодальным ассоциативным участком мозга, интегрирующим различные виды информации: зрительную, слуховую, тактильную. Верхняя височная борозда и прилегающие области участвуют в интеграции аудиовизуальной информации. Средняя и нижняя височные извилины вовлечены в процессы зрительного восприятия и распознавания объектов. Гиппокамп, расположенный в медиальной части височной доли, играет ключевую роль в консолидации памяти [16–18]. Гиппокампы претерпевают резкий рост в период до 2 лет, а затем продолжают медленно увеличиваться в объеме даже после начала полового созревания [19].

В настоящее время в медицине наблюдается тенденция к цифровизации и автоматизации процессов диагностики и лечения, и одной из актуальных научных задач является формирование многомерных баз данных, на основе которых создаются автоматические алгоритмы, способные их обрабатывать и интерпретировать. Магнитно-резонансная морфометрия зарекомендовала себя как эффективный метод количественной оценки структур головного мозга и применяется для измерения объема и площади серого и белого вещества, а также толщины коры различных отде-

лов больших полушарий [20–22]. В этом исследовании представлены результаты морфометрии, которые отражают влияние возраста и пола на развитие височных долей головного мозга у детей. Понимание траектории возрастных морфометрических изменений при нормальном развитии головного мозга, а также половых различий важно при интерпретации методов нейровизуализации.

Цель исследования: изучение возрастных и половых особенностей развития височных долей головного мозга у детей с использованием метода МР-морфометрии.

Материал и методы

Исследование было проведено на базе ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России. Исследование включало ретроспективный и проспективный этапы обработки информации о пациентах в период с сентября 2016 г. по май 2024 г.

В исследование вошло 49 детей (30 мальчиков, 19 девочек) в возрасте от 6 мес до 18 лет, не имеющих видимых на МР-томограммах структурных изменений головного мозга. У участников не было выявлено неврологических или психических расстройств, хронических заболеваний, нарушений обучаемости или приема лекарств, которые повлияли бы на работу нервной системы. Средний возраст участников составил $7,94 \pm 5,08$ года. Распределение по возрасту представлено следующим образом: от рождения до 1 года – 4 человека, 1 год – 3, 2 года – 4, 3 года – 3, 4 года – 1, 5 лет – 1, 6 лет – 1, 7 лет – 4, 8 лет – 5, 9 лет – 2, 10 лет – 4, 11 лет – 5, 12 лет – 1, 13 лет – 3, 14 лет – 2, 15 лет – 3, 16 лет – 2, 17 лет – 1 человек. Распределение по полу и возрастным интервалам представлено в табл. 1. Исследование проводилось с письменного согласия родителей пациентов. Анестезиологическое обеспечение применялось в случаях невозможности проведения исследования без анестезии.

Всем обследуемым была проведена магнитно-резонансная томография головного мозга на то-

Таблица 1. Распределение участников исследования по возрасту и полу

Table 1. Age and gender distribution of participants

Возраст пациентов, годы / Age of patients, years	0–2	2–4	4–7	7–10	10–14	14–18
Количество девочек / Number of girls (n = 19)	4	2	0	6	3	4
Количество мальчиков / Number of boys (n = 30)	3	5	3	5	10	4
Общее количество / Total number (n = 49)	7	7	3	11	13	8

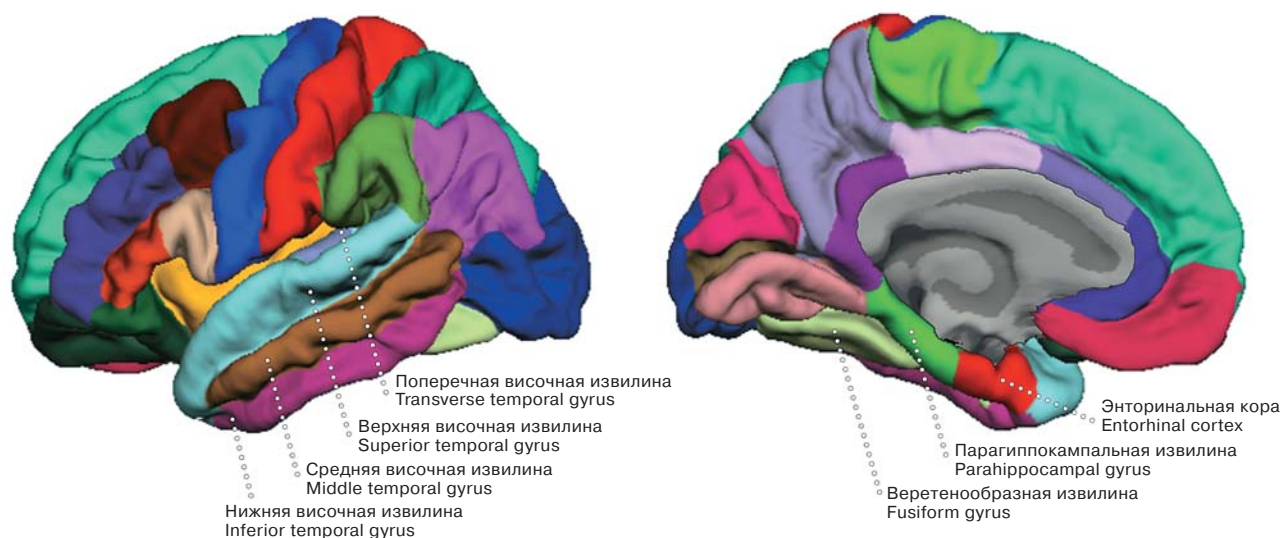
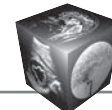


Рис. 1. Структуры височной доли, используемые в атласе Desikan–Killiany: верхнелатеральная (слева) и нижнемедиальная (справа) поверхности. Адаптировано из [26].

Fig. 1. Temporal lobe structures used in the Desikan–Killiany atlas: superolateral (left) and inferomedial (right) surfaces. Adapted from [26].

мографах с индукцией магнитного поля 1,5 и 3 Тл по стандартизированному протоколу исследования головного мозга с применением стандартных импульсных последовательностей в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (T1-, T2-, TIRM), а также 3D T1- MPRAGE (Magnetization Prepared Rapid Acquisition Gradient Echo) – T1-импульсная последовательность градиентного эха с ускоренным сбором данных со следующими параметрами: время повторения (TR) 2000 мс, время эхо (TE) 4,38 мс, угол отклонения (FA) 10°, FOV 250 мм, матрица 256 × 256, толщина среза 1 мм, количество срезов 160, время сканирования 11 мин. Для анализа структур головного мозга были использованы различные инструменты, доступные в программном обеспечении FreeSurfer версии 7.3.2 [23]. В автоматическом режиме была проведена МР-морфометрия с определением морфометрических показателей (объема в мм³, площади в мм² и толщины в мм) для каждой структуры височных долей, представленной на рис. 1. Постпроцессинговая обработка состояла из нескольких последовательных этапов. Подготовительный этап включал линейное преобразование Талайраха, нормализацию интенсивности, удаление черепа и внемозговых тканей с помощью поверхностной деформации, отделение мозжечка и ствола мозга от головного мозга и разделение левого и правого полушарий [23]. Для определения внутренних (серо-белых) и пияльных (серо-ликворных) поверхностей коры применялся алгоритм деформируемой поверхности [24]. Процесс обработки

также включал в себя автоматизированную топологическую коррекцию, сферизацию поверхности и регистрацию в сферическом атласе [25]. Для парцелляции коры головного мозга применялся встроенный атлас (атлас Desikan–Killiany), разделивший кортикальную поверхность на области в каждом полушарии [26]. Стандартный атлас ASEG (Automatically Segmented Brain Volume) обеспечил автоматическую маркировку подкорковых структур, включая гиппокамп и миндалевидное тело [24]. Анализ объема (в мм³) субкортикальных структур височных долей проводился с использованием схемы парцелляции HBT (Head, Body, Tail) [27].

Обследуемые были разделены на 2 возрастные группы: от 0 до 7 лет ($n = 17$) и от 7 до 18 лет ($n = 32$). Средний возраст детей первой группы составил $2,19 \pm 1,7$ года, второй группы – $11,1 \pm 3,0$ года. Выбор конкретных возрастных интервалов обусловлен необходимостью выявить ключевые возрастные изменения морфометрических показателей структур височных долей, соответствующих критическим периодам созревания центральной нервной системы. Период от рождения до 7 лет охватывает ранние этапы нейрогенеза, характеризующиеся быстрым ростом объема мозга, активной миелинизацией, созреванием нейронных связей и высокой пластичностью височных структур, участвующих в формировании речевых и сенсомоторных функций. Период от 7 до 18 лет соответствует младшему школьному и подростковому возрасту, который сопровождается активным формированием навыков чтения и письма,



развитием абстрактного мышления и совершенствованием когнитивных и речевых функций.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Jamovi 2.3.28 и Microsoft Excel 2007 [28, 29]. Для анализа полученных результатов и выявления статистически значимых различий между группами были применены соответствующие методы статистического анализа. Количественные данные были описаны с использованием среднего значения и стандартного отклонения. При сравнении средних значений двух возрастных групп для количественных переменных использовался непараметрический U-критерий Манна–Уитни, что позволило учесть возможные выбросы и асимметрию в данных. Графическое изображение полученных результатов сегментации структур головного мозга с помощью программного пакета FreeSurfer показано на рис. 2 и рис. 4. Был проведен анализ линейной регрессии и определено процентное изменение средних значений для оценки трендов в изменении морфометрических показателей (объема в мм³, площади в мм² и толщины в мм) структур височных долей. Для вычисления процентного изменения средних значений использовали формулу:

$$\Delta P = ((M_{end} - M_{start}) / M_{start}) \times 100 \%,$$

где ΔP – процентное изменение; M_{end} – конечное среднее значение; M_{start} – начальное среднее значение.

Также проведен анализ изменения средних значений объема (в мм³) гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела с обеих сторон. Для оценки асимметрии объема рассчитывался индекс асимметрии по следующей формуле:

$$AI = (MR - ML) / ((MR + ML) / 2),$$

где AI – индекс асимметрии; MR – среднее значение параметра справа; ML – среднее значение параметра слева.

Для систематизации данных и последующего сравнительного анализа мы определили процентные диапазоны для различных уровней выраженности изменений морфометрических показателей структур височных долей. Изменения до 10% классифицированы как маловыраженные, изменения от 10 до 30% – как выраженные, а изменения свыше 30% – как значительные. Симметричность оценивалась по следующим критериям: разница морфометрических показателей контралатеральных структур до 10% считалась симметричной, в то время как разница более 10% указывала на асимметрию.

Результаты исследования

При анализе полученных с помощью МР-морфометрии данных двух исследуемых групп были обнаружены изменения в структурах височных долей головного мозга.

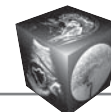
Общие изменения структур височных долей. Процентное изменение средних значений объема (мм³), площади поверхности (мм²) и толщины структур (мм) височных долей при сравнении исследуемых возрастных групп представлено в табл. 2, на рис. 2 и 3. Сегментация субполей гиппокампа и миндалевидного тела выполнялась с помощью отдельного анализа объемов этих структур. Процентное изменение средних значений объема (мм³) субполей гиппокампа и миндалевидного тела при сравнении исследуемых возрастных групп представлено в табл. 3 и на рис. 4.

Верхняя височная извилина. В ходе исследования в рассматриваемых возрастных группах (от 0 до 7 лет и от 7 до 18 лет) было выявлено значительное симметричное увеличение объема (правая на 29,70%, левая на 35,06%) и толщины (правая на 13,81%, левая на 17,25%) верхних височных извилин, что подтверждено статистической значимостью различий по критерию Манна–Уитни ($p < 0,05$). Выраженное симметричное увеличение площади поверхности верхней височной извилины отмечалось как справа (на 14,04%), так и слева (на 14,49%), однако статистически значимые различия по площади левой верхней височной извилины не были выявлены ($p > 0,05$).

Средняя височная извилина. Морфометрические показатели средней височной извилины демонстрируют выраженное увеличение в обоих полушариях. Было выявлено значительное симметричное увеличение объема (правая на 35,47%, левая на 42,66%), выраженное симметричное увеличение площади поверхности (правая на 18,35%, левая на 20,22%) и толщины (правая на 14,61%, левая на 19,35%) средних височных извилин.

Нижняя височная извилина. Исследование выявило выраженное симметричное увеличение объема (правая на 21,61%, левая на 31,38%) и площади поверхности (правая на 22,92%, левая на 22,55%) нижних височных извилин в обоих полушариях. Увеличение толщины нижних височных извилин (правая на 6,14%, левая на 8,00%) отмечалось в обеих гемисферах, однако статистически значимых различий по этому параметру выявлено не было ($p > 0,05$).

Поперечная височная извилина. Траектории изменений морфометрических показателей поперечной височной извилины указывают на отличия в процессах развития мозга, однако носят симметричный характер. С помощью критерия Манна–

**Таблица 2.** Сравнение морфометрических показателей височных долей**Table 2.** A morphometric comparison of the temporal lobes

Структура Structure	Сторона Side	Показатель Parameter	Группа 1 (0–7 лет) Group 1 (0–7 years) n=17	Группа 2 (7–18 лет) Group 2 (7–18 years) n=32	ΔP	U	p
Верхняя височная извилина Superior temporal gyrus	Правая Right	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	14797 ± 5689	19191 ± 2168	29.70%	135	0.003*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	4692 ± 1419	5351 ± 585	14.04%	170	0.032*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.68 ± 0.491	3.05 ± 0.16	13.81%	166	0.026*
	Левая Left	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	15364 ± 6728	20750 ± 2370	35.06%	131	0.003*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	5134 ± 1534	5877 ± 590	14.49%	193	0.1
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.55 ± 0.517	2.99 ± 0.157	17.25%	141	0.006*
Средняя височная извилина Middle temporal gyrus	Правая Right	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	13162 ± 5802	17829 ± 2141	35.47%	130	0.002*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	4052 ± 1406	4796 ± 592	18.35%	174	0.04*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.67 ± 0.528	3.06 ± 0.146	14.61%	148	0.009*
	Левая Left	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	12302 ± 5833	17551 ± 2464	42.66%	127	0.002*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	4094 ± 1238	4922 ± 635	20.22%	154	0.013*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.48 ± 0.571	2.96 ± 0.143	19.35%	172	0.037*
Нижняя височная извилина Inferior temporal gyrus	Правая Right	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	11101 ± 4802	13500 ± 1921	21.61%	174	0.041*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	3012 ± 1179	3702 ± 445	22.92%	157	0.016*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.77 ± 0.471	2.94 ± 0.137	6.14%	244	0.556
	Левая Left	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	10768 ± 3933	14147 ± 1846	31.38%	119	<0.001*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	3080 ± 917	3774 ± 466	22.55%	138	0.004*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.75 ± 0.39	2.97 ± 0.117	8.00%	215	0.235
Поперечная височная извилина Transverse temporal gyrus	Правая Right	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	1092 ± 486	1097 ± 154	0.54%	249	0.629
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	327 ± 117	371 ± 49	13.41%	195	0.108
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.82 ± 0.569	2.65 ± 0.214	-6.03%	170	0.032*
	Левая Left	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	1399 ± 582	1436 ± 244	2.69%	238	0.482
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	456 ± 145	505 ± 63	10.75%	193	0.097
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.72 ± 0.522	2.56 ± 0.275	-5.88%	196	0.113
Парагиппокампальная извилина Parahippocampal gyrus	Правая Right	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	1574 ± 847	2213 ± 324	40.56%	126	0.002*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	484 ± 224	660 ± 72	36.40%	122	0.002*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.53 ± 0.595	2.86 ± 0.205	13.04%	188	0.079
	Левая Left	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	2007 ± 781	2337 ± 360	16.47%	207	0.175
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	599 ± 253	698 ± 91	16.58%	169	0.03*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.73 ± 0.445	2.81 ± 0.268	2.93%	270	0.975
Веретенообразная извилина Fusiform gyrus	Правая Right	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	7889 ± 3324	9451 ± 1359	19.81%	194	0.104
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	2259 ± 912	2880 ± 378	27.45%	150	0.01*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.68 ± 0.61	2.87 ± 0.127	7.09%	252	0.685
	Левая Left	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	9009 ± 3013	9559 ± 1355	6.10%	260	0.809
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	2708 ± 756	3000 ± 380	10.80%	236	0.456
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.73 ± 0.463	2.82 ± 0.117	3.30%	231	0.395
Энторинальная кора Entorhinal cortex	Правая Right	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	1444 ± 571	1793 ± 486	24.11%	172	0.037*
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	373 ± 107	380 ± 89	1.71%	217	0.252
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.89 ± 0.645	3.25 ± 0.374	12.46%	181	0.057
	Левая Left	Объем, мм ³ / Volume, mm ³	1475 ± 591	1828 ± 517	23.98%	187	0.076
		Площадь, мм ² / Area, mm ²	395 ± 142	425 ± 110	7.51%	224	0.318
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.77 ± 0.656	3.1 ± 0.381	11.91%	197	0.118

Примечание. Значения объема структур (мм³), площади поверхности структур (мм²), толщины структур (мм), выраженные как среднее ± стандартное отклонение (Mean ± SD) для каждой возрастной группы. ΔP – процентное изменение, U – U-критерий Манна–Уитни. * – p < 0,05.

Note. Volume (mm³), surface area (mm²), and thickness values of structures (mm), expressed as mean ± standard deviation (Mean ± SD) for each age group. ΔP – Percent change, U – Mann–Whitney U test. * – p < 0.05.



Рис. 2. Значения объема, мм^3 (слева), площади поверхности, мм^2 (в центре) и толщины, мм (справа) структур височных долей для возрастных групп 0–7 лет (верхние столбцы) и 7–18 лет (нижние столбцы). Вертикальные линии обозначают медианы, левые и правые границы прямоугольников указывают на нижний и верхний квартили соответственно.

Fig. 2. Values of volume, мм^3 (left), surface area, мм^2 (middle), and thickness, мм (right) of temporal lobes structures for the age groups 0–7 years (upper columns) and 7–18 years (lower columns). Vertical lines indicate medians, while the left and right borders of the rectangles denote the lower and upper quartiles, respectively.

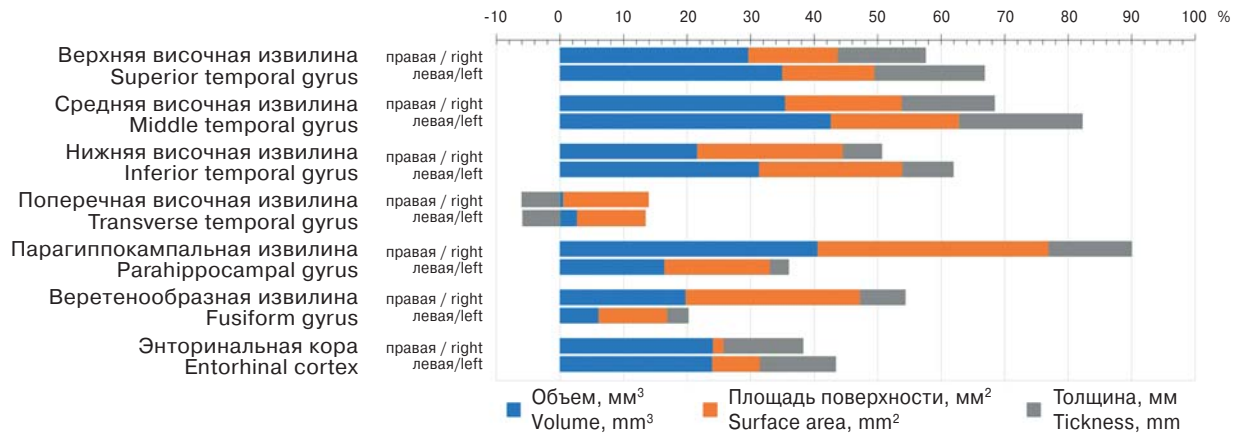
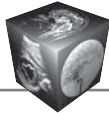


Рис. 3. Процентное изменение средних значений объема (мм³), площади поверхности (мм²) и толщины структур (мм) при сравнении возрастных групп 0–7 и 7–18 лет.

Fig. 3. Percentage change in mean values of volume (mm³), surface area (mm²), and thickness (mm) of structures in comparing age groups 0–7 years and 7–18 years.

Таблица 3. Сравнение объемов гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела между возрастными группами (с обеих сторон)

Table 3. Volume values comparison of the hippocampus, its subfields, and the amygdala between age groups (bilaterally)

Структура Structure	Сторона Side	Объем структуры, мм³ Structure volume, mm³		ΔP	U	p
		группа 1 (0–7 лет) Group 1 (0–7 years) n = 17	группа 2 (7–18 лет) Group 2 (7–18 years) n = 32			
Гиппокамп (целый) Hippocampus (total)	Правая /Right	2761 ± 987.9	3544 ± 307.7	28.36%	95	<0.001*
	Левая / Left	2622 ± 1016.8	3444 ± 285.9	31.35%	87	<0.001*
Головка гиппокампа Hippocampal head	Правая /Right	1390 ± 513.8	1805 ± 180.9	29.86%	98	<0.001*
	Левая / Left	1309 ± 524	1745 ± 162.9	33.31%	97	<0.001*
Тело гиппокампа Hippocampal body	Правая /Right	929 ± 330.7	1173 ± 97	26.26%	111	<0.001*
	Левая / Left	895 ± 347.1	1157 ± 93	29.27%	101	<0.001*
Хвост гиппокампа Hippocampal tail	Правая /Right	442 ± 160.7	565 ± 65.1	27.83%	101	<0.001*
	Левая / Left	417 ± 165.5	542 ± 72.9	29.98%	112	<0.001*
Миндалевидное тело Amygdala	Правая /Right	1425 ± 537.8	1833 ± 153.1	28.63%	101	<0.001*
	Левая / Left	1347 ± 549.6	1790 ± 158.7	32.89%	107	<0.001*

Примечание. Значения объема структур (мм³), выраженные как среднее ± стандартное отклонение (Mean ± SD) для каждой возрастной группы. ΔP – процентное изменение; U – U-критерий Манна–Уитни. * – p < 0,05.

Note. Volume values of structures (mm³), expressed as mean ± standard deviation (Mean ± SD) for each age group. ΔP – Percent change, U – Mann–Whitney U test. * – p < 0.05.

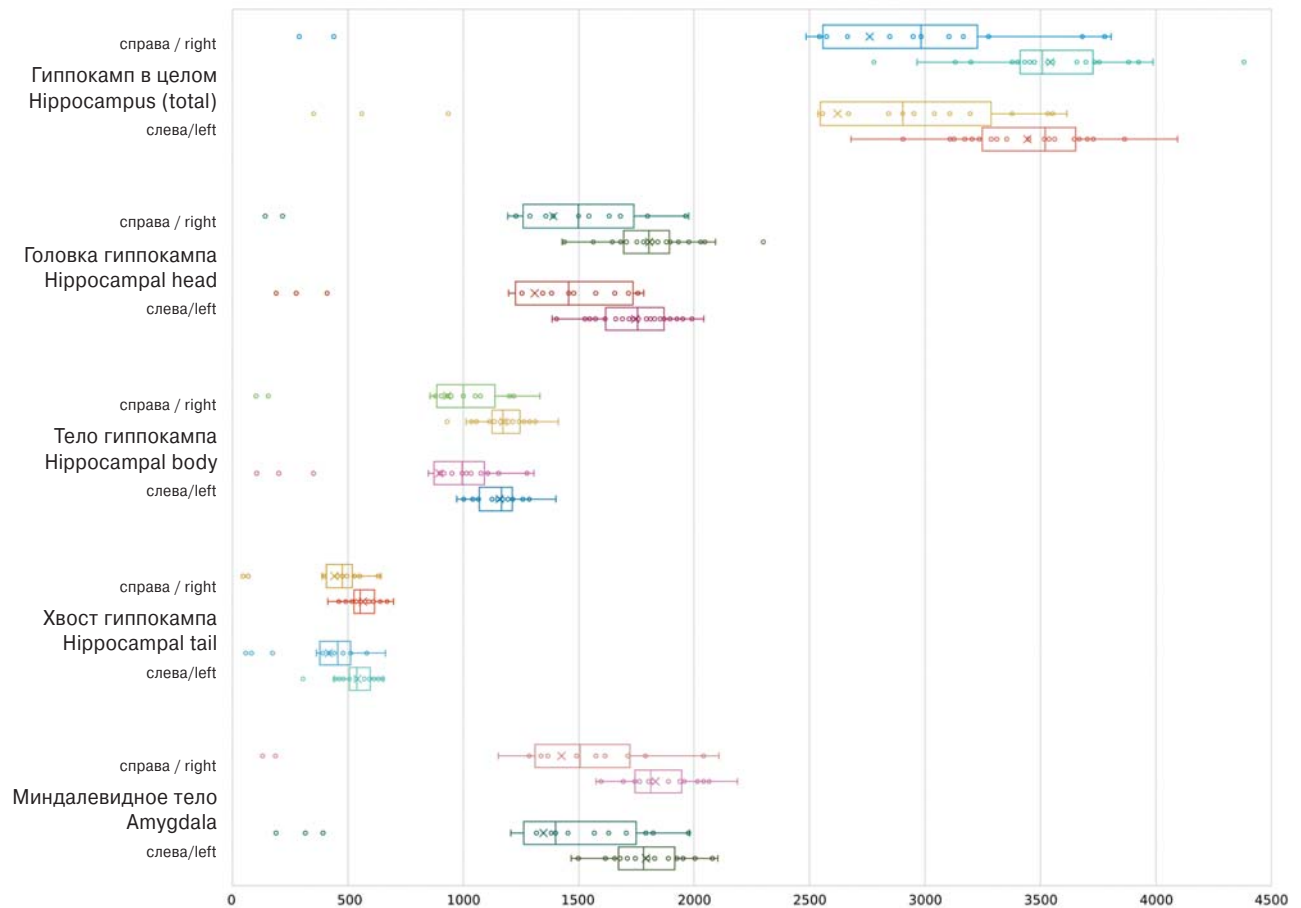
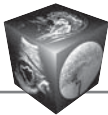


Рис. 4. Значения объема (мм^3) гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела для возрастных групп 0–7 лет (верхние столбцы) и 7–18 лет (нижние столбцы). Вертикальные линии обозначают медианы, левые и правые границы прямоугольников указывают на нижний и верхний квартили соответственно.

Fig. 4. Volume values (mm^3) of the hippocampus, its subfields, and the amygdala for the age groups 0–7 years (upper columns) and 7–18 years (lower columns). Vertical lines indicate medians, while the left and right borders of the rectangles denote the lower and upper quartiles, respectively.

Уитни не выявлено достоверной значимости изменения объема и площади правой и левой поперечных височных извилин, а также толщины левой поперечной височной извилины. При этом толщина правой поперечной височной извилины незначительно уменьшилась (на 6,03%), что было статистически значимо ($p < 0,05$).

Парагиппокампальная извилина. В ходе исследования было выявлено значительное различие в развитии правой парагиппокампальной извилины по сравнению с левой, что проявляется в асимметричном увеличении объема и площади поверхности в рассматриваемых возрастных группах. Показатели объема и площади поверхности демонстрируют значительное увеличение правой парагиппокампальной извилины (на 40,56 и 36,40% соответственно), тогда как увеличение левой из-

вилины менее выражено (на 16,47 и 16,58% соответственно). Однако с помощью критерия Манна–Уитни не выявлено статистически значимых различий в толщине правой и левой парагиппокампальных извилин, а также в объеме левой парагиппокампальной извилины ($p > 0,05$).

Веретенообразная извилина. Было установлено, что морфометрические показатели объема, площади и толщины правой веретенообразной извилины превосходят аналогичные значения левой веретенообразной извилины в анализируемых возрастных группах, и развитие этих структур носит асимметричный характер. С помощью критерия Манна–Уитни не выявлено достоверной значимости изменения объема и площади правой и левой веретенообразных извилин, а также толщины левой веретенообразной извилины ($p > 0,05$).

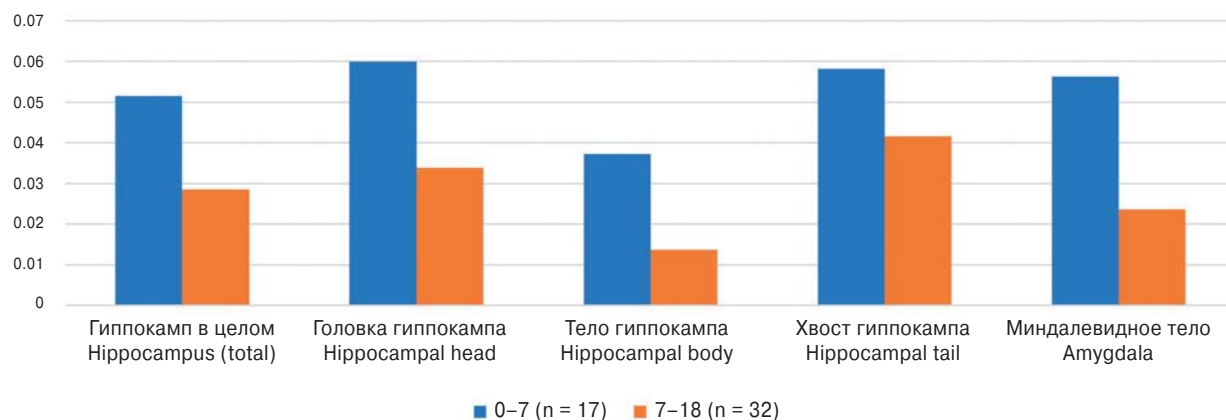
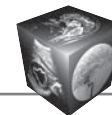


Рис. 5. Значения индекса асимметрии гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела для возрастных групп 0–7 лет (синие столбцы) и 7–18 лет (оранжевые столбцы).

Fig. 5. Asymmetry index values of the hippocampus, its subfields, and the amygdala for the age groups 0–7 years (blue bars) and 7–18 years (orange bars).

При этом толщина правой веретенообразной извилины незначительно увеличилась (на 7,09%), что было статистически значимо ($p < 0,05$).

Энторинальная кора. Изменения площади и толщины правой и левой энторинальной коры, а также объема левой энторинальной коры не достигли статистической значимости ($p > 0,05$). Объем правой энторинальной коры увеличился незначительно (на 1,71%), при этом это изменение оказалось статистически значимым ($p < 0,05$).

Гиппокамп и миндалевидное тело. Объемы гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела в правом и левом полушариях выражено симметрично увеличиваются. Вместе с тем не выявлено ведущего субполя гиппокампа, за счет которого бы увеличивался гиппокамп. При определении индекса асимметрии гиппокампа и его субполей наибольшая асимметрия в младшем возрасте наблюдается в области головки гиппокампа (0,06), а в старшем возрасте – в области хвоста (0,042). Миндалевидное тело также демонстрирует асимметрию, которая более выражена в раннем возрасте (в младшем возрасте 0,056, в старшем возрасте 0,024). Показатели индекса асимметрии гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела представлены на рис. 5.

Половые различия

Сравнительный анализ гендерных различий в объеме, площади поверхности и толщине коры височных долей с учетом процентного соотношения этих морфометрических показателей к общему внутричерепному объему не выявил статистически значимых различий между возрастными группами

0–7 и 7–18 лет ($p > 0,05$). Аналогично статистически значимых гендерных различий в объемах субполей гиппокампа и миндалевидного тела между указанными группами также не обнаружено. Несмотря на это, сохранялась тенденция к преобладанию морфометрических показателей височной доли у мальчиков по сравнению с девочками.

В возрастной группе от 0 до 7 лет выявлены отдельные статистически значимые гендерные различия: толщина левой поперечной височной извилины была выше у мальчиков ($p = 0,015$). Кроме того, площадь и объем левой веретенообразной извилины, а также площадь и объем левой энторинальной коры были значительно больше у мальчиков (p от 0,003 до 0,048). Наблюдалась также тенденция к большему объему правой средней височной извилины и площади правой веретенообразной извилины у мальчиков, хотя эти различия не достигли статистической значимости ($p = 0,062$ и $p = 0,098$ соответственно).

В возрастной группе от 7 до 18 лет гендерные различия проявлялись более выражено: у мальчиков отмечено статистически значимое увеличение площади и объема правой и левой средней височной извилины, а также площади и объема веретенообразной извилины с обеих сторон (p от 0,004 до 0,041). Также площадь левой энторинальной коры была значительно выше у мальчиков ($p = 0,011$). При этом наблюдалась тенденция к увеличению площади правой верхней височной извилины и толщины левой поперечной височной извилины у мальчиков, хотя эти различия не достигли статистической значимости ($p = 0,059$ и $p = 0,084$ соответственно).



Обсуждение

Основываясь на последних достижениях методов нейровизуализации, мы попытались улучшить представление об особенностях развития височных долей у здоровых детей, сфокусировавшись на прицельном изучении ее структур. В нашем исследовании выявлены различные траектории изменения морфометрических показателей корковых и подкорковых структур, изменения в которых подтверждаются зарубежными исследованиями [12, 30, 31]. Научная новизна нашего исследования заключается в комплексной оценке морфометрических параметров височных долей у неврологически здоровых детей, а также в выявлении возрастных различий в критические периоды созревания нервной системы. Использование автоматизированного анализа изображений позволило обеспечить высокую точность и воспроизводимость полученных данных.

На основании разделения исследуемых на 2 возрастные группы (0–7 и 7–18 лет), соответствующие критическим периодам созревания центральной нервной системы, нами выявлены характерные изменения в морфометрических параметрах структур височных долей. Темп развития нервной системы особенно высокий в течение первых 3 мес жизни. Дифференцировка нервных клеток достигается к 3 годам, а к 8 годам кора головного мозга по строению похожа на кору взрослого человека. Первый период, от 0 до 7 лет, характеризуется интенсивным формированием нейронных связей и структурной организацией коры головного мозга. Во втором рассматриваемом периоде, 7–18 лет, наблюдаются значительные изменения в нейроанатомии и функциональности мозга. Этот возрастной интервал характеризуется активным обучением и социализацией, что также оказывает влияние на морфометрические показатели. Сопоставление данных двух групп позволило определить изменения в структурах височных долей, связанных с возрастным развитием и влиянием окружающей среды.

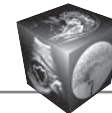
Полученные нами результаты согласуются с данными предыдущих исследований, демонстрирующих асимметрию полушарий головного мозга. В частности, мы наблюдали большую величину правой височной доли и правого гиппокампа по сравнению со структурами с контралатеральной стороны [11]. Быстрый рост гиппокампа в раннем младенчестве может рассматриваться как потенциальная уязвимость к воздействию окружающей среды в этот период. Симметричное увеличение объемов гиппокампа и его субполей в обоих полушариях указывает на сбалансированное развитие этих структур, а отсутствие ведуще-

го субполя в увеличении объема гиппокампа свидетельствует о равномерном росте всех его компонентов. Полученные в ходе исследования результаты согласуются с существующими литературными данными: равномерное увеличение всех субполей гиппокампа может свидетельствовать о пропорциональном развитии различных функций, связанных с памятью и пространственной ориентацией [32, 33]. Наше исследование показало соразмерное увеличение объема миндалевидного тела и гиппокампа, что свидетельствует о взаимосвязанном развитии этих лимбических структур. Полученные данные могут быть полезны для выявления аномалий гиппокампа и височных долей у детей. Кроме того, мы обнаружили, что объем головного мозга у мальчиков больше, чем у девочек, что соответствует результатам других исследований [34]. Е.Г. Потемкина и соавт. в своем обзоре отмечают значимость МР-морфометрии в исследовании нейродегенеративных заболеваний, в частности эпилепсии. Полученные нами результаты согласуются с этими данными, что создает основу для дальнейших исследований в этой области [35].

Основное ограничение количества участников в подобных исследованиях обусловлено рядом методологических проблем: малым количеством исследований, посвященных детям без неврологических нарушений, сложностями в получении согласия родителей на участие их детей, а также проблемами обеспечения неподвижности ребенка во время процедуры для получения качественных изображений без артефактов движения. Большая вариативность структурной конфигурации головного мозга создает значительные трудности для создания популяционных атласов. Хотя данные результаты получены в ходе поперечного исследования и нуждаются в подтверждении в ходе продольного исследования, результаты показывают, что существуют возрастные и половые различия в процессах созревания мозга. Некоторые ученые в своих работах определили этническую принадлежность как один из факторов, оказывающих влияние на морфометрические результаты [36]. Дальнейшие исследования, направленные на изучение этих аспектов, могут помочь в понимании развития головного мозга и диагностике неврологических расстройств у детей.

Заключение

МР-морфометрия зарекомендовала себя как перспективный метод для изучения головного мозга у детей. На основе проведенного исследования с использованием программного обеспечения FreeSurfer обнаружены специфические изме-



нения в структурах височных долей, связанные с возрастом и полом. В целом морфометрические показатели структур височных долей были больше у мальчиков, чем у девочек. Результаты подчеркивают важность учета возрастных и гендерных особенностей при оценке развития мозга у детей и открывают новые возможности для ранней диагностики и исследования нейродегенеративных процессов в детском возрасте. Для изучения половых различий в продолжение исследования планируется значительно увеличить выборку участников и осуществить комплексный анализ данных, охватывающий несколько возрастных групп.

Дополнительная информация

Этическая экспертиза. Исследование проводилось в рамках диссертационной работы, одобренной локальным этическим комитетом (ЛЭК) ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова», выписка №29 из протокола заседания ЛЭК от 12.02.2018 г. Все участники исследования до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утвержденную в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Раскрытие интересов авторов. Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные), за исключением иллюстрации структур височной доли (рис. 1), заимствованной и адаптированной из работы [26] (распространяется на условиях лицензии CC-BY 3.0).

Additional information

Ethics approval. This study was conducted as part of a dissertation project approved by the Local ethics committee (LEC) of the Almazov National Medical Research Centre, extract No. 29 from the LEC protocol dated February 12, 2018. All participants provided informed written consent before enrollment in the study, in accordance with the study protocol approved by the LEC.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure of potential conflicts of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Statement of originality. In the creation of this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data), except for the illustration of temporal lobe structures (Fig. 1), which was borrowed and adapted from [26] (distributed under the CC-BY 3.0 license).

Участие авторов

Семибратов Н.Н. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

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

Труфанов Г.Е. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Ефимцев А.Ю. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

Абрамов К.Б. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Кондратьев Г.В. – участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста.

Левчук А.Г. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Authors' participation

Semibratov N.N. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, preparation and creation of the published work.

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

Trufanov G.E. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Efimtsev A.Y. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data.

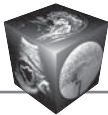
Abramov K.B. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Kondratiev G.V. – participation in scientific design, text preparation and editing.

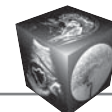
Levchuk A.G. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Список литературы [References]

1. Bartzokis G., Beckson M., Lu P.H. et al. Age-related changes in frontal and temporal lobe volumes in men: a magnetic resonance imaging study. *Arch. Gen. Psychiatry*. 2001; 58 (5): 461–465.
<https://doi.org/10.1001/archpsyc.58.5.461>
2. Giedd J.N., Castellanos F.X., Rajapakse J.C. et al. Sexual dimorphism of the developing human brain. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*. 1997; 21 (8): 1185–1201.
[https://doi.org/10.1016/s0278-5846\(97\)00158-9](https://doi.org/10.1016/s0278-5846(97)00158-9)
3. Lenroot R.K., Gogtay N., Greenstein D.K. et al. Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *Neuroimage*. 2007; 36 (4): 1065–1073.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.053>
4. Sowell E.R., Trauner D.A., Gamst A., Jernigan T.L. Development of cortical and subcortical brain structures in childhood and adolescence: a structural MRI study. *Dev. Med. Child. Neurol*. 2002; 44 (1): 4–16.
<https://doi.org/10.1017/s0012162201001591>
5. Wilke M., Schmithorst V.J., Holland S.K. Assessment of spatial normalization of whole-brain magnetic resonance



- images in children. *Hum. Brain. Mapp.* 2002; 17 (1): 48–60. <https://doi.org/10.1002/hbm.10053>
6. Мамажонов З.А. Анатомо-топографические особенности височной доли мозга в постнатальном онтогенезе. *Экономика и социум.* 2020; 73 (6): 867–872. Mamajonov Z.A. Anatomical and topographic features of the temporal lobe of the brain in postnatal ontogenesis. *Ekonomika i Socium.* 2020; 73 (6): 867–872. (In Russian)
 7. Воронова Н.В., Климова Н.М., Менджерицкий А.М. Анатомия центральной нервной системы: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению и специальности “Психология”. М.: Аспект Пресс, 2005. 128 с. Voronova N.V., Klimova N.M., Mendgeritsky A.M. Anatomy of the Central Nervous System: A Textbook for University Students Specializing in Psychology. M.: Aspect Press, 2005. 128 p. (In Russian)
 8. Giedd J.N., Blumenthal J., Jeffries N.O. et al. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nat. Neurosci.* 1999; 2 (10): 861–863. <https://doi.org/10.1038/13158>
 9. Jernigan T.L., Tallal P. Late childhood changes in brain morphology observable with MRI. *Dev. Med. Child. Neurol.* 1990; 32 (5): 379–385. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1990.tb16956.x>
 10. Pfefferbaum A., Mathalon D.H., Sullivan E.V. et al. A quantitative magnetic resonance imaging study of changes in brain morphology from infancy to late adulthood. *Arch. Neurol.* 1994; 51 (9): 874–887. <https://doi.org/10.1001/archneur.1994.00540210046012>
 11. Tanaka C., Matsui M., Uematsu A. et al. Developmental trajectories of the fronto-temporal lobes from infancy to early adulthood in healthy individuals. *Dev. Neurosci.* 2012; 34(6): 477–487. <https://doi.org/10.1159/000345152>
 12. Vijayakumar N., Allen N.B., Youssef G. et al. Brain development during adolescence: A mixed-longitudinal investigation of cortical thickness, surface area, and volume. *Hum. Brain. Mapp.* 2016; 37 (6): 2027–2038. <https://doi.org/10.1002/hbm.23154>
 13. Sowell E.R., Thompson P.M., Holmes C.J. et al. Localizing age-related changes in brain structure between childhood and adolescence using statistical parametric mapping. *Neuroimage.* 1999; 9 (6, Pt 1): 587–597. <https://doi.org/10.1006/nimg.1999.0436>
 14. Rakic P., Ayoub A.E., Breunig J.J., Dominguez M.H. Decision by division: making cortical maps. *Trends Neurosci.* 2009; 32 (5): 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.01.007>
 15. Mills K.L., Goddings A.L., Herting M.M. et al. Structural brain development between childhood and adulthood: Convergence across four longitudinal samples. *Neuroimage.* 2016; 141: 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.07.044>
 16. Gogtay N., Giedd J.N., Lusk L. et al. Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2004; 101 (21): 8174–8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
 17. Martin A., Chao L.L. Semantic memory and the brain: structure and processes. *Curr. Opin. Neurobiol.* 2001; 11 (2): 194–201. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(00\)00196-3](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(00)00196-3)
 18. Calvert G.A. Crossmodal processing in the human brain: insights from functional neuroimaging studies. *Cereb. Cortex.* 2001; 11 (12): 1110–1123. <https://doi.org/10.1093/cercor/11.12.1110>
 19. Utsunomiya H., Takano K., Okazaki M., Mitsudome A. Development of the temporal lobe in infants and children: analysis by MR-based volumetry. *Am. J. Neuroradiol.* 1999; 20 (4): 717–723.
 20. Backhausen L.L., Herting M.M., Tamnes C.K., Vetter N.C. Best Practices in Structural Neuroimaging of Neurodevelopmental Disorders. *Neuropsychol. Rev.* 2022; 32 (2): 400–418. <https://doi.org/10.1007/s11065-021-09496-2>
 21. Fjell A.M., Walhovd K.B. Structural brain changes in aging: courses, causes and cognitive consequences. *Rev. Neurosci.* 2010; 21 (3): 187–221. <https://doi.org/10.1515/revneuro.2010.21.3.187>
 22. Heinen R., Bouvy W.H., Mendrik A.M. et al. Robustness of Automated Methods for Brain Volume Measurements across Different MRI Field Strengths. *PLoS One.* 2016; 11 (10): e0165719. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165719>
 23. Fischl B. FreeSurfer. *Neuroimage.* 2012; 62 (2): 774–781. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.021>
 24. Fischl B., Salat D.H., Busa E. et al. Whole brain segmentation: automated labeling of neuroanatomical structures in the human brain. *Neuron.* 2002; 33 (3): 341–355. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)00569-x](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)00569-x)
 25. Fischl B., Sereno M.I., Dale A.M. Cortical surface-based analysis. II: Inflation, flattening, and a surface-based coordinate system. *Neuroimage.* 1999; 9 (2): 195–207. <https://doi.org/10.1006/nimg.1998.0396>
 26. Klein A., Tourville J. 101 Labeled Brain Images and a Consistent Human Cortical Labeling Protocol. *Front. Neurosci.* 2012; 6. <https://doi.org/10.3389/fnins.2012.00171>
 27. Iglesias J.E., Augustinack J.C., Nguyen K. et al. A computational atlas of the hippocampal formation using ex vivo, ultra-high resolution MRI: Application to adaptive segmentation of in vivo MRI. *Neuroimage.* 2015; 115: 117–137. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.04.042>
 28. The jamovi project. jamovi. Version 2.5 [Computer Software] — [cited 2025 Jan 25]. Available from: <https://www.jamovi.org>
 29. Microsoft Corporation. Microsoft Excel. Version 16.88 [Computer Software]. — [cited 2025 Jan 25]. Available from: <https://www.microsoft.com>
 30. Herting M.M., Johnson C., Mills K.L. et al. Development of subcortical volumes across adolescence in males and females: A multisample study of longitudinal changes. *Neuroimage.* 2018; 172: 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.020>
 31. Tamnes C.K., Herting M.M., Goddings A.L. et al. Development of the Cerebral Cortex across Adolescence: A Multisample Study of Inter-Related Longitudinal Changes in Cortical Volume, Surface Area, and Thickness. *J. Neurosci.* 2017; 37 (12): 3402–3412. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3302-16.2017>
 32. Ананьева Н.И., Андреев Е.В., Саломатина Т.А. и др. МР-морфометрия субполей и субрегионов гиппокампа в норме и при ряде психических заболеваний. *Лучевая диагностика и терапия.* 2019; 2: 50–58. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-2-50-58>
- Ananyeva N.I., Andreev E.V., Salomatina T.A. et al. MR morphometry of the hippocampus in normal volunteers and patients with psychotic disorders disease. *Diagnostic*



- Radiology and Radiotherapy*. 2019; 2: 50–58. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-2-50-58> (In Russian)
33. Anand K.S., Dhikav V. Hippocampus in health and disease: An overview. *Ann. Indian Acad. Neurol.* 2012; 15 (4): 239–246. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.104323>
 34. Brain Development Cooperative Group. Total and regional brain volumes in a population-based normative sample from 4 to 18 years: the NIH MRI Study of Normal Brain Development. *Cereb. Cortex*. 2012; 22 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr018>
 35. Потемкина Е.Г., Саломатина Т.А., Андреев Е.В. и др. Применение МР-морфометрии в эпилептологии: достижения и перспективы. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2023; 87 (3): 113–119. <https://doi.org/10.17116/neiro202387031113>
 36. Potemkina E.G., Salomatina T.A., Andreev E.V. et al. MR morphometry in epileptology: progress and perspectives. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2023; 87 (3): 113–119. <https://doi.org/10.17116/neiro202387031113> (In Russian)
 36. Dong H.M., Castellanos F.X., Yang N. et al. Charting brain growth in tandem with brain templates at school age. *Sci. Bull. (Beijing)*. 2020; 65 (22): 1924–1934. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.07.027>

Для корреспонденции*: Семибратов Николай Николаевич – e-mail: nsemibr@gmail.com

Семибратов Николай Николаевич – врач-рентгенолог отделения амбулаторного лечения с дневным стационаром в составе радиотерапевтического отделения ГБУЗ “Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический) имени Н.П. Напалкова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-0034-7413>

Фокин Владимир Александрович – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, заведующий отделом лучевой диагностики, заведующий НИЛ магнитно-резонансной томографии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-7885-9024>

Труфанов Геннадий Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, заведующий НИО лучевой диагностики ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

Ефимцев Александр Юрьевич – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, ведущий научный сотрудник НИЛ лучевой визуализации ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-2249-1405>

Абрамов Константин Борисович – канд. мед. наук, заместитель главного врача, врач-нейрохирург Российского научно-исследовательского нейрохирургического института им. проф. А.Л. Поленова – филиала Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1290-3659>

Кондратьев Глеб Валентинович – ассистент кафедры онкологии, детской онкологии и лучевой терапии, врач-детский онколог ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1462-6907>

Левчук Анатолий Геннадьевич – младший научный сотрудник НИЛ магнитно-резонансной томографии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-8848-3136>

Contact*: Nikolay N. Semibratov – e-mail: nsemibr@gmail.com

Nikolay N. Semibratov – Radiologist at the Radiotherapy outpatient department with a day hospital within the radiotherapy department at the Saint-Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialised Types of Medical Care (Oncological), St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-0034-7413>

Vladimir A. Fokin – Doct. of Sci. (Med.), Professor at the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Head of the Department of Radiation Diagnostics, Head of the Research Laboratory of Magnetic Resonance Imaging at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-7885-9024>

Gennadiy E. Trufanov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Head of the Research Institute of Radiation Diagnostics at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

Aleksandr Y. Efimtsev – Doct. of Sci. (Med.), Professor at the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Leading Researcher at the Research Institute of Radiation Imaging at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-2249-1405>

Konstantin B. Abramov – Cand. of Sci. (Med.), Deputy Chief Physician for Neurosurgery, Neurosurgeon at the Polenov Neurosurgery Institute – the branch of the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1290-3659>

Gleb V. Kondratiev – Assistant Department of Oncology, Pediatric Oncology and Radiation Therapy, Pediatric Oncologist at Saint Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1462-6907>

Anatoly G. Levchuk – Junior Researcher at Research Laboratory of Magnetic Resonance Imaging at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-8848-3136>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1554>

Визуальная оценка изображений, взвешенных по амидному протонному переносу, как критерий оценки злокачественности опухоли глиального ряда

© Ключев Е.А.^{1*}, Сухова М.Б.^{1, 2}, Растеряева М.В.¹, Кухнина Л.С.¹,
Зинатуллин Р.Д.¹, Гришин А.С.¹, Остапук М.В.¹, Медяник И.А.¹, Яшин К.С.¹

¹ ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России; 603005 Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского. д.10/1, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»; 603022 Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, Российская Федерация

Цель исследования: определение возможностей визуальной оценки изображений, взвешенных по амидному протонному переносу (АПП-ВИ), в оценке степени злокачественности глиальных опухолей головного мозга.

Материал и методы. В исследование включено 47 пациентов с гистологически подтвержденными супратенториальными глиомами, прошедших оперативное лечение в университетской клинике ФГБОУ ВО ПИМУ Минздрава России с 2023 по 2024 г. Исследование проводилось на магнитно-резонансном томографе Philips Ingenia Elition X 3T (Нидерланды). Протокол исследования состоял из стандартного протокола и изображений, взвешенных по АПП. Проводилась визуальная оценка АПП-ВИ в программе просмотра Vidar Viewer 3.3 (Россия).

Результаты. При визуальной оценке изображений, взвешенных по АПП, было выделено 3 параметра оценки: интенсивность сигнала, неоднородность, соответствие объема измененного сигнала и T2-FLAIR-позитивной области. Характеристики сигнала у каждой изученной опухоли оценивались по шкале от 1 до 3 баллов для интенсивности сигнала, от 1 до 2 баллов для неоднородности и от 1 до 3 баллов для соответствия протяженности. Для глиом низкой степени злокачественности (100%) был характерен слабый однородный и неоднородный тип. Глиомы высокой степени злокачественности характеризовались преимущественно высоким неоднородным типом – в 28 (70%) случаях из 40. Объем измененного сигнала на АПП-ВИ был меньше по сравнению с T2-FLAIR-изображениями в большинстве глиом низкой степени злокачественности (71%), у глиом высокой степени злокачественности в 45% всех случаев отмечалось равенство объемов и в 37,5% размеры опухоли на АПП-ВИ превышали размеры на T2-FLAIR. По сумме баллов было выполнено сравнение между группами опухолей по степени злокачественности. Статистически значимые различия были выявлены между глиомами низкой и высокой степеней злокачественности – 3 [3; 4] и 7 [6,25; 7,75] соответственно ($p = 0,001$, критерий Манна–Уитни). Глиомы grade 4 имели большую сумму баллов (7 [7; 8]), по сравнению с grade 3 (5 [3; 7]), $p = 0,006$, критерий Манна–Уитни и grade 2 (3 [3;4]), $p = 0,001$, критерий Манна–Уитни.

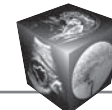
Закключение. Применение методики визуальной оценки изображений, взвешенных по амидному протонному переносу, повышает эффективность дооперационной МР-диагностики при дифференциальном анализе глиальных опухолей.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; головной мозг; визуальная оценка; амидный протонный перенос; нейровизуализация; глиомы; степень злокачественности

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Ключев Е.А., Сухова М.Б., Растеряева М.В., Кухнина Л.С., Зинатуллин Р.Д., Гришин А.С., Остапук М.В., Медяник И.А., Яшин К.С. Визуальная оценка изображений, взвешенных по амидному протонному переносу, как критерий оценки злокачественности опухоли глиального ряда. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 36–47. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1554>

Поступила в редакцию: 21.04.2025. Принята к печати: 21.06.2025. Опубликовано online: 13.10.2025.



Visual evaluation of amide proton transfer weighted images as an assessment criterion of the malignancy of a glial tumors

© Evgenii A. Kliuev^{1*}, Marina B. Sukhova^{1, 2}, Marina V. Rasteryaeva¹,
Liudmila S. Kukhnina¹, Radik D. Zinatullin¹, Artyom S. Grishin¹,
Mikhail V. Ostapiuk¹, Igor A. Medyanik¹, Konstantin S. Yashin¹

¹ Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 10/1, Minin & Pozharsky str., Nizhny Novgorod 603005, Russian Federation

² National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; 23, Gagarina prosp., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation

Aim. To determine the possibilities of visual evaluation of images weighted by amide proton transfer in evaluation of malignancy of glial brain tumors.

Methods. The study included 47 patients with histologically confirmed supratentorial gliomas who underwent surgical treatment at the university clinic of the FSBEI HE PRMU MOH from 2023 to 2024. The study was performed on a Philips Ingenia Elite X 3T magnetic resonance imaging machine (the Netherlands). The study protocol consisted of a standard protocol and images weighted by amide proton transfer (APT-WI). A visual assessment of APT-weighted images was performed in the Vidar Viewer 3.3 (Russia).

Results. When visually evaluating images weighted by amide proton transfer, three evaluation parameters were identified: signal intensity, heterogeneity, correspondence of the volume of the modified signal and the T2-FLAIR-positive region. The signal characteristics of each tumor studied were evaluated on a scale from 1 to 3 points for signal intensity, from 1 to 2 points for heterogeneity, and from 1 to 3 points for length. Low grade gliomas (100%) were characterized by a weak homogeneous and heterogeneous type. Gliomas with a high degree of malignancy were characterized mainly by a high heterogeneous type – in 28 cases out of 40 (70%). The volume of the altered signal on APT-WI was smaller than in T2-FLAIR images in most gliomas of low malignancy (71%), in gliomas of high malignancy, 45% of all cases showed volume equality, and in 37.5% the tumor size on APT-WI exceeded the size on T2-FLAIR. According to the total score, a comparison was made between the groups of tumors according to the degree of malignancy. Statistically significant differences were found between low and high grade gliomas and 3[3;4] and 7 [6.25; 7.75] respectively ($p = 0.001$, Mann–Whitney test). Grade 4 gliomas had a higher score (7 [7; 8]) compared to grade 3 (5 [3; 7]), $p = 0.006$, Mann–Whitney test and grade 2 (3 [3; 4]), $p = 0.001$, Mann–Whitney test.

Conclusion. The use of the technique of visual assessment of images weighted by amide proton transfer increases the effectiveness of preoperative MR diagnostics in the differential analysis of glial tumors.

Keywords: magnetic resonance imaging; brain; visual assessment; amide proton transfer; neuroimaging; gliomas; grade of malignancy

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

For citation: Kliuev E.A., Sukhova M.B., Rasteryaeva M.V., Kukhnina L.S., Zinatullin R.D., Grishin A.S., Ostapiuk M.V., Medyanik I.A., Yashin K.S. Visual evaluation of amide proton transfer weighted images as an assessment criterion of the malignancy of a glial tumors. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 36–47.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1554>

Received: 21.04.2025.

Accepted for publication: 21.06.2025.

Published online: 13.10.2025.

Введение

Глиальные опухоли являются самой распространенной и достаточно разнородной группой злокачественных объемных образований головного мозга. В соответствии с классификацией ВОЗ 2021 г. выделяют 4 группы глиом: диффузные глиомы взрослых, педиатрические диффузные глиомы низкой степени злокачественности, педиатрические диффузные глиомы высокой степени злокачественности и ограниченные астроцитар-

ные глиомы [1]. В основе деления лежат как гистологические различия, так и молекулярно-генетические. Гистологические критерии злокачественности включают в себя степень клеточной атипии, наличие митозов, тенденцию к палисадообразованию клеток, пролиферацию эндотелия сосудов, некрозы. Эти параметры необходимы для стадирования опухолей высокой степени злокачественности и являются универсальными для всех типов опухолей в классификации [2].



Молекулярно-генетические критерии представляют собой набор мутаций, приводящих к нарушению синтеза различных категорий белков. Часть мутаций характерна для конкретных подтипов опухоли, определяя основные звенья патогенеза, которые в итоге являются целью для подбора препарата или лучевой терапии. Ключевыми мутациями, исследуемыми в опухолях головного мозга, являются мутация изоцитратдегидрогеназы (IDH), 1p/19q-коделеция, метилирование промотора O 6-метилгуанин-ДНК-метилтрансферазы, ATRX-мутация, BRAF и ряд других.

Определение IDH-мутации является принципиальным для диффузных глиом взрослого типа, которые разделены соответственно на мутантные глиомы: астроцитомы и олигодендроглиомы и немутантные, или “дикого типа”, – глиобластомы. Отсутствие мутации характеризует худший прогноз и по классификации опухолей центральной нервной системы ВОЗ 2021 г. [1] определяет самую высокую, 4-ю, степень злокачественности у диффузной глиомы взрослого типа независимо от изменения гистологических критериев. В то время как наличие мутации является целью для таргетной терапии воразиденибом.

Разделение IDH-мутантных глиом на олигодендроглиомы и астроцитомы определяется 1p/19q-коделецией. Наличие данной мутации напрямую коррелирует с эффективностью лучевой терапии.

Метилирование промотора O 6-метилгуанин-ДНК-метилтрансферазы (MGMT), как ключевой мутации, встречается у всех подтипов диффузных глиом взрослого типа и определяет восприимчивость опухоли к темозоламиду.

Таким образом, определение молекулярно-генетического профиля у пациентов с глиальными опухолями, возможное лишь при проведении ин-

вазивных методик – резекции или биопсии, является наиболее важным звеном диагностики, определяющим тактику ведения и выбор терапии [3]. Это обуславливает интерес к современным возможностям неинвазивной диагностики [4], в том числе позволяющим оценивать метаболические особенности опухоли на дооперационном этапе, наиболее перспективной среди которых является МР-методика амидного протонного переноса (АПП) [5].

Цель исследования: определение возможностей дифференцировки различных гистологических подтипов глиальных опухолей головного мозга МР-методикой АПП на дооперационном этапе.

Материал и методы

Пациенты

Исследование проводилось с разрешения локального этического комитета ФГБОУ ВО ПИМУ Минздрава России протокол №12 от 03.11.2023.

В исследование включено 47 пациентов: 26 женщин в возрасте от 23 до 75 (54 ± 21) лет и 21 мужчина в возрасте от 23 до 80 (52 ± 29) лет. Всем пациентам выполнено оперативное лечение по поводу гистологически подтвержденных супратенториальных диффузных глиом взрослого типа за период с 2023 по 2024 г.

Распределение пациентов по гистологическим подтипам проводилось в соответствии с классификацией опухолей центральной нервной системы ВОЗ пересмотра 2021 г. [1] (табл. 1).

Всем пациентам на дооперационном этапе выполнено МРТ-исследование головного мозга на томографе с индукцией магнитного поля 3 Тл (Ingenia X, Philips Healthcare, Best, Нидерланды) с использованием 32-канальной катушки для головы. МРТ-протокол включал стандартные после-

Таблица 1. Гистологическая характеристика пациентов
Table 1. Histological characteristics of the included patients

Гистологический подтип Histological subtype	Количество пациентов Number of patients n = 47
Глиобластома IDHwt / Glioblastoma IDHwt (grade 4)	23 (45%)
Астроцитома IDHm / Astrocytoma IDHm (grade 4)	8 (19%)
Астроцитома IDHm / Astrocytoma IDHm (grade 3)	4 (9.5%)
Олигодендроглиома IDHm / Oligodendroglioma IDHm (grade 3)	5 (11%)
Астроцитома IDHm / Astrocytoma IDHm (grade 2)	2 (4.5%)
Олигодендроглиома IDHm / Oligodendroglioma IDHm (grade 2)	5 (11%)

IDHwt – опухоль “дикого типа” по мутации изоцитратдегидрогеназы, IDHm – опухоль с наличием мутации изоцитратдегидрогеназы.

IDHwt – “wild-type” tumor without mutation in isocitrate dehydrogenase, IDHm – tumor with mutation in isocitrate dehydrogenase.

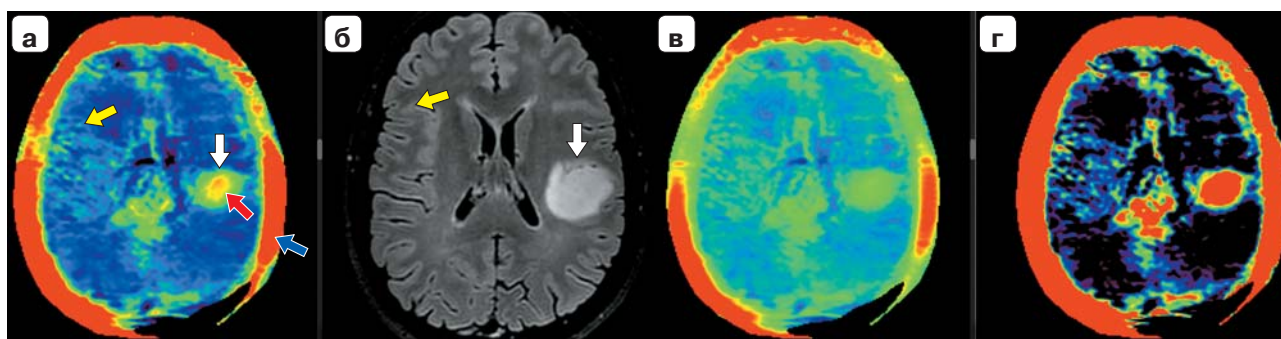
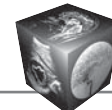


Рис. 1. Глиобластома на изображениях головного мозга, взвешенных по АПП, с разным уровнем контрастности и последовательности стандартного протокола (T2-FLAIR).

а – МР-изображение, взвешенное по АПП, с оптимальным уровнем контрастности – опухоль в левой лобной доле (белая стрелка) дифференцируется отчетливо на фоне неизменной ткани мозга. Структура опухоли представляется неоднородной, центральная зона (красная стрелка) характеризуется уровнем сигнала, близким к костным структурам (синяя стрелка), то есть высокой интенсивностью; сигнал от вещества головного мозга неоднородный: на фоне низкого сигнала от белого вещества определяются участки слабоповышенного сигнала (желтая стрелка), соответствующие серому веществу;

б – МР-изображение, взвешенное по T2ВИ с подавлением сигнала от свободной жидкости – T2-FLAIR (белая стрелка – опухоль, желтая стрелка – кора);

в – МР-изображение, взвешенное по АПП, с низким уровнем контрастности – структура неизмененного вещества мозга дифференцируется менее отчетливо, сигнальные характеристики от опухоли гомогенно низкие;

г – МР-изображение, взвешенное по АПП, с высоким уровнем контрастности – структура неизмененного вещества мозга дифференцируется неотчетливо за счет значительной разности по уровню сигнала, опухоль характеризуется высокой интенсивностью, но внутренняя структура неразличима.

Fig. 1. Glioblastoma in brain images weighted by amide proton transfer, with different levels of contrast and the sequence of the standard protocol (T2-FLAIR).

а – MR-images weighted by amide proton transfer with an optimal contrast level – the tumor in the left frontal lobe (white arrow) is clearly differentiated against the background of unchanged brain tissue. The structure of the tumor appears to be heterogeneous, the central zone (red arrow) is characterized by a signal level close to bone structures (blue arrow) – that is, high intensity; the signal from the brain substance is heterogeneous: against the background of a low signal from the white substance, areas of slightly elevated signal (yellow arrow) corresponding to gray matter are determined;

б – MR images weighted by T2 AND with suppression of the signal from the free liquid – T2-FLAIR (white arrow – tumor, yellow arrow – cortex);

в – MR images weighted by amide proton transfer with a low contrast level – the structure of the unchanged brain matter is less clearly differentiated, the signaling characteristics from the tumor are homogeneously low;

г – MR images weighted by amide proton transfer with a high contrast level – the structure of the unchanged brain matter is indistinctly differentiated due to a significant difference in signal level, the tumor is characterized by high intensity, but the internal structure is indistinguishable.

довательности: T1, T2, T2ВИ с подавлением сигнала от свободной жидкости (T2-FLAIR), диффузионно-взвешенные изображения с расчетом ИКД-карты и изображения, взвешенные по амидному протонному переносу (АПП-ВИ).

Использовались следующие параметры АПП-ВИ: 3D Turbo Spin Echo (TSE), время повторения (TR) 6306 мс; время эхосигнала (TE) 8,3 мс, угол поворота (FA) 90°, поле обзора 230 × 180 мм, размер вокселя сбора данных 1,8 мм × 1,8 мм × 6 мм, количество срезов 10, коэффициент параллельного ускорения (SENSE) 1,6, время сбора данных 3 мин 53 с. Сбор данных АПП-ВИ проводился до введения контрастного препарата.

Контрастное усиление выполнялось путем внутривенного введения 1 ммоль/мл гадобутрола в дозировке 0,1 мл/кг.

Анализ МР-изображений проводился с помощью программного обеспечения Vidar Dicom Viewer 3.3 (Россия); анализ МР-изображений, взвешенных по АПП, оценивался визуально с применением стандартной цветовой палитры “perfusion”, где интенсивность сигнала кодируется цветом от синего (минимальный) до красного (максимальный). Характеристики яркости и контрастности подбирались вручную для каждого пациента по следующим критериям: темные кости должны быть максимально и гомогенно яркими (однородно красный цвет в представленной палитре), белое вещество и кора должны дифференцироваться и характеризоваться умеренной яркостью (оттенки синего и зеленого соответственно) (рис. 1). При перечисленных настройках окна структура опухоли на АПП-ВИ дифференцируется наиболее отчетливо.

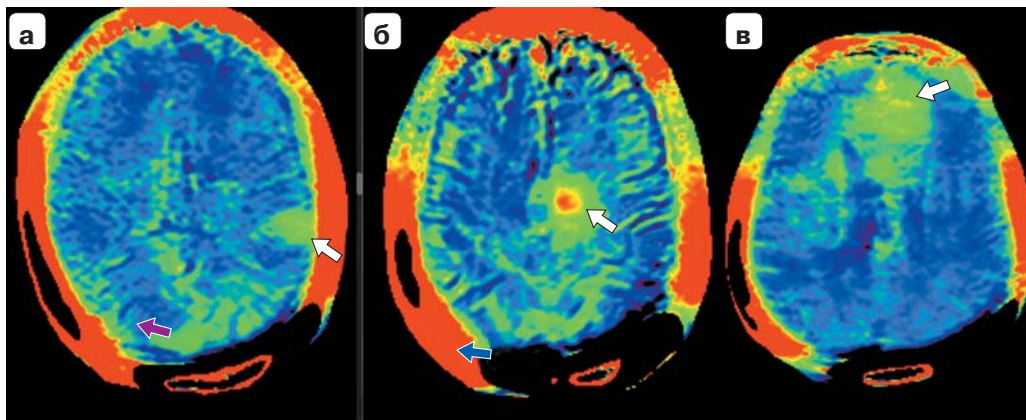
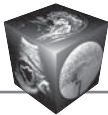


Рис. 2. Типы интенсивности и однородности сигнала от опухоли на АПП-ВИ головного мозга.

а – низкий тип: сигнал от опухоли (белая стрелка) сравним с сигналом от серого вещества (фиолетовая стрелка); распределение сигнала однородное – опухоль представлена сигналом одного типа;

б – высокий тип: сигнал от опухоли (белая стрелка) сравним с сигналом от теменной кости (синяя стрелка); распределение сигнала неоднородное – опухоль можно разделить на две зоны – центральную с высоким сигналом и периферическую – с низким;

в – промежуточный тип: в структуре опухоли (белая стрелка) определяются участки сигнала выше окружающего неизмененного вещества, но ниже сигнала от кости; распределение сигнала неоднородное.

Fig. 2. Types of intensity and uniformity of the tumor signal on APT-weighted images of the brain.

а – low type: the signal from the tumor (white arrow) is comparable to the signal from the gray matter (purple arrow); the signal distribution is uniform – the tumor is represented by a signal of the same type;

б – high type: the signal from the tumor (white arrow) is comparable to the signal from the parietal bone (blue arrow); the signal distribution is heterogeneous – the tumor can be divided into two zones – the central one with a high signal and the peripheral one with a low one;

в – is an intermediate type: in the tumor structure (white arrow), areas of the signal are determined above the surrounding unchanged substance, but below the signal from the bone; the signal distribution is heterogeneous.

При анализе АПП-ВИ глиом нами было выделено 3 МР-критерия, позволяющих разделить опухоль на несколько групп.

I. Первый критерий – степень интенсивности сигнала на АПП-ВИ, включал 3 типа (рис. 2):

- низкий – оттенки зеленого в представленной палитре; сигнал изображения опухоли сравним с сигналом от серого вещества;

- высокий – оттенки красного; в опухоли отчетливо определяются зоны, по сигналу сравнимые с костями свода;

- промежуточный – оттенки желтого; в опухоли сигнал отчетливо выше, чем в окружающих неизмененных тканях, но ниже, чем сигнал от костей.

II. Второй критерий – однородность распределения сигнала в опухоли на АПП-ВИ, включал 2 характеристики (см. рис. 2):

- однородный, когда опухоль представлена участками сигнала одной интенсивности;

- неоднородный – распределение сигнала в опухоли разной интенсивности.

III. Третий критерий – соответствие размеров опухоли на АПП-ВИ и Т2ВИ с подавлением сигнала от свободной жидкости на идентичных срезах (рис. 3):

- недостигающий – на изображениях, взвешенных по АПП, опухоль имеет меньшие размеры;

- соответствующий – размеры опухоли одинаковые на обоих типах изображений;

- превышающий – опухоль имеет большие размеры на АПП-ВИ, чем на Т2-FLAIR.

Для количественной оценки изменения сигнальных характеристик на МР-изображениях, взвешенных по АПП, каждый тип оценивался по шкале от 1 до 3 баллов для интенсивности сигнала (слабый – 1 балл, умеренный – 2 балла, высокий – 3 балла), от 1 до 2 баллов для однородности (однородный – 1 балл, неоднородный – 2 балла) и от 1 до 3 баллов для соответствия протяженности (недостигающий – 1 балл, соответствующий – 2 балла, превышающий – 3 балла). Затем каждому пациенту рассчитывалась сумма баллов.

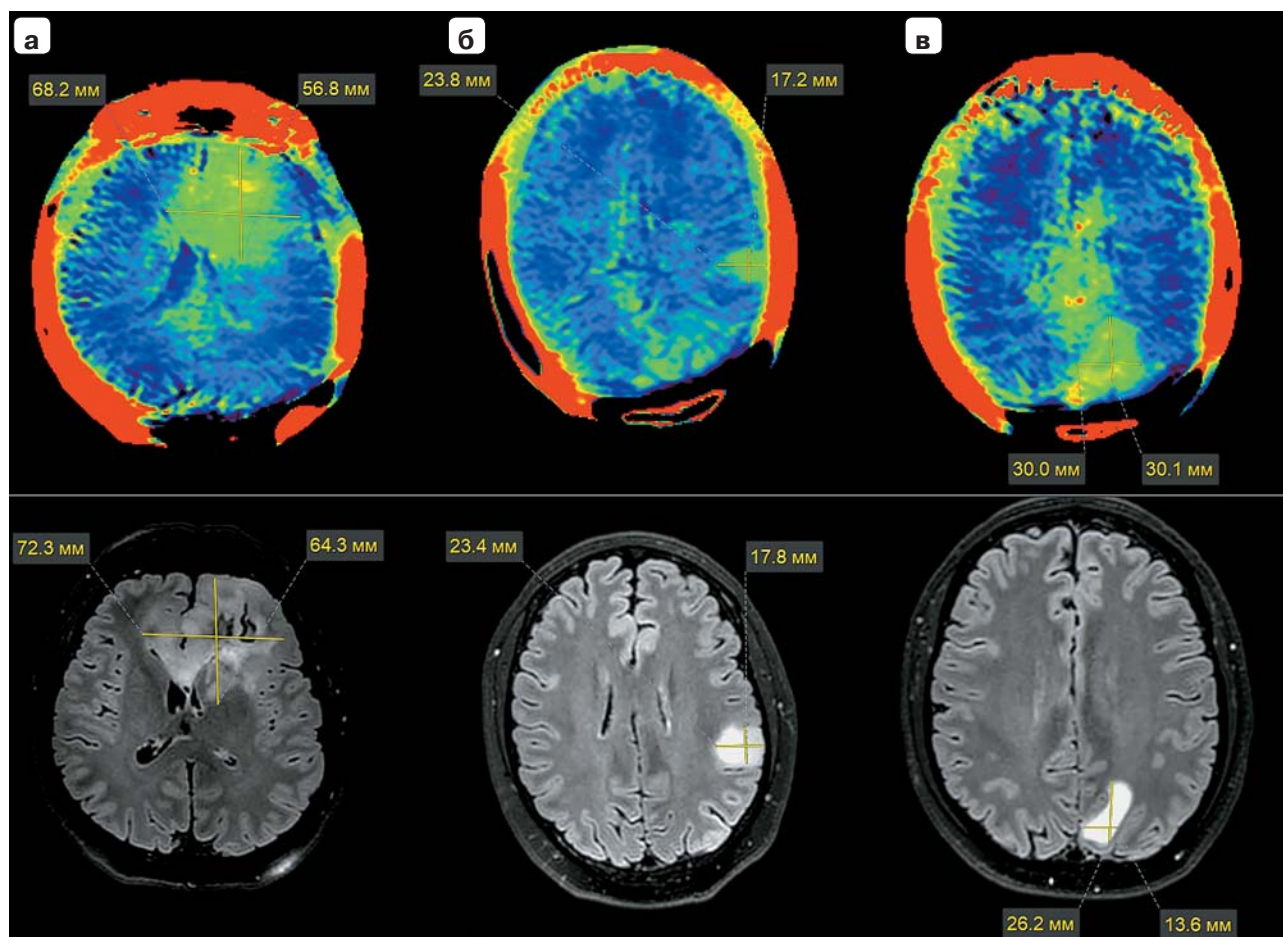
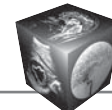


Рис. 3. Три типа критерия соответствия размеров опухоли на АПП-ВИ (верхний ряд) и T2ВИ с подавлением сигнала от свободной воды (нижний ряд). **а** – недостигающий тип; **б** – соответствующий тип; **в** – превышающий тип.

Fig. 3. Three types of criteria for matching tumor sizes on APT-WI (top row) and T2-weighted images, with suppression of the signal from free water (bottom row). **a** – non-reaching type; **б** – corresponding type; **в** – exceeding type.

Результаты исследования

Были проанализированы изображения 47 пациентов. Сравнивалось распределение типов АПП-ВИ между опухолями 2, 3 и 4-й степени злокачественности.

1-й критерий – интенсивность сигнала: глиомы grade 2 в 100% случаев имели низкий тип, grade 3 характеризовались достаточно равномерным распределением с незначительным преобладанием умеренного типа (44%) и grade 4 преимущественно были представлены высоким типом (84%);

2-й критерий – распределение сигнала в опухолях низкой степени злокачественности во всех случаях было однородным (100%). Опухоли grade 3 в основном (67%) имели неоднородный тип; grade 4 в 100% случаев характеризовались неоднородным типом;

3-й критерий – у глиом grade 2 зона измененного сигнала, зарегистрированная на АПП-ВИ,

была меньше, чем зона повышенного сигнала на T2-FLAIR, в 71% случаев. Распределение типов в группе глиом grade 3 было более равномерным с незначительным преобладанием соответствующего типа в 40% случаев. Среди опухолей grade 4 в половине случаев встречался соответствующий тип.

Кроме того, были проанализированы различия между опухолями 4-й степени злокачественности с наличием мутации изоцитратдегидрогеназы (IDHmut) и отсутствием (IDHwt). Распределение типов изображений по 1-му и 2-му критерию – интенсивности и однородности было одинаковым, в обеих группах значительно преобладали высокий и неоднородный типы соответственно.

Распределение типов по 3-му критерию было различным: соответствующий тип в группе с мутантными глиомами (IDHmut) встречался чаще, чем среди глиобластом (IDHwt), в 62 и 48% соот-

**Таблица 2.** Распределение типов АПП-ВИ в глиомах с разной степенью злокачественности и разным статусом по мутации изоцитратдегидрогеназы**Table 2.** Distribution of types of APT-weighted images in gliomas with different degrees of malignancy and different status by isocitrate dehydrogenase mutation

Тип изображения Type of image	Глиомы Gliomas grade 2 n = 7 (100%)	Глиомы Gliomas grade 3 n = 9 (100%)	Глиомы Gliomas grade 4 n = 31 (100%)	IDHmut grade 4 n = 8 (100%)	IDHwt grade 4 n=23 (100%)
Низкий / Low	7 (100%)	2 (22%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (5%)
Промежуточный / Intermediate	0 (0%)	4 (44%)	5 (16%)	0 (0%)	5 (22%)
Высокий / High	0 (0%)	3 (33%)	26 (84%)	8 (100%)	18 (78%)
Однородный / Homogeneous	7 (100%)	3 (33%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Неоднородный / Heterogeneous	0 (0%)	6 (67%)	31 (100%)	8 (100%)	100 (95%)
Недостигающий / Non-reaching	5 (71%)	3 (33%)	3 (10%)	1 (13%)	2 (9%)
Соответствующий / Corresponding	2 (29%)	3 (33%)	16 (51%)	5 (62%)	11 (48%)
Превышающий / Exceeding	0(0%)	3 (33%)	12 (39%)	2 (25%)	10 (43%)
Сумма баллов (медиана [25;75]) Score (median [25;75])	3 [3; 4]	5 [3; 7]	7 [7; 8]	7 [7; 7,75]	7 [7; 8]

ветственно. Преобладающий же тип чаще (в 43%) наблюдался у глиобластом, чем у астроцитом (25%).

Результаты анализа представлены в табл. 2.

По сумме баллов было выполнено сравнение между группами опухолей разных степеней злокачественности. Опухоли высокой степени злокачественности (high grade) имели бóльшие значения по сравнению с опухолями низкой степени злокачественности (low grade) – 7 [6,25; 7,75] и 3 [3; 4] соответственно ($p = 0,001$, критерий Манна–Уитни). Сумма баллов у глиом grade 4 (7 [7; 8]) была достоверно выше ($p = 0,006$, критерий Манна–Уитни) по сравнению с глиомами grade 3 (5 [3; 7]) и глиомами grade 2 (3 [3; 4]) ($p = 0,001$, критерий Манна–Уитни). Различий между глиомами grade 2 и 3 достоверно выявлено не было ($p = 0,113$, критерий Манна–Уитни).

Выявленные закономерности представлены в клинических наблюдениях.

Клиническое наблюдение 1

Женщина 55 лет, жалобы на периодические головные боли. В мае 2024 г. развился генерализованный судорожный приступ, обратилась к нейрохирургу.

10.08.2024 – МРТ головного мозга, включающая стандартный протокол, с контрастным усилением и изображения, взвешенные по АПП: в левой лобной доле выявлено объемное образование, более вероятно, глиома низкой степени злокачественности (рис. 4).

23.09.2024 – операция – микрохирургическое удаление опухоли: опухоль преимущественно мягкоэластичная, более плотная в центре, с умеренным количеством

новообразованных сосудов по периферии, преимущественно белесоватого цвета.

04.10.2024 – гистологическое исследование: атипия выражена слабо, пролиферации эндотелия нет, некрозы не выявляются, митозы единичные. Иммуногистохимическое исследование: обнаружены антитела к IDH1 (R 132H). Индекс пролиферации Ki-67 4%. Методом флуоресцентной гибридизации *in situ* выявлено наличие коделеции 1p/19q. Олигодендроглиома IDH-mutant с коделецией 1p/19q. ICD-O code 9450/3, WHO grade 2.

Клиническое наблюдение 2

Мужчина 39 лет. В анамнезе эпизод плохого самочувствия в ноябре 2023 г. – онемение пальцев левой руки. Консультирован нейрохирургом, рекомендована МРТ головного мозга.

09.12.2023 – МРТ головного мозга, включающая стандартный протокол, с контрастным усилением и изображения, взвешенные по АПП: в левых височной и островковой долях выявлено объемное образование, более вероятно, глиома высокой степени злокачественности (рис. 5).

18.01.2024 – операция – субтотальное удаление объемного образования. При операции выявлен опухолевый узел сероватого цвета, мягкой консистенции.

26.01.2024 – гистологическое исследование: атипия выражена умеренно, пролиферации эндотелия в единичных сосудах, некрозы не выявляются, митозы единичные. Иммуногистохимическое исследование: обнаружены антитела к IDH1 (R 132H). Индекс пролиферации Ki-67 до 12%. Астроцитомы IDH-mutant, ICD-O code 9445/3, WHO grade 4.

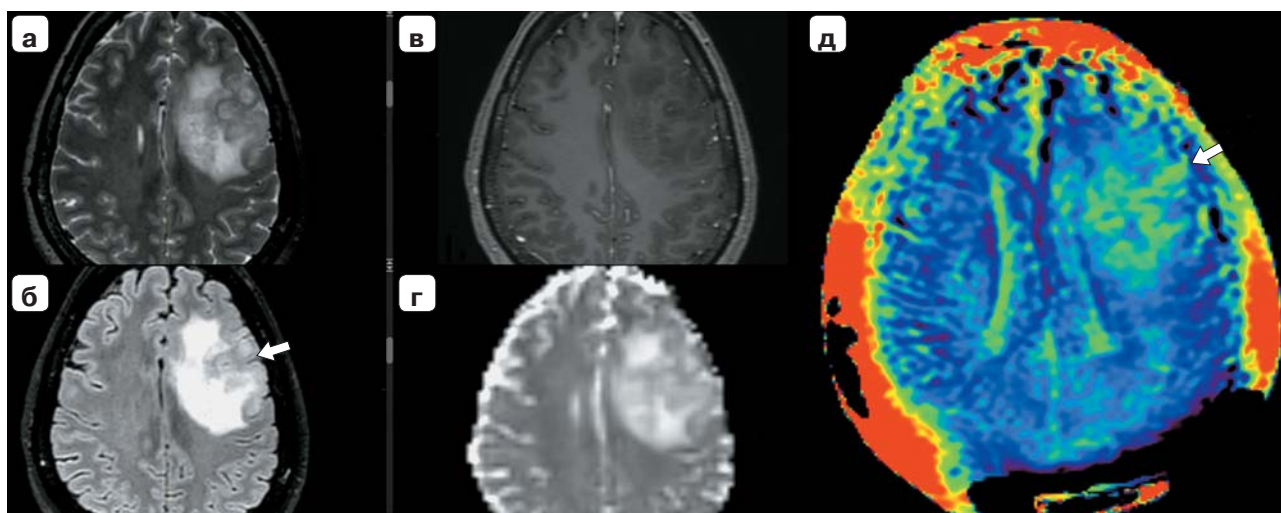
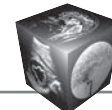


Рис. 4. МР-изображения головного мозга пациентки с олигодендроглиомой IDH-мутантной, grade 2. В левой лобной доле определяется достаточно крупное объемное образование (белая стрелка) неоднородного сигнала на T2ВИ (а) и T2-FLAIR (б), не накапливающее контрастный препарат (в), с неоднородным распределением измеряемого коэффициента диффузии (г). На АПП-ВИ изображениях (д) образование характеризуется слабым сигналом с неоднородным распределением, не достигающим по размерам зону повышенного на T2-FLAIR сигнала.

Fig. 4. MR images of the brain of a patient with IDH-mutant oligodendroglioma, grade 2. In the left frontal lobe, a rather large mass (white arrow) was detected, with an inhomogeneous signal on T2-WI (a) and T2-FLAIR (б), which did not accumulate contrast agent (в), with an inhomogeneous distribution of the measured diffusion coefficient (г). On APT-weighted images (д), the formation is characterized by a weak signal, with an inhomogeneous distribution that does not match the size of the zone of the increased T2-FLAIR signal.

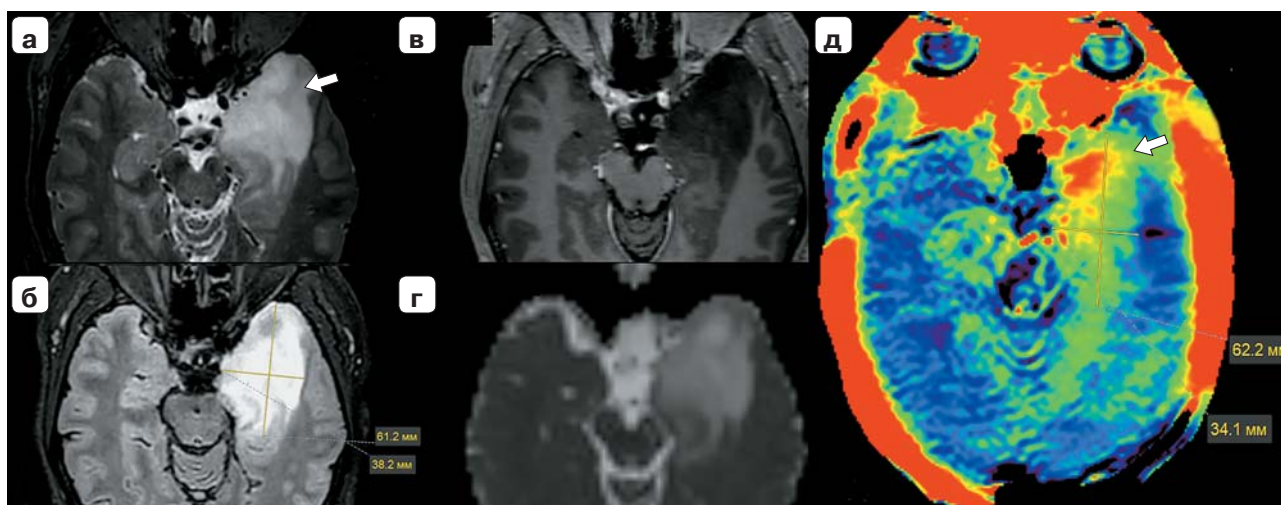


Рис. 5. МР-изображения головного мозга пациента с астроцитомой IDH-мутантной, grade 4. В левых височной и островковой долях визуализируется объемное образование (белая стрелка) умеренно неоднородного гиперинтенсивного сигнала на T2ВИ (а) и T2-FLAIR (б), не накапливающее контрастный препарат (в), с умеренно неоднородным распределением измеряемого коэффициента диффузии (г). На изображениях, взвешенных по АПП (д), образование характеризуется выраженным неоднородным типом повышения сигнальных характеристик, размеры зоны измененного сигнала на АПП-ВИ и T2-FLAIR соответствуют друг другу.

Fig. 5. MR images of the brain of a patient with IDH-mutant astrocytoma, grade 4. In the left temporal and insular lobes, a mass (white arrow) with a moderately heterogeneous hyperintensive signal on T2-WI (a) and T2-FLAIR (б) was visualized, which did not enhance after intravenous injection of a contrast agent (в), with a moderately heterogeneous distribution of the measured diffusion coefficient (г). In the images weighted by amide proton transfer (д), the formation is characterized by a pronounced, heterogeneous type of signal enhancement, the sizes of the altered signal zone on the APT-WI and T2-FLAIR correspond to each other.



Обсуждение

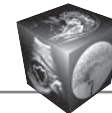
Возможности АПП, как нового направления МР-диагностики в нейрохирургии и неврологии, отражены рядом исследователей [5]. Общим наблюдением является то, что значения сигнала АПП-ВИ, или относительная концентрация свободных амидных групп, коррелируют с повышением степени злокачественности глиом [6]. Данная тенденция отмечалась и в нашей работе: при визуальном сравнении сигнальных характеристик в глиомах опухоли с высокой степенью злокачественности характеризовались более высокой контрастностью по сравнению с окружающим неизмененным веществом мозга. Причины повышения МР-сигнала на изображениях, взвешенных по АПП, с большой вероятностью могут быть объяснены в соответствии с процессами, происходящими в опухолевой ткани и являющимися гистологическими критериями злокачественности: клеточная атипия, митозы, эндотелиальная пролиферация и некрозы [7].

Клеточная атипия связана с изменением метаболизма, например, косвенно в результате мутации изоцитратдегидрогеназы, которая приводит к изменению работы цикла Кребса и повышенному синтезу Д-2-гидроксиглутарата и снижению синтеза глутамата [8]. В результате в структуре опухоли запускаются компенсаторные механизмы, приводящие к многочисленным биохимическим реакциям, а значит, и большему количеству участвующих в них свободных амидных групп, являющихся субстратом для повышения АПП-сигнала [9]. Так, глиомы низкой степени злокачественности, которые на клеточном уровне отличаются от нормальной ткани только атипией, по данным нашего исследования, на изображениях характеризовались слабым паттерном изменения сигнала – то есть незначительным отличием от неизменной ткани в 100% случаев.

Наличие митозов связано с увеличением количества клеток на единицу объема, а значит, и количества белка. Таким образом, опухоли с большей клеточной плотностью должны характеризоваться более высоким сигналом [10]. Наличие клеточной атипии и митозов в одной опухоли является критерием 3-й степени злокачественности. Закономерно предположить, что на изображениях, взвешенных по АПП, эффект от обоих процессов должен суммироваться и проявляться в более высоком уровне сигнала. В нашей работе это частично подтверждается – глиомы grade 3 в 44% случаев характеризовались умеренным типом сигнала, то есть более высоким, чем у grade 2. Клеточная плотность в опухолях глиального ряда доступна к оценке и другими методами, например диффузионно-

взвешенными изображениями [11], в нашем исследовании сравнение с этим методом не проводилось. Микроваскулярная пролиферация также вносит свой вклад в повышение интенсивности сигнала на АПП-ВИ, но, вероятно, за счет содержащейся в сосудах крови, которая всегда характеризуется высоким сигналом вне зависимости от природы патологии [12]. Некроз, то есть разрушение клеточных структур, связан с большим количеством освободившихся белковых молекул и, соответственно, повышением сигнала на АПП-ВИ, достигающим максимальных значений в макроскопических зонах распада опухоли, визуализируемых на МР-изображениях [13]. Таким образом, каждый отдельный гистологический критерий стадирования патофизиологически связан с повышением АПП-сигнала, а их сочетание, встречающееся у более злокачественных опухолей, очевидно, приводит к суммации эффекта. Вероятно, именно с этим связано то, что глиомы наиболее высокой степени злокачественности (grade 4), для которых гистологически характерны в разных сочетаниях внутриопухолевые некрозы, микроваскулярная пролиферация и высокая клеточность, в нашем исследовании характеризовались высоким типом интенсивности сигнала в большинстве случаев (84%).

Другой, использованный нами в работе МР-критерий – однородность распределения сигнала в опухоли, также можно рассматривать как патофизиологически обусловленный. Гистологически доказано, что при повышении степени злокачественности глиальных опухолей увеличивается количество участков опухоли с разным уровнем клеточной атипии и, соответственно, выраженностью изменения метаболизма [14]. В нашей работе опухоли с низкой (grade 2) и высокой (grade 4) степенью злокачественности отчетливо отличались друг от друга по критерию неоднородности ($p < 0,001$, критерий Манна–Уитни): первые в 100% случаев имели однородный тип сигнала, вторые, наоборот, неоднородный, также в 100%. Визуализация гетерогенности глиальных опухолей не является, впрочем, уникальной для изображений, взвешенных по АПП, и проявляется и на других типах изображений, например, в разнородности контрастного усиления разных компонентов опухоли, распределении МР-перфузионных и других визуализационных характеристик [15]. АПП-ВИ, в свою очередь, могут дополнить уже применяемые на практике МР-методики за счет возможности оценки уровня метаболизма, характеризующей внутриопухолевую гетерогенность без необходимости введения контрастного препарата и в случаях, когда его введение не дает дополнительной



информации [16]. Данное свойство было продемонстрировано в приведенных нами клинических примерах. В обоих наблюдениях изменения, выявленные посредством стандартного протокола, в большей степени соответствовали низкой степени злокачественности. Однако характеристики опухолей на АПП-ВИ, в том числе и неоднородность распределения сигнала, отличались кардинально, что позволило успешно дифференцировать высокозлокачественную астроцитому grade 4 от олигодендроглиомы grade 2.

Знание о метаболической неоднородности, косвенно свидетельствующее и о гистологической гетерогенности опухоли, может являться крайне полезным при планировании нейрохирургической операции, позволяя определить наиболее агрессивные участки опухоли с целью их первостепенного удаления, и/или при планировании биопсии для получения образца опухоли наиболее измененной ткани [17].

Еще одним важным наблюдением и 3-м критерием оценки МР-изображений в нашем исследовании стало соответствие зон измененного на АПП-ВИ сигнала областям повышенного сигнала на T2-FLAIR. Сравнимую протяженность зоны имели в большинстве случаев во всех исследованных группах опухолей, за исключением grade 2, где преобладал недостигающий тип. Стоит отметить также, что при сравнении между группами частота встречаемости преобладающего типа, то есть большей протяженности метаболических изменений, по сравнению с размерами опухоли на T2-FLAIR-изображениях была наибольшей у глиобластом – наиболее агрессивных опухолей. Оценка соответствия зон измененного на АПП-ВИ сигнала областям повышенного сигнала на T2-FLAIR пока еще имеет элемент субъективизма и носит лишь ориентировочный характер, тем не менее выявленная тенденция требует дальнейшего изучения и, по нашему мнению, может иметь перспективы в оценке истинной распространенности глиом, определении протяженности перитуморальной зоны, а также прогнозировании эффективности лечения. Сравнение протяженности изменений на АПП-ВИ и на стандартных изображениях требует дальнейшего изучения с применением оператор-независимых технологий.

Заключение

Применение методики визуальной оценки изображений, взвешенных по амидному протонному переносу, повышает эффективность дооперационной МР-диагностики при дифференциальном анализе глиальных опухолей.

Финансирование. Работа выполнена за счет гранта РФФИ № 23-75-10068.

Участие авторов

Клюев Е.А. – концепция и дизайн исследования; проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, сбор и обработка данных, написание текста.

Сухова М.Б. – концепция и дизайн исследования; анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Растеряева М.В. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Кухнина Л.С. – сбор и обработка данных.

Зинатуллин Р.Д. – сбор и обработка данных.

Гришин А.С. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, сбор и обработка данных, написание текста.

Остапюк М.В. – сбор и обработка данных.

Медяник И.А. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Яшин К.С. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Authors' participation

Klyuev E.A. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, collection and analysis of data, writing text.

Sukhova M.B. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, approval of the final version of the article, preparation and creation of the published work.

Rasteryaeva M.V. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

Kukhnina L.S. – collection and analysis of data.

Zinatullin R.D. – collection and analysis of data.

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

Ostapyuk M.V. – collection and analysis of data.

Medyanik I.A. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

Yashin K.S. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Louis D.N., Perry A., Wesseling P. et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Neuro-Oncology*. 2021; 23 (8): 1231–1251. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab106>
2. Whitfield B.T., Huse J.T. Classification of adult type diffuse gliomas: Impact of the World Health Organization 2021 update. *Brain Pathology*. 2022; 32 (4): e13062. <https://doi.org/10.1111/bpa.13062>
3. Chai R., Fang S., Pang B. et al. Molecular pathology and clinical implications of diffuse glioma. *Chinese Med. J. Internet*. 2023 cited 2025 Feb 9. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000002446>



4. Тюрина А.Н., Вихрова Н.Б., Баталов А.И., Калаева Д.Б., Шульц Е.И., Постнов А.А., Пронин И.Н. Радиологические биомаркеры глиом головного мозга. *Журнал "Вопросы нейрохирургии" имени Н.Н. Бурденко*. 2022; 86 (6): 121–126. <http://doi.org/10.17116/neiro202286061121> Tyurina A.N., Vikhrova N.B., Batalov A.I. et al. Radiological biomarkers of brain gliomas. *Burdenko's Journal of Neurosurgery = Zhurnal "Voprosy neurokhirurgii" imeni N.N. Burdenko*. 2022; 86 (6): 121–126. <http://doi.org/10.17116/neiro202286061121> (In Russian)
5. Zhou J., Zaiss M., Knutsson L. et al. Review and consensus recommendations on clinical APT-weighted imaging approaches at 3T: Application to brain tumors. *Magn. Reson. Med*. 2022; 88 (2): 546–574. <https://doi.org/10.1002/mrm.29241>
6. Suh C.H., Park J.E., Jung S.C. et al. Amide proton transfer-weighted MRI in distinguishing high- and low-grade gliomas: a systematic review and meta-analysis. *Neuroradiology*. 2019; 61 (5): 525–534. <https://doi.org/10.1007/s00234-018-02152-2>
7. Komori T. Grading of adult diffuse gliomas according to the 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System. *Laboratory Investigation*. 2022; 102 (2): 126–133. <https://doi.org/10.1038/s41374-021-00667-6>
8. Han S., Liu Y., Cai S.J. et al. IDH mutation in glioma: molecular mechanisms and potential therapeutic targets. *Br. J. Cancer*. 2020; 122 (11): 1580–1589. <https://doi.org/10.1038/s41416-020-0814-x>
9. Koike H., Morikawa M., Ishimaru H. et al. Amide Proton Transfer–Chemical Exchange Saturation Transfer Imaging of Intracranial Brain Tumors and Tumor-Like Lesions: Our Experience and a Review. *Diagnostics*. 2023; 13 (5): 914. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13050914>
10. Joo B., Han K., Ahn S.S. et al. Amide proton transfer imaging might predict survival and IDH mutation status in high-grade glioma. *Eur. Radiol*. 2019; 29 (12): 6643–6652. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06203-x>
11. Скворцова Т.Ю., Савинцева Ж.И., Захс Д.В., Гурчин А.Ф., Холявин А.И., Трофимова Т.Н. Сопоставление диффузионно-взвешенной МРТ и ПЭТ/КТ с [¹¹C]метионином у больных с глиальными опухолями головного мозга. *Лучевая диагностика и терапия*. 2019; 3: 42–52. <http://doi.org/10.22328/2079-53432019-10-3-42-52> Skvortsova T.Yu., Savintceva Zh.I., Zakhs D.V. et al. Direct comparison between diffusion-weighted MRI and PET/CT with [¹¹C] methionine in patients with cerebral gliomas. *Luchevaya Diagnostika i Terapiya*. 2019; 3: 42–52. <http://doi.org/10.22328/2079-53432019-10-3-42-52> (In Russian)
12. Kamimura K., Nakajo M., Yoneyama T. et al. Amide proton transfer imaging of tumors: theory, clinical applications, pitfalls, and future directions. *Jpn J. Radiol*. 2019; 37 (2): 109–116. <https://doi.org/10.1007/s11604-018-0787-3>
13. Su C., Liu C., Zhao L. et al. Amide Proton Transfer Imaging Allows Detection of Glioma Grades and Tumor Proliferation: Comparison with Ki-67 Expression and Proton MR Spectroscopy Imaging. *Am. J. Neuroradiol*. 2017; 38 (9): 1702–1709. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5301>
14. Becker A., Sells B., Haque S. et al. Tumor Heterogeneity in Glioblastomas: From Light Microscopy to Molecular Pathology. *Cancers*. 2021; 13 (4): 761. <https://doi.org/10.3390/cancers13040761>
15. Hu L.S., Hawkins-Daarud A., Wang L. et al. Imaging of intratumoral heterogeneity in high-grade glioma. *Cancer Letters*. 2020; 477: 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2020.02.025>
16. Togao O., Hiwataishi A., Yamashita K. et al. Grading diffuse gliomas without intense contrast enhancement by amide proton transfer MR imaging: comparisons with diffusion- and perfusion-weighted imaging. *Eur. Radiol*. 2017; 27 (2): 578–588. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4328-0>
17. Jiang S., Eberhart C.G., Zhang Y. et al. Amide proton transfer-weighted magnetic resonance image-guided stereotactic biopsy in patients with newly diagnosed gliomas. *Eur. J. Cancer*. 2017; 83: 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2017.06.009>

Для корреспонденции*: Ключев Евгений Александрович – e-mail: eugenekluev@yandex.ru

Ключев Евгений Александрович – врач-рентгенолог ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0003-2069-1710>

Сухова Марина Борисовна – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России; профессор кафедры ядерной и экспериментальной медицины Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-0504-1421>

Растеряева Марина Вячеславовна – канд. мед. наук, заведующая отделением рентгенологии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-8462-3824>

Кухнина Людмила Сергеевна – ординатор ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-4679-7196>

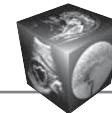
Зинатуллин Радик Дамирович – студент ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0009-0005-2393-8004>

Гришин Артем Сергеевич – канд. мед. наук, ассистент кафедры патологической анатомии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0001-7885-8662>

Остапюк Михаил Владимирович – врач-нейрохирург ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-0418-5597>

Медяник Игорь Александрович – доктор мед. наук, врач-нейрохирург ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-7519-0959>

Яшин Константин Сергеевич – канд. мед. наук, врач-нейрохирург ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-5723-7389>



Contact*: Evgenii A. Kliuev – e-mail: eugenekluev@yandex.ru

Evgenii A. Kliuev – radiologist, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0003-2069-1710>

Marina B. Sukhova – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiology, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department of Nuclear and Experimental Medicine at the Institute of Biology and Biomedicine, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-0504-1421>

Marina V. Rasteryaeva – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiology Department, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-8462-3824>

Liudmila S. Kukhnina – resident, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-4679-7196>

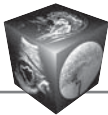
Radik D. Zinatullin – student, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0009-0005-2393-8004>

Artyom S. Grishin – Cand. of Sci. (Med.), Assistant Professor of the Department of Pathological Anatomy, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0001-7885-8662>

Mikhail V. Ostapiuk – neurosurgeon, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-0418-5597>

Igor A. Medyanik – Doct. of Sci. (Med.), neurosurgeon, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-7519-0959>

Konstantin S. Yashin – Cand. of Sci. (Med.), neurosurgeon, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-5723-7389>



Роль рентгенологической навигации при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце

© Хубулава Г.Г., Быстров Э.В., Титов Н.С., Буненков Н.С.,
Комок В.В. *, Немков А.С.

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

Введение. Рентгенологическая навигация в современной кардиохирургии – это революционная технология, которая позволяет значительно повысить точность и безопасность оперативных вмешательств на сердце. В настоящее время навигация под непосредственным рентгенологическим контролем при операциях по восстановлению хорд митрального клапана применяется лишь при имплантации хорд по методике ChordArt. Кроме данного способа имплантации митральных неохорд, рентгенологическая навигация применяется при таких способах коррекции митральной регургитации, как MitraClip и транскатетерное протезирование митрального клапана (TMVR).

Цель исследования: провести систематический анализ научных данных, касающихся применения рентгенологической навигации при вмешательствах на митральном клапане при значимой митральной регургитации; определить рентгенологические проекции, позволяющие наиболее точно визуализировать структуры сердца, необходимые для имплантации неохорд.

Материал и методы. Проведен анализ исследований, посвященных применению рентгенологической навигации при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце. Поиск был осуществлен в базах данных PubMed и Elibrary с 2009 по 2024 г. по следующим ключевым словам: “митральный клапан”, “митральная регургитация”, “рентгенологическая навигация”, “сердечно-сосудистая хирургия”, “трансапикальное восстановление хорды”, “транскатетерные вмешательства”, “коронарный синус”, “огигающая артерия”, “MitraClip”, “TMVR – Transcatheter Mitral Valve Repair” (транскатетерное восстановление митрального клапана) при помощи операторов И, ИЛИ.

Результаты. Проанализировано 257 статей, 65 из которых использованы для составления обзора. В ходе проведенного анализа было выявлено, что основным методом визуализации инструментов в полостях сердца при вмешательствах на митральном клапане является интраоперационная рентгеноскопия. Были определены наиболее приемлемые проекции для выполнения операции по трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце.

Заключение. Результаты проведенного анализа показали, что рентгенологическая навигация – неотъемлемый метод интраоперационной навигации, который должен применяться при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце.

Ключевые слова: митральный клапан; митральная регургитация; рентгенологическая навигация; сердечно-сосудистая хирургия; трансапикальное восстановление хорды; транскатетерные вмешательства; коронарный синус; огигающая артерия; MitraClip; TMVR

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

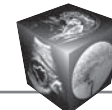
Для цитирования: Хубулава Г.Г., Быстров Э.В., Титов Н.С., Буненков Н.С., Комок В.В., Немков А.С. Роль рентгенологической навигации при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 48–57.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1546>

Поступила в редакцию: 10.03.2025.

Принята к печати: 17.06.2025.

Опубликована online: 13.10.2025.



The role of X-ray navigation in transapical implantation of mitral neochords for significant mitral regurgitation on the beating heart

© Gennady G. Khubulava, Eduard V. Bystrov, Nikita S. Titov,
Nikolai S. Bunenkov, Vladimir V. Komok*, Alexander S. Nemkov

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

Introduction. X-ray navigation in modern cardiac surgery is a revolutionary technology that allows to increase the accuracy and safety of cardiac surgeries significantly. Currently, navigation under direct X-ray control in surgeries to restore the mitral valve chords is used only when implanting chords using the ChordArt method. In addition, X-ray navigation and external implantation of the mitral neochord are used in such methods of mitral regurgitation correction as MitraClip and transcatheter mitral valve replacement (TMVR).

The objective. To systematically review the scientific evidence on the use of radiographic navigation in mitral valve interventions in case of significant mitral regurgitation. To identify radiographic projections that allow the most accurate visualization of cardiac structures required for neochords implantation.

Materials and methods. An analysis of studies devoted to the use of X-ray navigation in transapical implantation of mitral neochords for significant mitral regurgitation on the beating heart was performed. The search was performed in the PubMed and Elibrary databases from 2009 to 2024 using the following keywords: “mitral valve”, “mitral regurgitation”, “X-ray navigation”, “cardiovascular surgery”, “transapical chord repair”, “transcatheter interventions”, “coronary sinus”, “circumflex artery”, “MitraClip”, “TMVR – Transcatheter Mitral Valve Repair” using AND, OR operators.

Results. A total of 257 articles were analyzed, 65 of which were used to compile the review. The analysis revealed that the main method of visualizing instruments in the heart cavities during interventions on the mitral valve is intraoperative fluoroscopy. The most acceptable projections for performing surgery on transapical implantation of mitral neochords in case of significant mitral regurgitation on a beating heart were determined.

Conclusion. The results of the conducted analysis showed that X-ray navigation is an integral method of intraoperative navigation, which should be used during transapical implantation of mitral neochords in case of significant mitral regurgitation on a beating heart.

Keywords: mitral valve; mitral regurgitation; X-ray navigation; cardiovascular surgery; transapical implantation of neochords; transcatheter interventions; coronary sinus; circumflex artery; MitraClip; TMVR

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

For citation: Khubulava G.G., Bystrov E.V., Titov N.S., Bunenkov N.S., Komok V.V., Nemkov A.S. The role of X-ray navigation in transapical implantation of mitral neochords for significant mitral regurgitation on the beating heart. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 48–57. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1546>

Received: 10.03.2025.

Accepted for publication: 17.06.2025.

Published online: 13.10.2025.

Введение

Рентгенологическая навигация представляет собой инновационный метод визуализации в кардиохирургической практике, обеспечивающий точное определение локализации и управление инструментами в процессе оперативных вмешательств на сердце. Этот метод позволяет хирургам интегрировать рентгеновские изображения в реальном времени с другими технологиями визуализации, что способствует повышению безопасности и точности выполняемых операций.

Недостаточность митрального клапана – второй по частоте клапанный порок сердца (после аортального стеноза), который ассоциирован со

значительным ухудшением качества жизни пациентов и высокой смертностью, и если раньше в структуре причин изолированной митральной недостаточности на первом месте стояла хроническая ревматическая болезнь сердца, то сейчас доминируют синдромы, для которых характерна дисплазия митрального клапана [1].

Исходя из этого, необходим поиск новых методов коррекции гемодинамически значимой митральной регургитации, особенно у пациентов пожилого возраста с коморбидным фоном. Применение минимально инвазивных методов лечения митральной недостаточности позволяет снизить риск периоперационных осложнений, а также



уменьшить время нахождения пациента в стационаре и время его восстановления после операции. Одним из таких методов лечения является транспикальная имплантация неоход на работающем сердце, где в качестве одного из методов визуализации инструментов в полостях сердца выступает интраоперационная рентгеноскопия [2, 3].

Цель исследования: провести анализ публикаций, касающихся применения рентгенологической навигации при вмешательствах на митральном клапане при значимой митральной регургитации на работающем сердце, и определить рентгенологические проекции, в которых основные интересующие хирурга анатомические ориентиры будут находиться в наиболее удобном положении при имплантации митральных неоход.

Материал и методы

Произведен систематический запрос научных источников по базам данных PubMed и Elibrary с использованием таких ключевых терминов для поиска, как “рентгенологическая навигация”, “вентрикулография”, “сердце”, “интервенционная кардиология”, “сердечно-сосудистая хирургия”, “кардиохирургия”, “транскатетерное восстановление хорды”, “транспикальное восстановление хорды”, а также один из терминов “митральный клапан”, “митральная регургитация”, “коронарный синус”, “огибающая артерия”, “MitraClip”, “TMVR” при помощи операторов И, ИЛИ. Были установлены следующие фильтры: клинические исследования, обзоры литературы, метаанализы, систематические обзоры; года публикации – с 2009 по 2024 г.; язык публикаций – английский. Начальной точкой для включения научных данных в систематический обзор является 2009 г., так как публикации, датируемые годами ранее, не содержали в полном объеме информации, необходимой для включения в обзор.

При отборе научных данных в систематический обзор были включены следующие темы исследований:

- хирургическое лечение митральной регургитации по таким методикам транспикальной имплантации неоход, как NeoChord DS 1000, Harpoon TDS-5, MitralStich [4];
- применение других транскатетерных методик коррекции митральной регургитации, таких как MitraClip, TMVR, ChordArt, Valtech V-Chordal Transfemoral, Pipeline [4, 5];
- применение интраоперационной рентгеноскопии в качестве метода навигации при таких вмешательствах, как постановка электрода кардиостимулятора в коронарный синус, венозная

ангиография сердца, коронароангиография, в том числе с определением рентгенографических проекций для визуализации структур сердца;

- трансвенозная имплантация в коронарный синус левожелудочкового электрода при сердечной ресинхронизирующей терапии;
- визуализация коронарного синуса сердца и огибающей ветви левой коронарной артерии и использование их в качестве навигации при транскатетерных вмешательствах на митральном клапане.

Результаты исследования

После удаления дублирующих данных было найдено 127 публикаций, соответствующих ключевым поисковым запросам, из которых в общей сложности 65 публикаций удовлетворяли темам включения. Выбранные исследования разделены по следующим группам (рис. 1):

- рентгенологическая навигация при транспикальных вмешательствах на митральном клапане ($n = 16$);
- рентгенологическая навигация при транскатетерных вмешательствах на митральном клапане ($n = 27$);
- анатомическое взаимоотношение митрального клапана, коронарного синуса и огибающей артерии ($n = 5$);
- рентгенологические проекции, применяемые для визуализации огибающей артерии при коронарной ангиографии ($n = 4$);
- визуализация коронарного синуса при катетеризации и контрастировании венозного русла сердца ($n = 13$).

Обсуждение

В проанализированных публикациях при вмешательствах на митральном клапане при значимой митральной регургитации рентгенологическая навигация применяется с целью определения контроля манипуляций хирургическими инструментами и их расположения в камерах сердца. Рентгенологическая навигация, в отличие от 2D- и 3D-чреспищеводной эхокардиографии, позволяет с высокой точностью определить положение относительно левых камер сердца кончика иглы для пункции створок в случае транспикальной имплантации митральных неоход на работающем сердце [4–8].

Применение рентгенологической навигации при транскатетерных и транспикальных методах восстановления митральных хорд и реконструкции митрального клапана ограничено только лишь возможностями контроля навигации инструментов в полостях сердца [9].

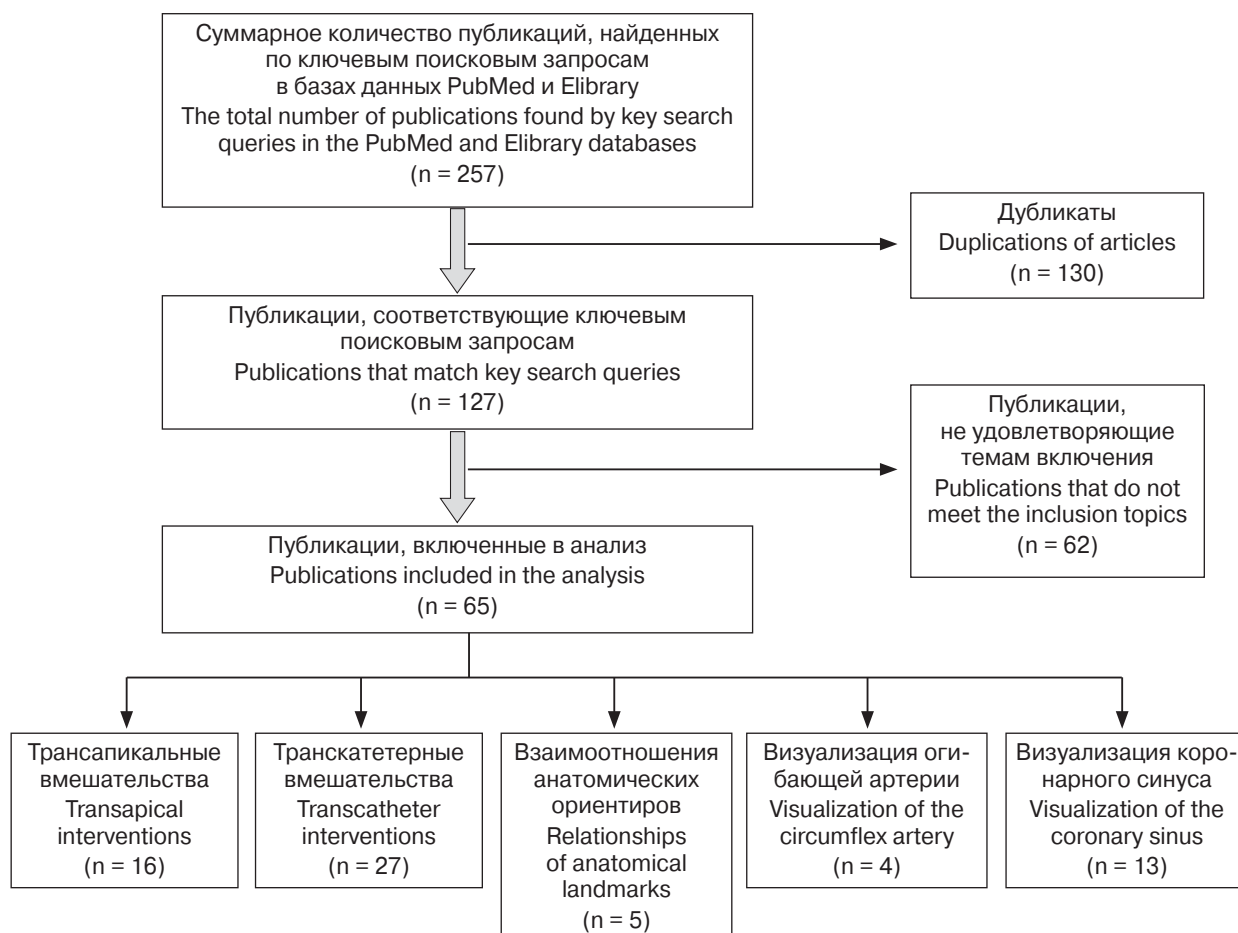
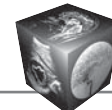


Рис. 1. Схема PRISMA – алгоритм поиска научных данных для систематического обзора.

Fig. 1. Chart PRISMA – a literature search algorithm for a systematic review.

Показатели, приведенные ниже, представляются наиболее значимыми при трансапикальной имплантации митральных неоордов на работающем сердце:

- 1) рентгенологические проекции для визуализации митрального клапана;
- 2) рентгенологические проекции для визуализации коронарного синуса;
- 3) рентгенологические проекции для визуализации ствола левой коронарной артерии и огибающей артерии.

Рентгенологические проекции для визуализации митрального клапана

Основными углами склонения С-дуги во фронтальной плоскости, применимыми для визуализации митрального клапана при его восстановлении, являются: правая косая проекция (RAO) 20–30° и левая косая проекция (LAO) 20–50°. При смещении краниально (CRA) на 10–20° при повороте ротационной ангиографической установки RAO 20–

30° створки митрального клапана определяются внутри сердечного силуэта в поперечном сечении. В этом виде диаметр митрального кольца максимальный, однако в данной проекции происходит перекрывание сегментов створок. Увеличивая наклон С-дуги в краниальную сторону, створки митрального клапана визуализируются без перекрывания друг друга (рис. 2). Таким образом, данная проекция удобна в тех случаях, когда есть необходимость провести хирургические инструменты через отверстие клапана в левое предсердие в случае трансапикального доступа к клапану или в левый желудочек через транссептальный доступ и установить их на уровне самого митрального клапана, что находит применение при транскатетерном протезировании митрального клапана или при проведении процедуры MitraClip для визуализации траектории зажима, которая должна быть перпендикулярна кольцевой плоскости.

Вышеуказанных недостатков лишена проекция LAO 20–50° с небольшим каудальным наклоном

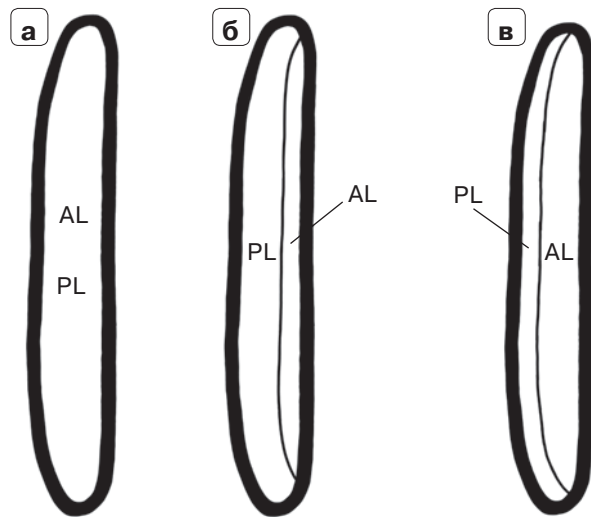
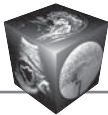


Рис. 2. Схема митрального клапана в проекции RAO 20–30°, CRA 10–20°. **а** – проекция RAO 20–30°, CRA 10°; **б** – проекция RAO 20–30°, CRA 15°; **в** – проекция RAO 20–30°, CRA 20°. AL – передняя створка митрального клапана; PL – задняя створка митрального клапана. Схема адаптирована и модифицирована из [10].

Fig. 2. Picture of the mitral valve in the RAO 20–30° CRA 10–20° projection. **а** – RAO 20–30° CRA 10° projection; **б** – RAO 20–30° CRA 15° projection; **в** – RAO 20–30° CRA 20° projection. AL – anterior leaflet of mitral valve; PL – posterior leaflet of mitral valve. The scheme is adapted and from [10].

(CAU) 20–30°. Эта рентгенологическая проекция располагается перпендикулярно митральному кольцу, таким образом показывая клапан в анфас со стороны левого желудочка (рис. 3). Граница митрального кольца полностью проецируется на рентгеновскую проекцию [10–15].

Следует отметить, что, несмотря на наилучшую визуализацию митрального клапана в данной проекции, она оптимальна для транскатетерных вмешательств, так как электронно-оптический преобразователь (ЭОП) С-дуги располагается над левой половиной грудной клетки и сердцем непосредственно. При вмешательствах с транспикальным доступом ЭОП ограничивает манипуляции в операционном поле.

Рентгенологические проекции для визуализации коронарного синуса

В исследовании о прогнозировании выбора углового наклона ангиографической установки для визуализации коронарного синуса при транскатетерной имплантации митрального клапана на основании предоперационной компьютерной томографии авторы пришли к следующим выводам:

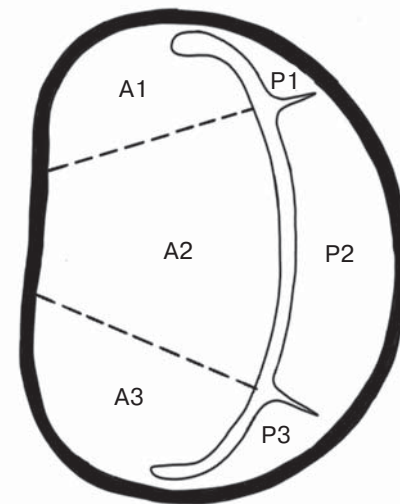
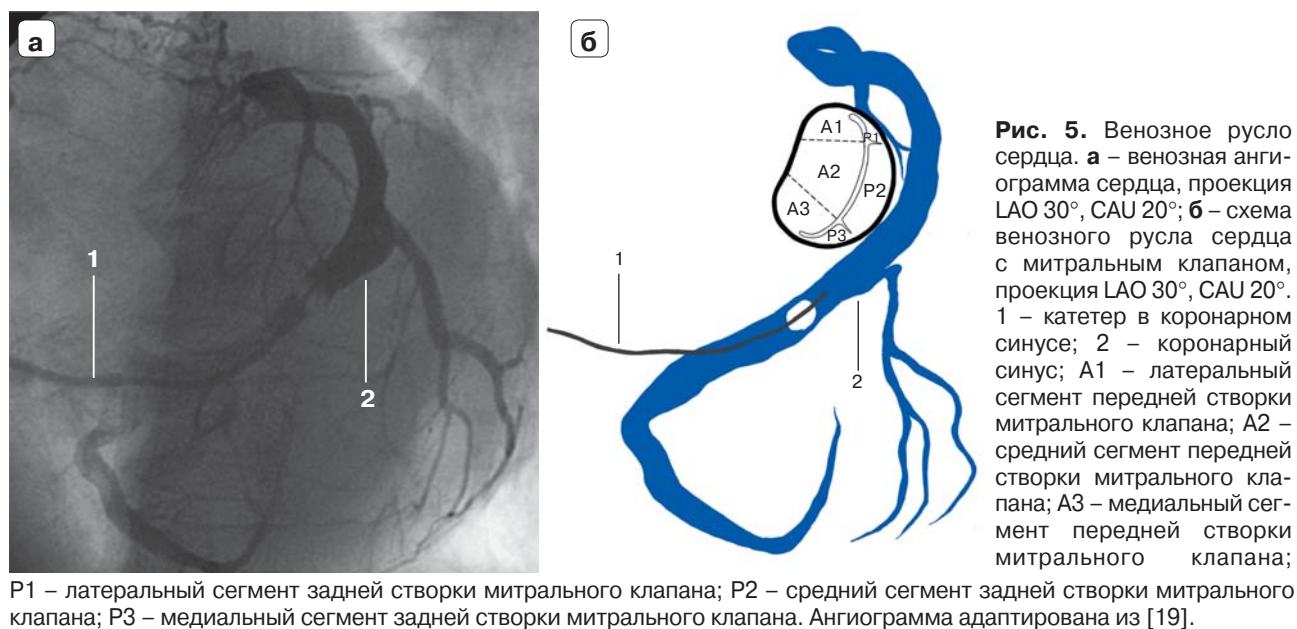
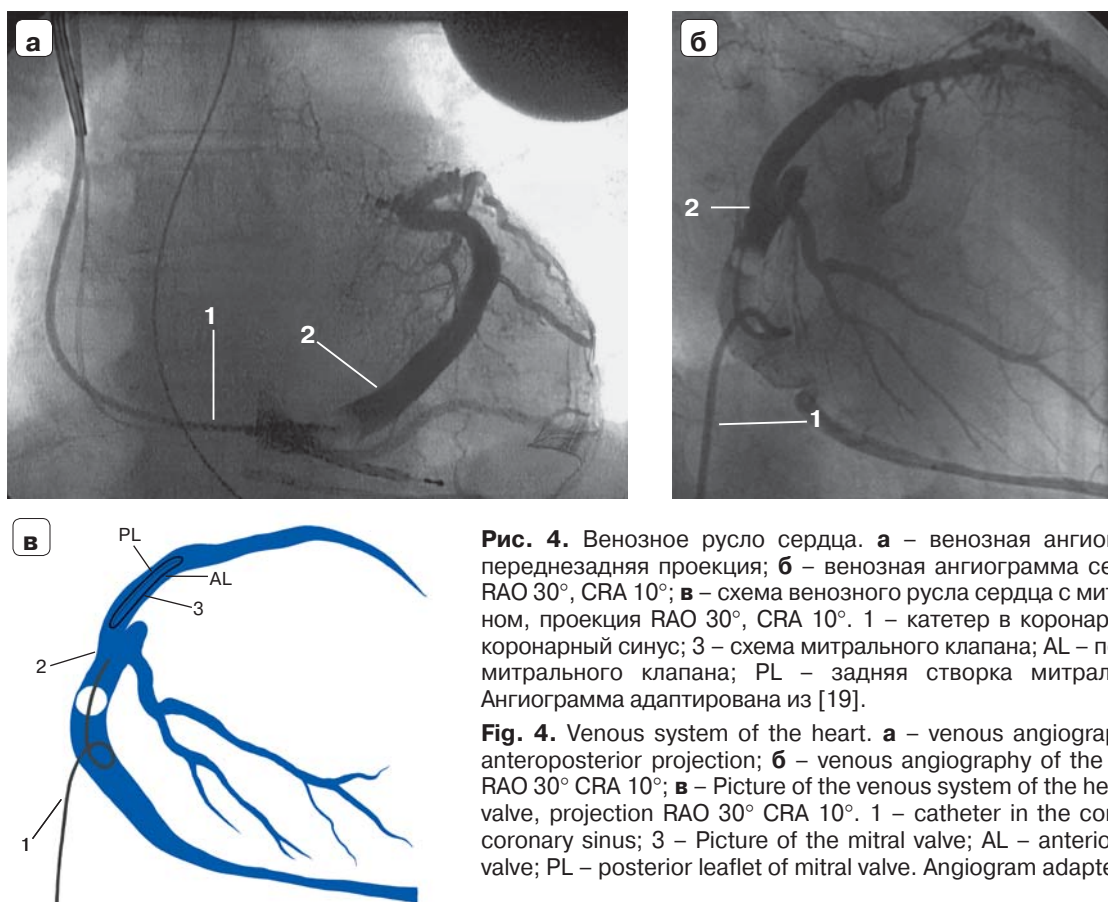
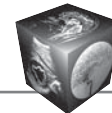


Рис. 3. Схема митрального клапана в проекции LAO 20–50°, CAU 20–30°. A1 – латеральный сегмент передней створки митрального клапана; A2 – средний сегмент передней створки митрального клапана; A3 – медиальный сегмент передней створки митрального клапана; P1 – латеральный сегмент задней створки митрального клапана; P2 – средний сегмент задней створки митрального клапана; P3 – медиальный сегмент задней створки митрального клапана. Схема адаптирована и модифицирована из [8].

Fig. 3. Picture of the mitral valve in the LAO 20–50° CAU 20–30° projection. A1 – the lateral segment of anterior mitral leaflet; A2 – the middle segment of anterior mitral leaflet; A3 – the medial segment of anterior mitral leaflet; P1 – the lateral segment of posterior mitral leaflet; P2 – the middle segment of posterior mitral leaflet; P3 – the medial segment of posterior mitral leaflet. The scheme is adapted from [8].

учитывая асимметричное строение створок митрального клапана, ориентацию кольца клапана в передневерхнем направлении с выраженным наклоном вправо и анатомическую близость коронарного синуса, последний может являться дополнительным рентгенологическим ориентиром при визуализации митрального клапана посредством введения рентгеноконтрастного проводника или катетера в коронарный синус [16]. У всех пациентов в исследовании коронарный синус пересекал стенку левого предсердия со средним расстоянием $13,2 \pm 3,7$ мм по направлению к плоскости кольца митрального клапана на уровне середины P2-сегмента задней створки митрального клапана. Затем коронарный синус приближался к плоскости кольца со средним расстоянием $3,7 \pm 3,0$ мм в P3-сегменте. Имея представление о том, насколько близко (или далеко) находится коронарный синус от истинной кольцевой плоскости мит-



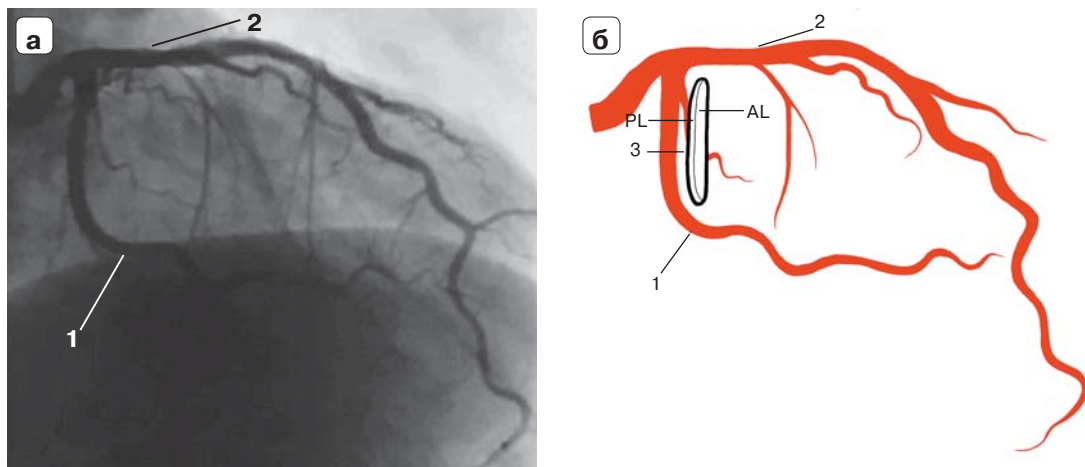
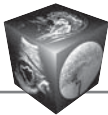


Рис. 6. Рентгенологическая проекция RAO 25°, CRA 20°. **а** – коронароангиограмма сердца; **б** – схема левой коронарной артерии сердца с митральным клапаном. 1 – огибающая артерия сердца; 2 – передняя межжелудочковая артерия сердца; 3 – схема митрального клапана; AL – передняя створка митрального клапана; PL – задняя створка митрального клапана. Коронарограмма адаптирована из [24].

Fig. 6. X-ray projection of RAO 25°, CRA 20°. **а** – coronary angiography of the heart; **б** – Picture of the left coronary artery of the heart with the mitral valve. 1 – circumflex artery of the heart; 2 – anterior interventricular artery of the heart; 3 – Picture of the mitral valve; AL – anterior leaflet of mitral valve; PL – posterior leaflet of mitral valve. Coronary angiogram adapted from [24].

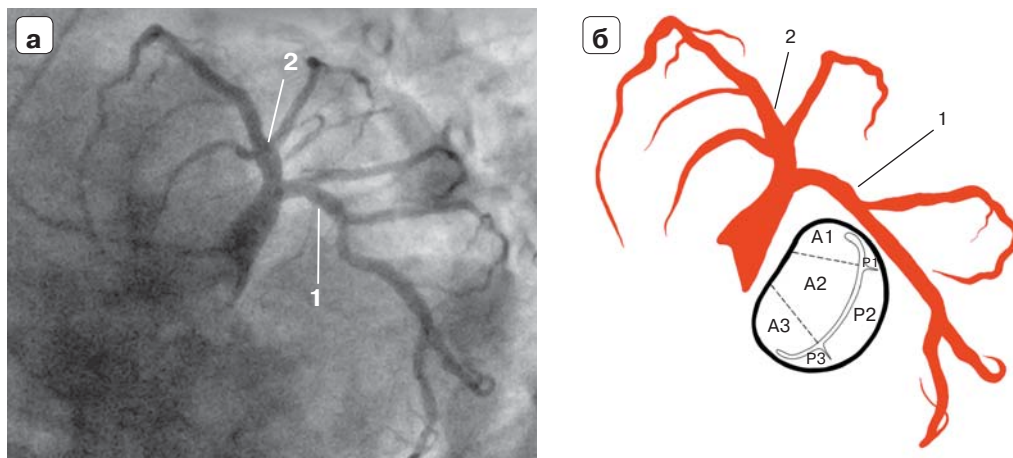
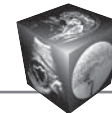


Рис. 7. Рентгенологическая проекция LAO 50°, CAU 30°. **а** – коронароангиограмма сердца; **б** – схема левой коронарной артерии сердца с митральным клапаном. 1 – огибающая артерия сердца; 2 – передняя межжелудочковая артерия сердца; A1 – латеральный сегмент передней створки митрального клапана; A2 – средний сегмент передней створки митрального клапана; A3 – медиальный сегмент передней створки митрального клапана; P1 – латеральный сегмент задней створки митрального клапана; P2 – средний сегмент задней створки митрального клапана; P3 – медиальный сегмент задней створки митрального клапана. Коронарограмма адаптирована из [26].

Fig. 7. X-ray projection of LAO 50° CAU 30°. **а** – coronary angiography of the heart; **б** – Picture of the left coronary artery of the heart with the mitral valve. 1 – circumflex artery of the heart; 2 – anterior interventricular artery of the heart; A1 – the lateral segment of anterior mitral leaflet; A2 – the middle segment of anterior mitral leaflet; A3 – the medial segment of anterior mitral leaflet; P1 – the lateral segment of posterior mitral leaflet; P2 – the middle segment of posterior mitral leaflet; P3 – the medial segment of posterior mitral leaflet. Coronary angiogram adapted from [26].



рального клапана, можно получить дополнительную информацию при развертывании имплантируемого устройства [16–18]. Были определены 3 проекции, наиболее часто используемые при визуализации коронарного синуса при вмешательствах на митральном клапане: так называемая ТТ-проекция (trigone-to-trigone) – проекция по линии, соединяющей левый и правый фиброзные треугольники, SL-проекция (septal-to-lateral-distance) – проекция по линии, перпендикулярной ТТ-линии, проходящей через А2- и Р2-сегменты створок, и проекция, подобная виду митрального клапана en face. Проекция SL и ТТ были обнаружены в среднем при $29,4 \pm 9,0^\circ$ RAO, $20,1 \pm 8,7^\circ$ CRA и $81,6 \pm 18,9^\circ$ RAO, $56,7 \pm 8,0^\circ$ CAU соответственно (рис. 4). Проекция анфас для митрального клапана и коронарного синуса была обнаружена в среднем при $52,4 \pm 9,3^\circ$ LAO, $23,2 \pm 9,6^\circ$ CAU (рис. 5). Последняя проекция представляется наиболее значимой, поскольку коронарный синус огибает митральный клапан по кривой, аналогичной ходу самого кольца клапана [19, 20].

Рентгенологические проекции для визуализации ствола левой коронарной артерии и огибающей артерии

Наиболее часто применяемыми проекциями для оптимальной визуализации основных ветвей левой коронарной артерии являются: для ствола левой коронарной артерии – переднезадняя (RAO $10-15^\circ$ или LAO $10-20^\circ$, CRA $20-30^\circ$), LAO $30-50^\circ$, CRA $0-20^\circ$, LAO $40-50^\circ$, CAU $25-30^\circ$ (проекция-паук, “spider view”), для средней трети огибающей артерии – переднезадняя (RAO $10-15^\circ$, CAU $20-30^\circ$), LAO $15-20^\circ$, CAU $20-30^\circ$, LAO $40-50^\circ$, CAU $25-30^\circ$ (проекция-паук, “spider view”), RAO $20-25^\circ$, CAU $0-25^\circ$ [21–25] (рис. 6).

Наиболее удобной для ориентации в левых камерах сердца при транскатетерных или транспикальных вмешательствах на митральном клапане является левая косая проекция $40-50^\circ$ с каудальной ангиуляцией $25-30^\circ$, поскольку именно в этой проекции огибающая артерия на экране ангиографической установки проходит по кривой, огибающей снизу кольцо митрального клапана [25] (рис. 7).

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного систематического обзора были определены основные рентгенографические проекции, используемые при оперативных вмешательствах на митральном клапане. Наилучшими проекциями являются LAO $20-50^\circ$, CAU $20-30^\circ$, в которой митральный клапан

визуализируется в анфас со стороны левого желудочка, и RAO $20-30^\circ$, CRA $10-20^\circ$, в которой определяется вид митрального клапана сбоку в наибольшем диаметре.

Визуализация хирургических инструментов должна осуществляться посредством рентгенологической навигации во время оперативного вмешательства ввиду хорошего определения в камерах сердца необходимых инструментов. Для точного проведения этапов операции и получения устойчивой эффективности от вмешательства необходимо использовать определенные здесь наилучшие рентгенографические проекции, которые позволяют более точно и безопасно манипулировать инструментами на митральном клапане.

Трансапикальная имплантация митральных неоордов с использованием рентгенологической навигации является современным и эффективным методом лечения митральной недостаточности. Применение этой технологии позволяет значительно сократить травматичность операций, повысить их точность и уменьшить риск осложнений. Для проведения этой процедуры необходима гибридная ультразвуковая и рентгенологическая внутрисердечная навигация инструментов, при которой мягкие ткани клапанного аппарата визуализируются на рентгенологическом силуэте сердца.

Участие авторов

Хубулава Г.Г. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Быстров Э.В. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста.

Титов Н.С. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных.

Буненков Н.С. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне.

Комок В.В. – проведение исследования, подготовка и редактирование текста.

Немков А.С. – анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Khbulava G.G. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

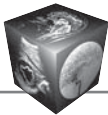
Bystrov E.V. – review of publications, writing text.

Titov N.S. – collection and analysis of data, statistical analysis.

Bunenkov N.S. – concept and design of the study, participation in scientific design.

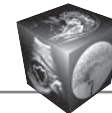
Komok V.V. – conducting research, text preparation and editing.

Nemkov A.S. – analysis and interpretation of the obtained data, preparation and creation of the published work.



Список литературы [References]

- Domenech B., Pomar J. L., Prat-González S. et al. Valvular Heart Disease Epidemics. *J. Heart Valve Dis.* 2016; 25 (1): 1–7. <https://doi.org/10.3390/medsci10020032>
- Sengupta A., Alexis S.L., Zaid S. et al. Imaging the mitral valve: a primer for the interventional surgeon. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2021; 10 (1): 28–42. <http://doi.org/10.21037/acs-2020-mv-16>
- Gheorghe L.L., Mobasser S., Agricola E. et al. Imaging for Native Mitral Valve Surgical and Transcatheter Interventions. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2021; 14 (1): 112–127. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.11.021>
- Zhang T., Dou Y., Luo R. et al. A review of the development of interventional devices for mitral valve repair with the implantation of artificial chords. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2023; 1–17. <http://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1173413>
- Tabata N., Sugiura A., Tsujita K. et al. Percutaneous interventions for mitral and tricuspid heart valve diseases. *Cardiovasc. Interv. Ther.* 2020; 35 (1): 62–71. <https://doi.org/10.1007/s12928-019-00610-z>
- Colli A., Zucchetta F., Torregrossa G. et al. Transapical off-pump mitral valve repair with NeoChord Implantation (TOP-MINI): step-by-step guide. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2015; 4 (3): 295–297. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2015.05.01>
- Colli A., Adams D., Fiocco A. et al. ransapical NeoChord mitral valve repair. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2018; 7 (6): 812–820. <http://doi.org/10.21037/acs.2018.11.04>
- Wunderlich N.C., Beigel R., Ho S.Y. et al. Imaging for Mitral Interventions: Methods and Efficacy. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (6): 872–901. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.02.024>
- Fiocco A., Nadali M., Speziali G. et al. Transcatheter Mitral Valve Chordal Repair: Current Indications and Future Perspectives. *Front. Cardiovasc. Med.* 2019; 6: 1–10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2019.00128>
- Faletra F.F., Pozzoli A., Agricola E. et al. Echocardiographic-fluoroscopic fusion imaging for transcatheter mitral valve repair guidance. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (7): 715–726. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu067>
- Spaziano M., Thériault-Lauzier P., Meti N. et al. Optimal fluoroscopic viewing angles of left-sided heart structures in patients with aortic stenosis and mitral regurgitation based on multislice computed tomography. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2016; 10 (2): 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.12.007>
- Blanke P., Naoum C., Webb J. et al. Multimodality Imaging in the Context of Transcatheter Mitral Valve Replacement: Establishing Consensus Among Modalities and Disciplines. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2015; 8 (10): 1191–1208. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.08.004>
- Biaggi P., Fernandez-Golfín C., Hahn R. et al. Hybrid Imaging During Transcatheter Structural Heart Interventions. *Curr. Cardiovasc. Imaging Rep.* 2015; 8 (33): 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12410-015-9349-6>
- Faletra F.F., Pedrazzini G., Pasotti E. et al. Side-by-side comparison of fluoroscopy, 2D and 3D TEE during percutaneous edge-to-edge mitral valve repair. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2012; 5 (6): 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.02.014>
- Thériault-Lauzier P., Andalib A., Martucci G. et al. Fluoroscopic anatomy of left-sided heart structures for transcatheter interventions: insight from multislice computed tomography. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2014; 7 (9): 947–957. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.06.002>
- Blanke P., Dvir D., Naoum C. et al. Prediction of fluoroscopic angulation and coronary sinus location by CT in the context of transcatheter mitral valve implantation. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2015; 9 (3): 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.02.007>
- del Valle-Fernández R., Jelnin V., Panagopoulos G. et al. Insight into the dynamics of the coronary sinus/great cardiac vein and the mitral annulus: implications for percutaneous mitral annuloplasty techniques. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2009; 2 (6): 557–564. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.109.873281>
- Rottländer D., Saal M., Ögütçü A. et al. Anatomy and Topography of Coronary Sinus and Mitral Valve Annulus in Functional Mitral Regurgitation. *Front. Cardiovasc. Med.* 2022; 22 (9): 1–10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.868562>
- Gutleben K.J., Nölker G., Ritscher G. et al. hree-dimensional coronary sinus reconstruction-guided left ventricular lead implantation based on intraprocedural rotational angiography: a novel imaging modality in cardiac resynchronization device implantation. *Europace.* 2011; 13 (5): 675–682. <https://doi.org/10.1093/europace/eur004>
- Duckett S.G., Ginks M.R., Knowles B.R. et al. Advanced image fusion to overlay coronary sinus anatomy with real-time fluoroscopy to facilitate left ventricular lead implantation in CRT. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2011; 34 (2): 226–234. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02940.x>
- Empen K., Kuon E., Hummel A. et al. Comparison of rotational with conventional coronary angiography. *Am. Heart J.* 2010; 160 (3): 552–563. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2010.06.011>
- Kočka V., Thériault-Lauzier P., Xiong T.Y. et al. Optimal Fluoroscopic Projections of Coronary Ostia and Bifurcations Defined by Computed Tomographic Coronary Angiography. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2020; 13 (21): 2560–2570. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.06.042>
- Garcia J.A., Movassaghi B., Casserly I.P. et al. Determination of optimal viewing regions for X-ray coronary angiography based on a quantitative analysis of 3D reconstructed models. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2009; 25 (5): 455–462. <https://doi.org/10.1007/s10554-008-9402-5>
- Рентгенэндоваскулярная хирургия: Национальное руководство: в 4 томах. Т. 2: Ишемическая болезнь сердца / Под ред. Б.Г. Alekya. М.: Литтерра, 2017. 792 с. Endovascular surgery: National guideline: Four-Volume Edition. Vol. 2: Ischemic heart disease / Ed. B.G. Alekya. M.: Littera, 2017. 792 p. (In Russian)
- Torres C.S., Sanders J.V.S., Martins de Brito H. et al. Anatomical relationship between mitral valve annulus and circumflex artery and its surgical implications. *Morphologie.* 2020; 104 (346): 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2020.03.003>
- Меркулов Е.В., Миронов В.М., Самко А.Н. Коронарная ангиография, вентрикулография, шунтография. В иллюстрациях и схемах. М.: Медиа-Медика, 2011. 100 с. Mergulov E.V., Mironov V.M., Samko A.N. Coronary angiography, ventriculography, shuntography. In illustrations and schemes. M.: Media-Medica, 2011. 100 p. (In Russian)



Для корреспонденции*: Комок Владимир Владимирович – e-mail: vladimir_komok@mail.ru

Хубулава Геннадий Григорьевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии, руководитель научно-клинического центра сердечно-сосудистой хирургии НИИ хирургии и неотложной медицины ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-9242-9941>

Быстров Эдуард Вячеславович – студент VI курса лечебного факультета ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-4425-1186>

Титов Никита Сергеевич – клинический ординатор кафедры факультетской хирургии ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-6302-0776>

Буненков Николай Сергеевич – канд. мед. наук, хирург ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4331-028X>

Комок Владимир Владимирович – канд. мед. наук, врач сердечно-сосудистый хирург НИИ хирургии и неотложной медицины ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-3834-7566>

Немков Александр Сергеевич – доктор мед. наук, профессор кафедры факультетской хирургии, врач сердечно-сосудистый хирург НИИ хирургии и неотложной медицины ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-5152-0001>

Contact*: Vladimir V. Komok – e-mail: vladimir_komok@mail.ru

Gennady G. Khubulava – Russian Academy of Sciences (RAS) Full Member, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Faculty Surgery, Head of the Scientific and Clinical Center for Cardiovascular Surgery at the Research Institute of Surgery and Emergency Medicine, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-9242-9941>

Eduard V. Bystrov – 6th-year student of the Faculty of Medicine, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-4425-1186>

Nikita S. Titov – clinical resident of the Department of Faculty Surgery, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-6302-0776>

Nikolai S. Bunenkov – Cand. of Sci. (Med.), surgeon, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4331-028X>

Vladimir V. Komok – Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular surgeon at the Research Institute of Surgery and Emergency Medicine, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-3834-7566>

Alexander S. Nemkov – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Faculty Surgery, cardiovascular surgeon, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-5152-0001>



Отдаленные результаты коррекции тяжелого аортального стеноза с использованием кардиохирургических и эндоваскулярных методов по данным контроля лучевыми методами

© Тарасевич С.В.^{1*}, Жерко О.М.², Крачак Д.И.³, Галицкая С.С.¹

¹ Государственное учреждение “Республиканский клинический медицинский центр” Управления делами Президента Республики Беларусь; 223052 Минская обл., Минский р-н, Ждановичский с/с, 81/5, Республика Беларусь

² Учреждение образования “Белорусский государственный медицинский университет”; 220083 Минск, пр. Дзержинского, д. 83, Республика Беларусь

³ Государственное учреждение “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии”; 220087 Минск, ул. Семашко, д. 8, Республика Беларусь

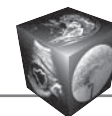
Биопротезы аортального клапана (АоК) можно разделить на каркасные и бескаркасные, а также имплантируемые хирургическим и эндоваскулярным методами. Изучение гемодинамических критериев функционирования вшиваемых, бесшовных и транскатетерных биологических протезов, в том числе динамики обратного структурно-функционального ремоделирования сердца в отдаленном периоде, необходимо для выбора наиболее правильной и эффективной тактики лечения.

Цель исследования: оценить объективными лучевыми методами исследования гемодинамические параметры и динамику обратного структурно-функционального ремоделирования сердца в отдаленном периоде после коррекции дегенеративного порока Аок с использованием кардиохирургических и эндоваскулярных методов.

Материал и методы. Проведено сравнительное нерандомизированное продольное исследование, включившее 89 человек с тяжелым аортальным стенозом (АС), которым выполнена изолированная хирургическая или эндоваскулярная замена клапана. Пациенты были разделены на 3 группы: группа с протезированием Аок методом имплантации бесшовного биологического протеза ($n = 23$); группа с использованием вшиваемого биологического протеза ($n = 45$); группа с транскатетерной техникой имплантации аортального клапана (ТИАК) ($n = 21$). Медиана возраста пациентов с использованием вшиваемого биологического протеза составила 71,0 [66,7; 74,0] год, с имплантацией бесшовного биологического протеза – 73,0 [69,0; 76,8] года ($p = 0,055$), с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза – 75,0 [69,0; 79,0] лет ($p = 0,013$). Лиц женского пола было 20 (44,4%), 16 (69,6%), 11 (52,4%) ($p = 0,050$) соответственно. В динамике объективного контроля состояния и осуществления цели исследования всем пациентам проводили эхокардиографию (ЭхоКГ) по общепринятой методике.

Результаты. В трех группах проводилось сравнение структурно-функциональных параметров до и после вмешательства, а межгрупповое сравнение выполнялось между двумя группами (хирургическая коррекция с использованием шовных и бесшовных биопротезов), так как исходные характеристики группы с эндоваскулярным лечением, в частности возраст отличались от остальных групп. После коррекции АС с использованием как кардиохирургических, так и транскатетерных методов в отдаленном периоде наблюдается обратное структурно-функциональное ремоделирование сердца. У пациентов с использованием вшиваемых биологических протезов масса миокарда ЛЖ снизилась на $-22,0$ [$-28,0$; $-17,0$]% ($p = 0,0002$), бесшовных биологических протезов – на $-20,0$ [$-27,0$; $-13,0$]% ($p = 0,01$), с ТИАК – на $-16,0$ [$-22,0$; $-10,0$]% ($p = 0,0001$); концентричность гипертрофии ЛЖ уменьшилась на $-21,0$ [$-29,0$; $-14,0$]% ($p < 0,0001$), $-24,0$ [$-31,0$; $-15,0$]% ($p = 0,0002$), $-24,2$ [$-35,6$; $-1,1$]% ($p = 0,002$) соответственно.

В группах с применением кардиохирургических методов доказано улучшение продольной систолической функции: абсолютные величины глобальной систолической продольной деформации ЛЖ, оцененной методом speckle-tracking (“отслеживания крапинок”, “спекл-слежения”), у пациентов с вшиваемыми биологическими протезами увеличились на $19,3$ [$7,5$; $54,0$]% ($p = 0,032$), с бесшовными биологическими протезами – на $18,4$ [$3,3$; $42,8$]% ($p = 0,027$), показатель $S'_{\text{лат мк}}$ тканевой доплерографии вырос на $36,7$ [$22,1$; $51,3$]% ($p < 0,0001$) и $42,8$ [$17,5$; $57,1$]% ($p = 0,0005$) соответственно. У лиц с ТИАК значения $S'_{\text{лат мк}}$ увеличилось на $25,0$ [$14,3$; $55,3$]% ($p = 0,005$).



Восстановление систолической функции ЛЖ в отдаленном периоде, установленное на основании результатов выполнения 2D-speckle-tracking-ЭхоКГ, было диагностировано у 12 (60,0%) пациентов с шовными и бесшовными биологическими протезами.

Заключение. Коррекция тяжелого АС с использованием кардиохирургических и эндоваскулярных методов ассоциирована в отдаленном периоде с благоприятными показателями внутрисердечной гемодинамики и обратным структурно-функциональным ремоделированием ЛЖ.

Ключевые слова: вшиваемые биологические протезы; обратное структурно-функциональное ремоделирование; бесшовные биологические протезы; транскатетерная имплантация аортального клапана

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Тарасевич С.В., Жерко О.М., Крачак Д.И., Галицкая С.С. Отдаленные результаты коррекции тяжелого аортального стеноза с использованием кардиохирургических и эндоваскулярных методов по данным контроля лучевыми методами. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 58–72.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1556>

Поступила в редакцию: 24.04.2025. **Принята к печати:** 05.06.2025. **Опубликована online:** 14.10.2025.

Long-term results of correction of severe aortic stenosis using cardiac surgical and endovascular methods, as from radiologic control data

© Svetlana V. Tarasevich^{1*}, Olga M. Zherko², Dmitry I. Krachak³, Svetlana S. Galitskaya¹

¹ Republican Clinical Medical Center of the Administration of the President of the Republic of Belarus; 81/5, Zhdanovichy rural council, Minsk district 223028, Republic of Belarus

² Belarusian State Medical University; 83, Dzerzhinsky ave., Minsk 220083, Republic of Belarus

³ Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology; 8, Semashko str., Minsk 220087, Republic of Belarus

Summary. Aortic valve (AV) bioprotheses can be divided into framed and frameless, as well as those implanted using surgical and endovascular methods. The study of hemodynamic criteria for the functioning of sutured, seamless and transcatheter biological prostheses, including the dynamics of reverse structural and functional remodeling of the heart in the long term, is necessary to select the most correct and effective treatment tactics.

The aim of the study: to evaluate, using objective radiation methods of research, hemodynamic parameters and the dynamics of reverse structural and functional remodeling of the heart in the late period after correction of degenerative aortic valve defect using cardiac surgery and endovascular methods.

Materials and methods. A comparative, non-randomized, longitudinal study was conducted, including 89 people with severe aortic stenosis, who underwent isolated surgical or endovascular valve replacement. The patients were divided into three groups: a group with AV prosthetics using the method of implantation of a seamless biological prosthesis (n = 23); a group using a sewn-in biological prosthesis (n = 45); a group with a transcatheter aortic valve implantation technique (TAVI) (n = 21). The median age of patients using a sutured biological prosthesis was 71.0 [66.7; 74.0] years, the age of patients with implantation of a seamless biological prosthesis was 73.0 [69.0; 76.8] years (p = 0.055); in the group with a transcatheter technique for implantation of a biological prosthesis, the median age was 75.0 [69.0; 79.0] years (p = 0.013). The female gender was 20 (44.4%), 16 (69.6%), 11 (52.4%) (p = 0.050), respectively. In the dynamics of objective monitoring of the condition and implementation of the study goal, all patients underwent echocardiography (ECHO) according to the generally accepted method.

Results. In three groups, a comparison of structural and functional parameters “before” and “after” the intervention was carried out, and an intergroup comparison was performed between two groups (surgical correction using suture and sutureless bioprotheses), since the initial characteristics of the group with endovascular treatment, in particular, age, differed from the other groups. After correction of aortic stenosis using both cardiac surgery and transcatheter methods, reverse structural and functional remodeling of the heart is observed in the long term. In patients using sutured biological prostheses, LVMM decreased by –22.0 [–28.0; –17.0]% (p = 0.0002), seamless biological prostheses – by –20.0 [–27.0; –13.0]% (p = 0.01), with transcatheter aortic valve implantation – by –16.0 [–22.0; –10.0]% (p = 0.0001); left ventricular (LV) hypertrophy concentricity decreased by –21.0 [–29.0; –14.0]% (p < 0.0001), –24.0 [–31.0; –15.0]% (p = 0.0002), –24.2 [–35.6; –1.1]% (p = 0.002), respectively.

In groups using cardiac surgical methods, an improvement in longitudinal systolic function was demonstrated: absolute values of global systolic longitudinal deformation of the LV, assessed by the speckle-tracking method,



increased in patients with implanted biological prostheses by 19.3 [7.5; 54.0]% ($p = 0.032$), with seamless biological prostheses – by 18.4 [3.3; 42.8]% ($p = 0.027$), the $S'_{lat\ mv}$ tissue dopplerography indicator increased – by 36.7 [22.1; 51.3]% ($p < 0.0001$) and 42.8 [17.5; 57.1]% ($p = 0.0005$), respectively. In individuals with TAVI, the $S'_{lat\ mv}$ values increased by 25.0 [14.3; 55.3]% ($p = 0.005$).

Recovery of left ventricular systolic function in the remote period, established on the basis of the results of 2D speckle tracking echocardiography, was diagnosed in 12 (60.0%) patients with sutured and sutureless biological prostheses.

Conclusion. Correction of severe AS using cardiac surgical and endovascular methods is associated in the long term with favorable indicators of intracardiac hemodynamics and reverse structural and functional remodeling of the LV.

Keywords: sutured biological prostheses; reverse structural and functional remodeling; seamless biological prostheses; transcatheter aortic valve implantation

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

For citation: Tarasevich S.V., Zherko O.M., Krachak D.I., Galitskaya S.S. Long-term results of correction of severe aortic stenosis using cardiac surgical and endovascular methods, as from radiologic control data. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 58–72. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1556>

Received: 24.04.2025.

Accepted for publication: 05.06.2025.

Published online: 14.10.2025.

Введение

Пороки клапанов сердца занимают одно из лидирующих мест в структуре сердечно-сосудистых заболеваний. Среди данной патологии преобладает аортальный стеноз (АС) [1]. Хирургическая замена аортального клапана (ХЗАК) является “золотым стандартом” лечения тяжелого АС, обеспечивает радикальную коррекцию и нацелена на хороший клиническо-функциональный прогноз [2]. На сегодняшний день нет общего мнения по поводу объема оперативного вмешательства, и, главным образом, это касается выбора типов клапанов сердца при оперативном лечении аортальных пороков у лиц пожилого и старческого возраста. Биологические протезы характеризуются ламинарным током крови, большей эффективной площадью, меньшим транспротезным градиентом, бесшумностью, низкой тромбогенностью и возможным отказом от антикоагулянтной терапии, следовательно, являются более подходящими для использования в данной группе пациентов [3]. Биопротезы можно разделить на каркасные и бескаркасные, а также имплантируемые хирургическим и эндоваскулярным методами. Транскатетерная имплантация аортального клапана (ТИАК) рекомендуется пациентам с высоким и средним хирургическим риском, в то время как традиционное протезирование остается методом выбора для пациентов с низким риском. Важно отметить, что ТИАК и ХЗАК имеют различные техники: в первом случае нативный аортальный клапан (АоК) сохраняется, а во втором – удаляется полностью. В свою очередь, хирургическое протезирование с использованием метода имплантации биологических клапанов быстрого разворачивания (бесшовных) сочетает в себе преимущества ХЗАК

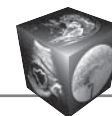
и возможности ТИАК [4]. Изучение гемодинамических критериев функционирования вшиваемых, бесшовных и транскатетерных биологических протезов, в том числе динамики обратного структурно-функционального ремоделирования сердца в отдаленном периоде, необходимо для выбора наиболее правильной и эффективной тактики лечения.

Цель исследования – оценить объективными лучевыми методами исследования гемодинамические параметры и динамику обратного структурно-функционального ремоделирования сердца в отдаленном периоде после коррекции дегенеративного порока АоК с использованием кардиохирургических и эндоваскулярных методик.

Материал и методы

На базе государственных учреждений “Республиканский клинический медицинский центр” Управления делами Президента Республики Беларусь, “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии” и “Республиканский научно-практический центр «Кардиология»” проведено сравнительное нерандомизированное продольное исследование 89 пациентов с тяжелым АС, которым в 2019–2023 гг. была выполнена изолированная хирургическая или эндоваскулярная замена клапана. Они были разделены на 3 группы: группа с протезированием АоК методом имплантации бесшовного биологического протеза ($n = 23$); группа с использованием вшиваемого биологического протеза ($n = 45$); группа с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза ($n = 21$).

Исследование соответствует этическим стандартам, изложенным в Хельсинкской декларации



Всемирной медицинской ассоциации “Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека” с поправками 2000 г. и “Правилами клинической практики в Российской Федерации”, утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 № 266. Пациенты, участвующие в исследовании, дали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Номер протокола заседания этического комитета №7 от 06.03.2024.

Критериями включения в исследование были возраст пациентов старше 60 лет, синусовый ритм, тяжелый АС различной этиологии.

Критериями невключения являлись стенозы и умеренная/тяжелая регургитация на митральном, трикуспидальном клапанах, клапане легочной артерии, врожденные пороки сердца, снижение фракции выброса левого желудочка (ЛЖ) менее 50%, стенозирование коронарных артерий, требующее реваскуляризации, перенесенный в прошлом инфаркт миокарда, заболевания щитовидной железы с изменением нормальных показателей уровня гормонов, хроническая почечная недостаточность, требующая проведения гемодиализа, железодефицитная анемия средней и тяжелой степени, хронические болезни дыхательной системы с дыхательной недостаточностью, наличие “протез-пациент несоответствия”, диагностированного в отдаленном периоде, отказ пациента от участия в исследовании.

В качестве сопутствующей патологии наиболее часто встречалась ишемическая болезнь сердца (ИБС), артериальная гипертензия (АГ), хроническая сердечная недостаточность (ХСН). Полная клиническая характеристика пациентов представлена в табл. 1, 2. Включенные в исследование группы пациентов не имели статистически значимых отличий по распространенности коморбидных заболеваний: хронической ИБС, АГ и ее степени, сахарного диабета (СД), функциональным классам (ФК) ХСН по классификации Нью-Йоркской ассоциации сердца. Однако группа с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза статистически значимо отличалась по возрасту, поэтому в дальнейшем сравнительная оценка проводилась между группами с применением вшиваемого и бесшовного протезов.

Для протезирования АоК использовались перикардальные шовные биологические протезы – Carpentier-Edwards PERIMOUNT MAGNA (48,0%), Carpentier-Edwards PERIMOUNT MAGNA EASE (52,0%), бесшовные протезы – Perceval S (100%), транскатетерные – Edwards SAPIEN 3 (45,5%), Medical Portico Transcatheter Heart Valve R (27,3%),

Medtronic CoreValve Evolut R (22,7%), Meril Myval (4,5%).

Эхокардиография (ЭхоКГ) выполнялась трансторакальным доступом на ультразвуковых системах Vivid E 9 и Vivid E 95 (GE Healthcare) датчиками с частотой 2,5–5,0 МГц. Методика оценки функции протезов с помощью импульсволнового, непрерывноволнового и цветового доплера была аналогична тем, которые используются при оценке нативного клапана. Стандартно исследовались такие параметры, как максимальная систолическая скорость (макс. сист. скорость, м/с), максимальный и средний трансклапанные градиенты давления (МГД и СГД, мм рт.ст.), эффективная площадь отверстия АоК (ЭПО, см²), рассчитанная по уравнению непрерывности потока, индексированная к площади поверхности тела (ППТ) (и ЭПО, см²/м²), время ускорения (АТ, мс), время изгнания (ЕТ, мс) и их отношение (АТ / ЕТ, мс).

Индекс потерь энергии (ИПЭ, см²/м²) определяли по формуле

$$\text{ИПЭ} = \{(\text{ЭПО} \times \text{Ao}) / (\text{Ao} - \text{ЭПО})\} / \text{ППТ},$$

где Ao – площадь поперечного сечения аорты на уровне синотубулярного соединения.

Для оценки нормального функционирования протезов в аортальной позиции использовали безразмерный индекс или индекс доплеровской скорости (DVI, см), который представляет собой отношение интеграла линейной скорости кровотока проксимальнее протеза ($\text{VTI}_{\text{ВТЛЖ}}$, см), определенного с помощью импульсволнового доплера, к интегралу транспротезной линейной скорости кровотока ($\text{VTI}_{\text{ТРП}}$, см), установленного в режиме непрерывноволнового доплера, в пятикамерной апикальной позиции.

Для оценки состояния ЛЖ исследовались следующие переменные: толщина миокарда межжелудочковой перегородки (МЖП, мм) и задней стенки ЛЖ (ЗСЛЖ, мм) во время диастолы в В-режиме. Конечный диастолический (КДО, мл), конечный систолический (КСО, мл) ЛЖ, фракцию выброса ЛЖ (ФВ, %), объемы левого (ЛП, мл) и правого (ПП, мл) предсердий определяли на основании биплановой методики дисков Симпсона. Ударный объем (УО, мл) рассчитывали как разницу между КДО и КСО ЛЖ. Массу миокарда ЛЖ (ММЛЖ, г) вычисляли в В-режиме по формуле площадь–длина и далее индексировали к площади поверхности тела (индекс массы миокарда (ИММ), г/м²) и к росту (м), возведенному в степень 2,7 (ИММ, г/м^{2.7}).

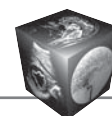
Для определения геометрии ЛЖ рассчитывали относительную толщину стенки (ОТС) по формуле $\text{ОТС} = [\text{ТЗС} \times 2] / \text{КДР}$, где КДР – конечный диасто-

**Таблица 1.** Клиническая характеристика пациентов в дооперационном периоде**Table 1.** Clinical characteristics of patients in the preoperative period

Параметр Parameter	Шовный биологический протез Suture biological prosthesis n = 45	Бесшовный биологический протез Sutureless biological prosthesis n = 23	Транскатетерный биологический протез Transcatheter biological prosthesis n = 21	p ₁	p ₂
Пол / Gender, n (%)				0.050	0.050
женский / female	20 (44.4)	16 (69.6)	11 (52.4)		
мужской / male	25 (55.6)	7 (30.4)	10 (47.6)		
Возраст, годы Age, years	71.0 [66.7; 74.0]	73.0 [69.0; 76.8]	75.0 [69.0; 79.0]	0.055	0.013
ППТ, м ² / BSA, m ²	1.9 [1.7; 2.0]	1.7 [1.6; 1.8]	1.8 [1.8; 1.9]	0.025	<0.001
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	27.0 [25.0; 31.0]	26.0 [24.0; 28.0]	28.0 [26.0; 29.0]	0.213	0.421
ИБС / IHD, n (%)	34.0 (75.6)	17.0 (73.9)	20.0 (95.2)	0.883	0.129
СН / АН, n (%)				0.297	0.783
нет / no	38.0 (84.4)	17.0 (73.9)	15.0 (71.4)		
1	1.0 (2.2)	1.0 (4.3)	0		
2	5.0 (11.1)	4.0 (17.4)	5.0 (23.8)		
3	1.0 (2.2)	1.0 (4.3)	1.0 (4.8)		
ХСН / CHF, n (%)				0.060	0.129
1	1.0 (2.2)	2.0 (8.7)	0		
2	35.0 (77.8)	12.0 (52.2)	17.0 (81.0)		
3	9.0 (20.0)	9.0 (39.1)	4.0 (19.0)		
Наличие АГ, n (%) Presence of AH, n (%)	39.0 (90.7)	22.0 (95.7)	21.0 (100.0)	0.249	0.306
Степень АГ, (n) % Degree of AH, (n) %				0.687	0.306
1	6.0 (15.4)	4.0 (18.2)	0		
2	32.0 (82.1)	16.0 (72.7)	20.0 (95.2)		
3	1.0 (2.6)	2.0 (9.1)	1.0 (4.8)		
АД, мм рт. ст. BP, mmHg					
сист / systolic	140.0 [130.0; 140.0]	135.0 [130.0; 140.0]	140.0 [127.0; 144.0]	0.101	0.775
диаст / diastolic	80.0 [80.0; 90.0]	80.0 [80.0; 80.0]	80.0 [80.0; 90.0]	0.061	0.301
СД / DM, n (%)	7.0 (15.6)	3.0 (13.0)	8.0 (38.1)	0.782	0.064
Наличие ХБП, n (%) Presence of CRF, n (%)	10.0 (22.2)	8.0 (34.8)	4.0 (19.0)	0.267	0.414
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/l	129.0 [122.0; 137]	125.0 [116.0; 13.09]	131.0 [120.0; 137.0]	0.078	0.569

Примечание. p₁ – уровень статистической значимости показателей среди групп с использованием техники имплантации вшиваемого и бесшовного биологического протеза; p₂ – уровень статистической значимости показателей среди групп с использованием техники имплантации вшиваемого, бесшовного и транскатетерного биологического протеза. ППТ – площадь поверхности тела, ИМТ – индекс массы тела, ИБС – ишемическая болезнь сердца, СН – стенокардия, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, АГ – артериальная гипертензия, АД – артериальное давление, СД – сахарный диабет, ХБП – хроническая болезнь почек.

Note. p₁ – level of statistical significance of indicators among groups using the technique of implantation of a sutured and seamless biological prosthesis; p₂ – level of statistical significance of indicators among groups using the technique of implantation of a sutured, seamless and transcatheter biological prosthesis. BSA – body surface area, BMI – body mass index, CHD – coronary heart disease, AP – angina pectoris, CHF – chronic heart failure, AH – arterial hypertension, BP – blood pressure, DM – diabetes mellitus, CKD – chronic kidney disease.

**Таблица 2.** Структурно-функциональные характеристики сердца в дооперационном и отдаленном послеоперационном периодах**Table 2.** Structural and functional characteristics of the heart in the preoperative and long-term postoperative periods

Параметр Parameter	Период Period	Шовный биологический протез Suture biological prosthesis	Бесшовный биологический протез Sutureless biological prosthesis	p ₁	p ₂	p ₃
КДО ЛЖ, мл LV EDV, ml	До / Before После / After	109.0 [98.8; 136.3] 116.0 [101.0; 133.0]	94.0 [78.0; 103.3] 102.5 [97.0; 110.5]	0.003	0.711	0.018
Индекс КДО ЛЖ, мл/м ² LV EDV index, ml/m ²	До / Before После / After	57.5 [54.0; 66.7] 61.5 [55.2; 65.2]	54.1 [45.5; 58.4] 60.4 [55.0; 63.5]	0.030	0.799	0.065
КСО ЛЖ, мл LV ESV, ml	До / Before После / After	43.0 [37.0; 52.3] 40.0 [33.0; 52.0]	31.0 [24.8; 41.0] 38.5 [32.0; 43.0]	0.001	0.640	0.073
Индекс КСО ЛЖ, мл/м ² LV ESV index, ml/m ²	До / Before После / After	23.0 [20.7; 25.4] 21.5 [18.8; 25.9]	17.1 [14.3; 21.2] 21.1 [18.1; 24.8]	0.004	0.411	0.083
УО ЛЖ, мл SV LV, ml	До / Before После / After	66.0 [60.5; 87.3] 74.5 [65.0; 79.0]	61.0 [49.3; 72.3] 64.0 [60.5; 71.5]	0.073	0.277	0.330
Индекс УО ЛЖ, мл/м ² SV LV index, ml/m ²	До / Before После / After	37.1 [32.0; 42.3] 37.9 [34.8; 41.9]	36.0 [29.7; 39.3] 38.2 [34.7; 41.5]	0.511	0.491	0.668
ФВ ЛЖ, % LV EF, %	До / Before После / After	60.0 [58.8; 63.3] 65.0 [60.0; 68.0]	66.0 [64.3; 73.0] 64.5 [60.0; 67.5]	0.001	0.019	0.051
GLPS, %	До / Before После / After	-16.1 [-17.9; -14.1] -19.3 [-20.4; -16.9]	-16.2 [-18.0; -15.0] -19.4 [-20.9; -18.0]	0.827	0.007	0.005
ММЛЖ, г MMLV, g	До / Before После / After	259.0 [223.8; 312.5] 195.0 [170.0; 224.0]	210.0 [160.0; 248.3] 156.0 [144.0; 189.5]	0.003	0.001	0.026
Индекс ММЛЖ, г/м ² MMLV index, ml/m ²	До / Before После / After	139.0 [120.0; 163.3] 103.0 [94.0; 116.0]	120.0 [99.0; 144.5] 91.0 [85.0; 101.0]	0.026	<0.001	0.009
Индекс ММЛЖ, г/м ^{2.7} MMLV index, g/m ^{2.7}	До / Before После / After	65.0 [56.3; 71.8] 48.8 [45.2; 71.8]	50.3 [47.8; 67.2] 46.2 [37.5; 51.1]	0.060	<0.0001	0.009
МЖП, мм IVS, mm	До / Before После / After	14.0 [13.0; 15.0] 11.0 [11.0; 13.0]	13.0 [11.8; 14.0] 11.0 [10.0; 12.0]	0.070	0.001	0.033
ЗСЛЖ, мм BW LV, mm	До / Before После / After	12.0 [11.0; 14.0] 10.0 [10.0; 11.0]	11.0 [10.0; 13.3] 10.0 [9.0; 10.0]	0.108	<0.001	0.002
ОТС RWT	До / Before После / After	0.49 [0.44; 0.55] 0.40 [0.38; 0.45]	0.48 [0.43; 0.54] 0.41 [0.38; 0.44]	0.529	<0.001	0.029
ММЛЖ/КДО ЛЖ, г/мл MMLV / LV EDV, g/ml	До / Before После / After	2.46 [1.81; 3.04] 1.76 [1.56; 1.88]	2.27 [1.83; 2.62] 1.58 [1.43; 1.85]	0.473	<0.001	0.0002
КДП ПЖ, см ² RV EDA, cm ²	До / Before После / After	18.0 [15.1; 21.1] 18.9 [18.0; 21.6]	15.0 [13.4; 16.5] 17.0 [15.3; 17.8]	0.002	0.215	0.057
КСП ПЖ, см ² RV ESA, cm ²	До / Before После / After	10.0 [7.9; 12.7] 10.7 [10.0; 12.0]	7.9 [7.0; 9.0] 9.0 [8.0; 10.5]	0.008	0.123	0.025
ФИП ПЖ, % RV FAC, %	До / Before После / After	44.0 [42.0; 49.5] 43.5 [40.0; 46.0]	45.0 [41.0; 52.0] 43.5 [39.0; 48.0]	0.882	0.193	0.216
Объем ЛП, мл LA volume, ml	До / Before После / After	69.5 [57.0; 83.5] 67.5 [61.0; 80.0]	61.0 [58.3; 70.7] 61.5 [51.5; 66.0]	0.165	0.891	0.229
Индекс объема ЛП, мл/м ² LA volume index, ml/m ²	До / Before После / After	36.9 [34.1; 42.1] 35.9 [33.9; 40.1]	36.9 [32.3; 41.1] 33.9 [30.0; 37.3]	0.714	0.521	0.144
Объем ПП, мл RA volume, ml	До / Before После / After	51.4 [40.9; 58.9] 52.5 [47.3; 59.6]	42.0 [36.6; 47.0] 48.8 [41.5; 56.4]	0.012	0.141	0.009
Индекс объема ПП, мл/м ² RA volume index, ml/m ²	До / Before После / After	27.0 [22.9; 30.0] 28.0 [27.0; 30.0]	24.0 [20.5; 28.0] 27.0 [24.5; 30.5]	0.084	0.258	0.010



Таблица 2 (окончание).
Table 2 (end).

Параметр Parameter	Период Period	Шовный биологический протез Suture biological prosthesis	Бесшовный биологический протез Sutureless biological prosthesis	p ₁	p ₂	p ₃
MAPSE, мм MAPSE, mm	До / Before После / After	13.0 [12.0; 14.0] 15.0 [13.0; 17.0]	14.0 [13.0; 14.5] 13.0 [12.0; 16.5]	0.214	0.008	0.461
TAPSE, мм TAPSE, mm	До / Before После / After	22.0 [20.0; 25.0] 19.0 [17.0; 22.0]	21.0 [18.8; 23.0] 18.0 [17.0; 19.0]	0.296	0.0006	0.0009
S' _{лат МК} , см/с S' _{lat mv} , cm/sec	До / Before После / After	7.0 [6.0; 8.0] 9.0 [8.0; 11.0]	6.0 [6.0; 7.0] 10.0 [8.0; 10.5]	0.078	<0.001	<0.001
S' _{септ МК} , см/с S' _{sept mv} , cm/sec	До / Before После / After	6.0 [5.0; 7.0] 7.0 [6.0; 8.0]	6.0 [5.5; 6.5] 6.0 [6.5; 7.0]	0.464	0.008	0.064
S' _{тк} , см/с S' _{tv} , cm/sec	До / Before После / After	13.0 [11.3; 15.8] 12.0 [11.0; 13.0]	11.5 [11.0; 14.0] 12.0 [11.0; 13.0]	0.129	0.090	0.095
ДЛА _{сис} , мм рт.ст. PLA _{syst} , mmHg	До / Before После / After	30.0 [25.0; 34.2] 24.0 [22.0; 27.0]	32.0 [24.5; 33.3] 26.0 [23.5; 31.0]	0.584	0.001	0.151
TAPSE/ДЛА _{сис} , мм рт.ст. TAPSE/ PLA _{syst} , mmHg	До / Before После / After	0.72 [0.59; 0.91] 0.77 [0.64; 0.95]	0.69 [0.59; 0.86] 0.71 [0.54; 0.83]	0.547	0.309	0.804

Примечание. p₁ – уровень статистической значимости показателей дооперационного периода между исследуемыми группами; p₂ – уровень статистической значимости показателей дооперационного и отдаленного послеоперационного периодов в группе с использованием вшиваемого биологического протеза; p₃ – уровень статистической значимости показателей дооперационного и отдаленного послеоперационного периодов в группе с использованием техники имплантации бесшовного биологического протеза. Здесь и в табл. 4: КДО ЛЖ – конечный диастолический объем ЛЖ, КСО ЛЖ – конечный систолический объем ЛЖ, УО ЛЖ – ударный объем ЛЖ, ФВ ЛЖ – фракция выброса ЛЖ, GLPS – глобальный продольный стрейн, ММЛЖ – масса миокарда ЛЖ, МЖП – межжелудочковая перегородка, ЗСЛЖ – задняя стенка ЛЖ, ОТС – относительная толщина стенки, КДП ПЖ – конечная диастолическая площадь ПЖ, КСП ПЖ – конечная систолическая площадь ПЖ, ФИП ПЖ – фракция изменения площади ПЖ, ЛП – левое предсердие, ПП – правое предсердие, MAPSE – систолическую экскурсию кольца митрального клапана, TAPSE – систолическую экскурсию кольца трикуспидального клапана, ДЛА – давление легочной артерии.

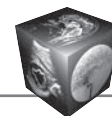
Note. p₁ – level of statistical significance of preoperative period indicators between the study groups; p₂ – level of statistical significance of preoperative and long-term postoperative period indicators in the group using a suture biological prosthesis; p₃ – level of statistical significance of indicators of preoperative and long-term postoperative periods in the group using the technique of implantation of a sutureless biological prosthesis. Here and in tabl. 4: LV EDV – end-diastolic volume LV, LV ESV – end-systolic volume LV, LV SV – stroke volume LV, LV EF – LV ejection fraction, GLPS – Global Longitudinal Strain, MMLV – LV myocardial mass, IVS – interventricular septum, BW LV – LV posterior wall, RWT – relative wall thickness, RV EDA – RV end-diastolic area, RV ESA – RV end-systolic area, RV FAC – RV fraction of area change, LA – left atrium, RA – right atrium, MAPSE – mitral annular systolic excursion, TAPSE – tricuspid annular systolic excursion, PAP – pulmonary artery pressure.

лический размер ЛЖ (мм), ТЗС – толщина задней стенки ЛЖ в конце диастолы (мм) в В-режиме и индекс геометрии ЛЖ (ММЛЖ / КДО, г/мл).

Сократительная функция миокарда ЛЖ анализировалась с помощью тканевой доплерографии в импульсно-волновом режиме по скоростям движения латерального (S'_{лат}, см/с), септального (S'_{септ}, см/с) краев фиброзного кольца митрального клапана (МК) и недоплеровской методики оценки движения миокарда – “спекл-слежения” (GLPS, %). Систолическую экскурсию кольца МК

(MAPSE, мм) рассчитывали как амплитуду систолической экскурсии кольца в продольном направлении из апикальной четырехкамерной позиции.

Для оценки состояния правого желудочка (ПЖ) использовались стандартные методы ЭхоКГ: конечная диастолическая (КДП, см²) и конечная систолическая (КСП, см²) площади ПЖ, рассчитанные путем трассировки ПЖ по эндокарду. Систолическая функция ПЖ оценивалась по систолической скорости движения латеральной части трикуспидального кольца в режиме тканевой



импульсноволновой доплерографии ($S'_{\text{тк}}$, см/с), систолической экскурсии латеральной части кольца трикуспидального клапана (TAPSE, мм), фракции изменения площади (ФИП, %) по формуле (КДП – КСП)/КДП, соотношению TAPSE/ДЛА_{сист} мм рт.ст. По стандартной методике проводили измерение систолического давления в легочной артерии (ДЛА_{сист} мм рт.ст.). Тяжелый АС устанавливали на основании следующих критериев: пиковая трансклапанная скорость > 4 м/с, средний градиент > 40 мм рт.ст., площадь АоК < 1 см², индекс площади АоК < 0,6 см²/м². В случае низкотокового низкоградиентного тяжелого АС с сохраненной ФВ (более 50%) площадь отверстия составляет ≤ 1 см², средний градиент давления < 40 мм рт.ст., индекс УО ≤ 35 мл/м² [1, 4, 6].

Субпороговая (латентная) систолическая дисфункция ЛЖ определялась на основании результатов выполнения 2D-speckle-tracking-ЭхоКГ, пороговым значением которой при сохраненной ФВ ЛЖ является уровень GLS менее 16% [5].

ЭхоКГ выполнялась перед операцией и затем не ранее года после оперативного вмешательства. Медиана периода наблюдения составила в группе с использованием вшиваемых биологических протезов 1,0 год 9,0 мес [1,0 год 3,0 мес; 3,0 года 6,0 мес], бесшовных биологических протезов 1,0 год 6,0 мес [1,0 год 3 дня; 2,0 года], с ТИАК 1,0 год 9,0 мес [1,0 год 5,0 мес; 3,0 года 5,0 мес] ($p = 0,116$). Перед ЭхоКГ по стандартной методике пациенту измерялось артериальное давление (АД). Все гемодинамические транс-протезные показатели проанализированы после снижения цифр АД менее 150/90 мм рт.ст.

Оценка глобальной систолической продольной деформации ЛЖ (GLPS, %) по данным 2D-speckle-tracking-ЭхоКГ перед хирургическим вмешательством была выполнена у 11 пациентов с последующей имплантацией бесшовного биологического протеза, у 16 лиц с вшиваемым биологическим протезом. Пациентам с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза исследование продольной деформации ЛЖ перед операцией не проводилось. В отдаленном периоде глобальная систолическая продольная деформация ЛЖ определялась у всех пациентов.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью пакетов прикладных программ SAS (Statistic Analysis System), IBM SPSS Statistics.

Для большинства количественных переменных распределение отличалось от нормального, поэтому полученные результаты оценивали непараметрическими методами. Количественные значения изучаемых параметров по результатам описа-

тельной статистической обработки данных представляли в виде медианы, 25% нижнего и 75% верхнего квартильных размахов – Ме [LQ; UQ]. Для независимых выборок применяли знакоранговый критерий Манна–Уитни, для зависимых данных – одновыборочный критерий Вилкоксона с указанием уровня статистической значимости (p). Для сопоставления номинальных данных использовался критерий χ^2 Пирсона. Значение $p < 0,05$ считали статистически значимым.

Объем выборки не рассчитывался, так как исследование продолжается и будет дополнено.

Результаты исследования

Всем пациентам выполнялось первичное изолированное плановое хирургическое или эндоваскулярное вмешательство в связи с тяжелым АС. Подробное описание эхокардиографических данных в группах с применением бесшовного и вшиваемого биологических протезов, характеризующих структурно-функциональные параметры сердца и гемодинамические свойства АоК, представлено в табл. 2, 3.

Из табл. 2, 3 видно, что группы сопоставимы по гемодинамическим показателям и большинству структурно-функциональных характеристик сердца в дооперационном периоде, за исключением КДО, КСО ЛЖ и их индексов, ФВ ЛЖ, ММЛЖ, индекса ММЛЖ на ППТ, КДП и КСП ЛЖ, объема ПП. В связи с этим в дальнейшем группы не сравнивались между собой.

Далее была проведена оценка относительного изменения рассматриваемых показателей, выраженного в процентах.

При сопоставлении дооперационного и послеоперационного периодов в группе с использованием вшиваемого биологического протеза отмечается статистически значимое увеличение ФВ ЛЖ на 5,8 [1,6; 9,9]% ($p = 0,008$), абсолютной величины глобальной продольной деформации миокарда ЛЖ на 19,3 [7,5; 54,0]% ($p = 0,032$), уменьшение массы миокарда на –22,0 [–28,0; –17,0]% ($p = 0,0002$), индекса ММЛЖ по отношению к площади тела на –23,0 [–28,0; –18,0]% ($p < 0,0001$), индекса ММЛЖ к росту на –22,0 [–28,0; –17,0]% ($p < 0,0001$), концентричности ЛЖ на –21,0 [–29,0; –14,0]% ($p < 0,0001$), толщины МЖП на –10,5 [–16,7; –4,3]% ($p = 0,002$) и ЗСЛЖ на –14,4 [–19,6,0; –9,3]% ($p = 0,0001$), увеличение $S'_{\text{лат мк}}$ на 36,7 [22,1; 51,3]% ($p < 0,0001$) и $S'_{\text{септ мк}}$ на 26,3 [12,0; 40,6]% ($p = 0,0009$), TAPSE на 18,2 [7,2; 31,9]% ($p = 0,005$), снижение ДЛА_{сист} на –13,1 [–23,1; –3,2]% ($p = 0,005$), TAPSE на –11,0 [–16,8; –5,2]% ($p = 0,0009$).



Таблица 3. Гемодинамические показатели в дооперационном и отдаленном послеоперационном периодах
Table 3. Hemodynamic parameters in the preoperative and long-term postoperative periods

Параметр Parameter	Период Period	Шовный биологический протез Suture biological prosthesis	Бесшовный биологический протез Sutureless biological prosthesis	p ₁	p ₂	p ₃
Макс. сист. скорость, м/с PV, m/sec	До / Before После / After	4.6 [4.2; 5.0] 2.4 [2.1; 2.7]	4.4 [4.2; 4.8] 2.2 [1.9; 2.4]	0.218	<0.0001	<0.0001
МГД, мм рт.ст. PG, mmHg	До / Before После / After	84.0 [70.0; 103.5] 23.5 [19.0; 29.0]	78.0 [63.5; 93.0] 20.5 [15.5; 22.5]	0.222	<0.0001	<0.0001
СГД, мм рт.ст. MG, mmHg	До / Before После / After	51.0 [43.3; 68.5] 13.0 [10.7; 15.0]	50.0 [40.7; 60.8] 11.5 [8.5; 13.5]	0.293	<0.0001	<0.0001
ЭПО, см ² EOA, cm ²	До / Before После / After	0.9 [0.7; 0.9] 1.9 [1.70; 2.30]	0.7 [0.6; 0.8] 1.9 [1.73; 2.07]	0.042	<0.0001	<0.0001
Индекс ЭПО, см ² /м ² EOA index, cm ² /m ²	До / Before После / After	0.42 [0.36; 0.50] 0.99 [0.94; 1.21]	0.42 [0.38; 0.46] 1.06 [0.99; 1.25]	0.871	<0.0001	<0.0001
ИПЭ, см ² /м ² ELI, cm ² /m ²	До / Before После / After	0.43 [0.38; 0.52] 1.05 [1.0; 1.29]	0.43 [0.39; 0.48] 1.12 [1.05; 1.34]	0.844	<0.0001	<0.0001
DVI, см DVI, cm	До / Before После / After	0.20 [0.18; 0.24] 0.47 [0.44; 0.57]	0.21 [0.17; 0.24] 0.45 [0.39; 0.48]	0.837	<0.0001	<0.0001
АТ, мс AT, msec	До / Before После / After	100.0 [90.0; 100.0] 81.5 [74.0; 91.0]	80.0 [65.0; 100.0] 80.5 [68.0; 90.5]	0.091	0.006	0.875
ЕТ, мс ET, msec	До / Before После / After	320.0 [300.0; 340.0] 303.0 [290.0; 319.0]	330.0 [275.0; 340.0] 308.0 [283.0; 333.5]	0.727	0.204	0.875
АТ/ЕТ, мс AT/ET, msec	До / Before После / After	0.30 [0.28; 0.32] 0.27 [0.24; 0.30]	0.28 [0.22; 0.29] 0.25 [0.23; 0.28]	0.082	0.027	0.995

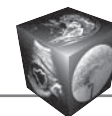
Примечание. p₁ – уровень статистической значимости показателей дооперационного периода между исследуемыми группами; p₂ – уровень статистической значимости показателей дооперационного и отдаленного послеоперационного периодов в группе с использованием вшиваемого биологического протеза; p₃ – уровень статистической значимости показателей дооперационного и отдаленного послеоперационного периодов в группе с использованием техники имплантации бесшовного биологического протеза. Здесь и в табл. 5: МГД – максимальный градиент давления, СГД – средний градиент давления, ЭПО – эффективная площадь отверстия, ИПЭ – индекс потери энергии, DVI – индекс доплеровской скорости, АТ – время ускорения, ЕТ – время изгнания.

Note. p₁ – level of statistical significance of preoperative period indicators between the study groups; p₂ – level of statistical significance of preoperative and long-term postoperative period indicators in the group using a suture biological prosthesis; p₃ – level of statistical significance of indicators of preoperative and long-term postoperative periods in the group using the technique of implantation of a sutureless biological prosthesis. Here and in tabl. 5: PG – peak gradient, MG – mean gradient, EOA – effective orifice area, ELI – energy loss index, DVI – Doppler velocity index, AT – acceleration time, ET – ejection time.

При сопоставлении дооперационного и послеоперационного периодов в группе с применением бесшовного биологического протеза отмечается статистически значимое увеличение абсолютной величины глобальной продольной деформации миокарда ЛЖ на 18,4 [3,3; 42,8]% (p = 0,027), уменьшение массы миокарда на –20,0 [–27,0; –13,0]% (p = 0,01), индекса ММЛЖ по отношению к площади тела на –21,0 [–29,0; –13,0]% (p = 0,016), индекса массы миокарда к росту на –18,9 [–25,2; –7,7]% (p = 0,01), концентричности ЛЖ на –24,0 [–31,0; –15,0]% (p = 0,0002), толщины

МЖП на –12,1 [–21,9; –8,3]% (p = 0,011) и ЗСЛЖ на –10,0 [–20,6; –0,6]% (p = 0,042), увеличение S'_{лат мк} на 42,8 [17,5; 57,1]% (p = 0,0005), снижение TAPSE на –16,2 [–23,9; –2,9]% (p = 0,001), увеличение КСП ПЖ на 18,3 [14,1; 27,6]% (p = 0,011), объема ПП на 21,7 [–3,5; 26,1]% (p = 0,003) и индекса объема ПП на 17,9 [–4,2; 26,4]% (p = 0,032), КДО ЛЖ на 11,1 [4,1; 18,4]% (p = 0,015).

Диаметры вшиваемых биологических протезов по данным ЭхоКГ составили 23,0 [23,0; 25,0] мм, бесшовных биологических протезов – 23,0 [23,0; 25,0] мм соответственно.



В соответствии с полученными данными ЭхоКГ максимальная систолическая скорость, максимальный и средний транспротезные градиенты статистически значимо уменьшились, площадь эффективного отверстия, индекс потерь энергии увеличились. Время ускорения систолического транспротезного потока уменьшилось на вшиваемых протезах, время изгнания и их отношение не претерпели статистически значимых изменений в исследуемых группах.

Следовательно, эхокардиографическое исследование, выполненное в отдаленном послеоперационном периоде, позволило определить, что шовные и бесшовные биологические протезы обладают хорошими гемодинамическими характеристиками и приводят к статистически значимому уменьшению ММЛЖ, индекса ММЛЖ по отношению к площади тела, индекса ММЛЖ к росту, толщины МЖП и ЗСЛЖ, уменьшению концентричности ЛЖ. В отдаленном послеоперационном периоде у пациентов с шовными биологическими протезами абсолютные величины GLPS, значения MAPSE, $S'_{\text{лат мк}}$, $S'_{\text{септ мк}}$, у лиц с бесшовными биологическими протезами GLPS, $S'_{\text{лат мк}}$ были статистически значимо выше по сравнению с дооперационным периодом, что свидетельствует об улучшении продольной сократительной способности ЛЖ. Однако показатель TAPSE, характеризующий систолическую функцию ПЖ, статистически зна-

чимо снизился в исследуемых группах, что соответствует ухудшению его функции.

Перед оперативным лечением субпороговая (латентная) систолическая дисфункция ЛЖ, диагностированная по результатам выполнения 2D-speckle-tracking-ЭхоКГ, была установлена у 20 (74,0%) пациентов с тяжелым стенозом АоК. Восстановление систолической функции ЛЖ в отдаленном периоде определено у 12 (60,0%) человек, из них у 7 (58%) с шовными биологическими протезами, у 5 (42%) с бесшовными биологическими протезами.

Описание эхокардиографических данных, характеризующих структурно-функциональные и гемодинамические параметры, в группе с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза представлены в табл. 4, 5.

При изучении дооперационного и послеоперационного периодов в исследуемой группе отмечается статистически значимое уменьшение массы миокарда на $-16,0$ $[-22,0; -10,0]\%$ ($p = 0,0001$), индекса ММЛЖ по отношению к площади тела на $-17,5$ $[-22,6; -5,3]\%$ ($p = 0,0003$), индекса ММЛЖ к росту на $-20,3$ $[-25,2; -4,0]\%$ ($p < 0,0001$), толщины МЖП на $-8,3$ $[-20,0; -0,13]\%$ ($p < 0,0001$) и ЗСЛЖ на $-9,1$ $[-25,0; -5,4]\%$ ($p = 0,003$), концентричности ЛЖ на $-24,2$ $[-35,6; -1,1]\%$ ($p = 0,002$), увеличение $S'_{\text{лат мк}}$ на $25,0$ $[14,3; 55,3]\%$ ($p = 0,005$), снижение ДЛА_{СИСТ} на $-14,8$ $[-21,9; 7,1]\%$ ($p = 0,02$),

Таблица 4. Структурно-функциональные параметры сердца в группе с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза в дооперационном и отдаленном послеоперационном периодах

Table 4. Structural and functional parameters of the heart in the group with the transcatheter technique of implantation of a biological prosthesis in the preoperative and long-term postoperative periods

Параметр Parameter	Транскатетерный биологический протез в дооперационном периоде Transcatheter biological prosthesis in the preoperative period	Транскатетерный биологический протез в отдаленном периоде Transcatheter biological prosthesis in the long-term postoperative period	p
КДО ЛЖ, мл LV EDV, ml	105.0 [94.0; 116.0]	111.0 [102.0; 119.0]	0.095
Индекс КДО ЛЖ, мл/м ² LV EDV index, ml/m ²	57.4 [52.3; 62.5]	61.2 [57.4; 65.1]	0.069
КСО ЛЖ, мл LV ESV, ml	40.7 [35.1; 46.3]	41.8 [37.6; 46.0]	0.068
Индекс КСО ЛЖ, мл/м ² LV ESV index, ml/m ²	22.2 [19.4; 25.0]	23.2 [21.0; 25.3]	0.056
УО ЛЖ, мл SV LV, ml	64.4 [57.4; 71.5]	68.7 [63.2; 74.2]	0.242
Индекс УО, мл/м ² SV LV index, ml/m ²	35.2 [31.9; 38.4]	38.0 [35.6; 40.5]	0.170
ФВ ЛЖ, % LV EF, %	61.9 [59.6; 64.2]	62.1 [60.2; 64.1]	0.426



Таблица 4 (окончание).

Table 4 (end).

Параметр Parameter	Транскатетерный биологический протез в дооперационном периоде Transcatheter biological prosthesis in the preoperative period	Транскатетерный биологический протез в отдаленном периоде Transcatheter biological prosthesis in the long-term postoperative period	p
ММЛЖ, г MMLV, g	221.0 [197.7; 263.0]	200.0 [160.0; 214.0]	0.027
Индекс ММЛЖ, г/м ² MMLV index, ml/m ²	123.0 [108.3; 140.0]	104.0 [98.0; 113.0]	0.004
Индекс ММЛЖ, г/м ^{2,7} MMLV index, g/ m ^{2,7}	60.1 [52.0; 66.9]	50.2 [45.1; 53.5]	0.013
МЖП, мм IVS, mm	13.6 [12.4; 14.7]	11.5 [10.9; 12.1]	0.023
ЗСЛЖ, мм BWLV, mm	12.3 [11.2; 13.4]	10.1 [9.7; 10.5]	0.013
ОТС RWT	0.52 [0.46; 0.57]	0.4 [0.39; 0.42]	0.006
ММЛЖ/КДО, г/мл MMLV / LV EDV, g/ml	2.06 [1.76; 2.6]	1.79 [1.51; 1.90]	0.013
КДП ПЖ, см ² RV EDA, cm ²	23.1 [16.3; 30.0]	18.2 [16.3; 20.2]	0.155
КСП ПЖ, см ² RV ESA, cm ²	12.3 [8.3; 16.2]	10.3 [9.1; 11.5]	0.427
ФИП ПЖ, % RV FAC, %	46.0 [44.0; 48.0]	43.0 [39.7; 47.0]	0.199
Объем ЛП, мл LA volume, ml	78.0 [67.3; 81.0]	67.0 [60.0; 70.0]	0.044
Индекс объема ЛП, мл/м ² LA volume index, ml/m ²	43.0 [39.5; 46.5]	37.6 [33.5; 41.6]	0.011
Объем ПП, мл RA volume, ml	51.0 [46.0; 55.0]	56.0 [49.0; 63.0]	0.503
Индекс объема ПП, мл/м ² RA volume index, ml/m ²	27.6 [24.8; 30.4]	31.3 [27; 35.6]	0.375
MAPSE, мм MAPSE, mm	12.0 [11.3; 13.0]	13.5 [12.0; 15.0]	0.117
TAPSE, мм TAPSE, mm	21.9 [20.4; 23.5]	23.3 [21.9; 24.8]	0.066
S' _{лат мк} , см/с S' _{lat mv} , cm/sec	7.0 [6.0; 8.0]	8.0 [8.0; 9.0]	0.0002
S' _{септ мк} , см/с S' _{sept mv} , cm/sec	6.0 [5.5; 6.5]	6.5 [6.0; 8.0]	0.096
S' _{тк} , см/с S' _{tv} , cm/sec	14.0 [11.0; 14.0]	16.5 [11.5; 17.5]	0.078
ДЛАСист, мм рт.ст. PLAsyst, mmHg	30.0 [27.0; 33.7]	23.5 [21.0; 30.0]	0.011
TAPSE/ДЛА _{сист} , мм рт.ст. TAPSE/ PLA _{syst} , mmHg	0.72 [0.61; 0.81]	0.94 [0.84; 1.04]	0.005

Примечание. p – уровень статистической значимости показателей дооперационного и отдаленного послеоперационного периодов в группе с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза.

Note. p – level of statistical significance of indicators of preoperative and long-term postoperative periods in the group with the transcatheter technique of implantation of a biological prosthesis.

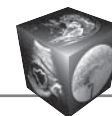


Таблица 5. Гемодинамические показатели в группе с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза в дооперационном и отдаленном послеоперационном периодах

Table 5. Hemodynamic parameters in the group with the transcatheter technique of implantation of a biological prosthesis in the preoperative and long-term postoperative periods

Параметр Parameter	Транскатетерный биологический протез в дооперационном периоде Transcatheter biological prosthesis in the preoperative period	Транскатетерный биологический протез в отдаленном периоде Transcatheter biological prosthesis in the long-term postoperative period	p
Макс. сист. скорость, м/с PV, m/sec	4.6 [4.3; 4.9]	2.2 [1.9; 2.5]	<0.0001
МГД, мм рт. ст. PG, mmHg	86.9 [75.2; 98.6]	21.8 [17.4; 26.2]	<0.0001
СГД, мм рт. ст. MG, mmHg	54.1 [45.9; 62.4]	12.5 [9.3; 15.8]	<0.0001
ЭПО, см ² EOA, cm ²	0.79 [0.71; 0.87]	2.41 [2.13; 2.7]	<0.0001
Индекс ЭПО, см ² /м ² EOA index, cm ² /m ²	0.43 [0.4; 0.47]	1.34 [1.21; 1.47]	<0.0001
ИПЭ, см ² /м ² ELI, cm ² /m ²	0.44 [0.41; 0.48]	1.47 [1.32; 1.63]	<0.0001
DVI, см DVI, cm	0.22 [0.19; 0.26]	0.50 [0.45; 0.56]	0.002
АТ, мс AT, msec	92.0 [67.0; 118.0]	80.0 [73.0; 87.0]	0.849
ЕТ, мс ET, msec	322.0 [290.0; 355.0]	306.0 [292.0; 321.0]	0.145
АТ/ЕТ, мс AT/ET, msec	0.29 [0.22; 0.35]	0.26 [0.24; 0.29]	0.939

Примечание. p – уровень статистической значимости показателей дооперационного и отдаленного послеоперационного периодов в группе с транскатетерной техникой имплантации биологического протеза.

Note. p – level of statistical significance of indicators of preoperative and long-term postoperative periods in the group with the transcatheter technique of implantation of a biological prosthesis.

увеличение TAPSE/ДЛА_{сист} на 18,1 [4,7; 41,7]% (p = 0,007). Достоверно уменьшился объем ЛП на –13,3 [–21,9; –1,6]% (p = 0,0001) и индекс объема ЛП на –14,1 [–21,1; –2,7]% (p = 0,0001).

Диаметры протезов, согласно эхокардиографическим данным, составили 25,0 [24,7; 26,0] мм. В отдаленном послеоперационном периоде максимальная систолическая скорость, максимальный и средний транспротезные градиенты статистически значимо уменьшились, площадь эффективного отверстия, индекс потерь энергии увеличились. Время ускорения, время изгнания и их отношение не подверглись статистически значимым изменениям.

Постоянные электрокардиостимуляторы в раннем послеоперационном периоде были имплантированы 11 (12,3%) пациентам: 3 – (3,3%) с бесшовными биопротезами, 4 – (4,5%) с ТИАК, 4 – (4,5%) с шовными биологическими протезами.

Парапротезная регургитация присутствовала у 8 (8,9%) пациентов: у 6 (6,7%) пациентов с ТИАК диагностирована легкая (83,4% случаев) и умеренная (16,6%) регургитация; у 2 (2,2%) – с бесшовными биологическими протезами имела место умеренная парапротезная регургитация. Во всех наблюдениях парапротезная регургитация была стабильной с течением времени.

Обсуждение

Как представлено в разделе “Результаты исследования”, после имплантации биологических протезов в аортальную позицию в отдаленном периоде в трех исследуемых группах статистически значимо уменьшились масса миокарда, толщина МЖП и ЗСЛЖ, индекс ММЛЖ по отношению к площади тела и к росту, что указывает на обратное структурное ремоделирование ЛЖ у пациентов с тяжелым АС, очевидно, вследствие нормали-



зации постнагрузки ЛЖ [4]. ОТС и отношение массы миокарда к КДО ЛЖ уменьшились в трех группах, что свидетельствует в пользу уменьшения концентричности гипертрофии. Также во всех исследуемых группах статистически значимо улучшилась скорость продольного движения латерального края фиброзного кольца МК, оцененная в режиме тканевой доплерографии, что демонстрирует восстановление продольной сократительной способности ЛЖ в ходе обратного ремоделирования. КДО, КСО ЛЖ, УО и их индексы не претерпели статистически значимых изменений.

В отдаленном периоде в группе ТИАК отмечается функциональное ремоделирование ПЖ в виде увеличения показателей $S_{\text{тк}}$ и $\text{TAPSE}/\text{ДЛА}_{\text{сист}}$, наоборот, значения TAPSE снижаются в группах пациентов с использованием кардиохирургических методик, однако не выходят за пределы нижней границы нормы для данного параметра. Полученные результаты согласуются с разными эффектами кардиохирургических и эндоваскулярных вмешательств при замене АоК на функцию ПЖ. Существует несколько вероятных механизмов нарушения структурно-функциональных свойств ПЖ после кардиохирургической коррекции стеноза АоК: ишемически-реперфузионное повреждение, длительное время ишемии, вид кардиоплегии, установка дренажей, повреждение ПЖ (отек стенки, механическая травма) при канюлировании для искусственного кровообращения (ИК), характеристики отлучения от ИК, чувствительность к гипотермии во время выполнения вмешательства, образование послеоперационных спаек. Поэтому детальные патофизиологические механизмы, лежащие в основе постхирургической дисфункции ПЖ, остаются дискуссионными, а их прогностическое значение до сих пор однозначно не установлено [6, 7].

Вышеперечисленные факты свидетельствуют в пользу того, что биологические протезы с использованием как кардиохирургических, так и транскатетерных методов должным образом корректируют внутрисердечную гемодинамику и снятие патологической постнагрузки с ЛЖ [7], обеспечивают обратное структурно-функциональное ремоделирование сердца независимо от того факта, что в группе ТИАК пациенты были статистически значимо старше по возрасту. Кроме того, наличие парапротезных фистул легкой и умеренной степени со стабильным регургитирующим объемом не повлияло на динамику обратного ремоделирования ЛЖ.

Обратное структурно-функциональное ремоделирование сердца после замены АоК снижает риск аритмий, сердечной недостаточности, вне-

запной коронарной смерти и указывает на эффективность хирургического лечения [8]. Понимание структурных и функциональных изменений до и после хирургического вмешательства имеет важное значение для оптимизации ведения и лечения пациентов.

Появление новых методов и технологий в ультразвуке позволяет существенно расширить объем получаемой информации, в большинстве случаев заменяя инвазивные дорогостоящие методы диагностики. Важное значение имеет изучение дополнительных маркеров систолической функции камер сердца. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении. Также целесообразно выполнить многофакторный анализ с построением модели прогнозирования обратного ремоделирования сердца для выявления предикторов, позволяющих определять наиболее эффективную и безопасную тактику лечения.

Ограничения исследования

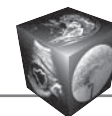
В данной работе была продемонстрирована динамика обратного структурно-функционального ремоделирования сердца в отдаленном периоде после коррекции дегенеративного порока аортального клапана. Ввиду того, что исследование проводилось на базе государственных учреждений «Республиканский клинический медицинский центр» Управления делами Президента Республики Беларусь, «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии» и «Республиканский научно-практический центр «Кардиология», в дооперационном периоде ЭхоКГ выполнялась врачами ультразвуковой диагностики соответствующих центров. В отдаленном послеоперационном периоде эхокардиографическая оценка проводилась одним врачом ультразвуковой диагностики. Учитывая, что ультразвуковая диагностика является операторозависимым методом, нельзя исключить некоторую межисследовательскую разнородность.

Межгрупповое сравнение выполнялось среди групп хирургической коррекции с использованием шовных и бесшовных биопротезов. Следует отметить, что пациенты имели статистически значимое различие по ППТ, при этом ИМТ не отличался. В дальнейшем все же было принято решение не сравнивать данные группы между собой.

Необходимо заметить, что пациенты в группе TAVI не разделялись в зависимости от конкретной марки протеза.

Заключение

После коррекции АС с использованием как кардиохирургических, так и транскатетерных методов



в отдаленном периоде наблюдается обратное структурно-функциональное ремоделирование сердца: статистически значимо снизились ММЛЖ и концентричность гипертрофии ЛЖ.

Данный анализ дает основание для проведения дальнейших исследований с целью сравнения отдаленных результатов эндоваскулярного лечения с таковыми в сопоставимых группах пациентов с хирургическим лечением АС.

В группах пациентов с применением кардиохирургических методов в отдаленном периоде наблюдения отмечается улучшение продольной систолической функции ЛЖ, определяемой на основании абсолютных величин глобальной систолической продольной деформации. Показатель $S'_{\text{лат мк}}$ тканевой доплерографии статистически значимо улучшился у пациентов как с вшиваемыми и бесшовными биологическими протезами, так и с ТИАК

Восстановление систолической функции ЛЖ в отдаленном периоде, установленное на основании результатов выполнения 2D-speckle-tracking-ЭхоКГ, было диагностировано у 12 (60,0%) пациентов с шовными и бесшовными биологическими протезами.

Таким образом, коррекция тяжелого АС с использованием кардиохирургических и эндоваскулярных методов ассоциирована с благоприятными показателями внутрисердечной гемодинамики и обратным структурно-функциональным ремоделированием ЛЖ в отдаленном периоде послеоперационного наблюдения.

Участие авторов

Тарасевич С.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, ответственность за целостность всех частей статьи.

Жерко О.М. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Крачак Д.И. – обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи,

Галицкая С.С. – обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Tarasevich S.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, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Zherko O.M. – concept and design of the study, conducting research, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Krachak D.I. – review of publications, statistical analysis, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Galitskaya S.S. – review of publications, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Vahanian A., Beyersdorf F., Praz F. et al.; ESC/EACTS Scientific Document Group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* 2022; 43 (7): 561–632. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab395>
2. 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. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx391>
3. Астапов Д.А., Железнев С.И., Исаев М.В., Слепенко Е.В. Результаты протезирования аортального клапана биологическим протезом БиОЛАБ КА/ПТ у больных пожилого и старческого возраста. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2014; 7 (1): 54–55. Astapov D.A., Zheleznev S.I., Isayan M.V., Slepennok E.V. The results of aortic valve replacement by a bioprosthesis “Biolab KA/PT” in elderly patients. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2014; 7 (1): 54–59 (In Russian)
4. Cribier A. The development of transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *Glob. Cardiol. Sci. Pract.* 2016; 2016 (4): e201632. <https://doi.org/10.21542/gcsp.2016.32>
5. Pieske B., Tschöpe C., de Boer R.A. et al. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFA-PEFF diagnostic algorithm: a consensus recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur. Heart J.* 2019; 40 (40): 3297–3317. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz641>. Erratum in: *Eur. Heart J.* 2021; 42 (13): 1274. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa1016>
6. Тарасевич С.В., Жерко О.М., Галицкая С.С., Крачак Д.И., Комаровская Е.Г. Структурно-функциональное ремоделирование левого и правого желудочков после биопротезирования аортального клапана по поводу аортального стеноза. *Медицинские новости.* 2024; 9: 44–48. Tarasevich S.V., Zherko O.M., Galitskaya S.S. et al. Structural and functional remodeling of the left and right ventricles after bioprosthetic replacement of the aortic



valve for aortic stenosis. *Medical News*. 2024; 9: 44–48. (In Russian)

7. Тарасевич С.В., Жерко О.М., Крачак Д.И., Галицкая С.С. Отдаленные результаты применения вшиваемых биологических протезов у пациентов с аортальным стенозом. БГМУ в авангарде медицинской науки и практики: рецензируемый ежегодный сборник научных трудов: в 2-х томах. 2024; Вып. 14. Т. 1: Клиническая медицина: 208–214.

Tarasevich S.V., Zherko O.M., Krachak D.I., Galitskaya S.S. Long-term results of the use of suture biological valves in patients with aortic stenosis. *BSMU at the forefront of medical science and practice: peer-reviewed annual collection of scientific papers: in 2 volumes*. 2024. Issue 14. Vol. 1: Clinical medicine: 208–214. (In Russian)

8. Marsan N.A., Delgado V., Shah D.J. et al. Valvular heart disease: shifting the focus to the myocardium. *Eur. Heart J*. 2023; 44 (1): 28–40.
<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac504>

Для корреспонденции*: Тарасевич Светлана Владимировна – tarasevich-svetlana@yandex.by

Тарасевич Светлана Владимировна – врач ультразвуковой диагностики отделения функциональной диагностики ГУ “Республиканский клинический медицинский центр” Управления делами Президента Республики Беларусь, Минск. <https://orcid.org/0009-0003-8552-1103>

Жерко Ольга Михайловна – доктор мед. наук, доцент, заведующая кафедрой ультразвуковой диагностики УО “Белорусский государственный медицинский университет”, Минск. <https://orcid.org/0000-0001-5752-0988>

Крачак Дмитрий Иосифович – канд. мед. наук, заведующий отделом перспективных направлений высокотехнологичной медицинской помощи ГУ “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии”, Минск. <https://orcid.org/0000-0001-6770-4449>

Галицкая Светлана Сергеевна – канд. мед. наук, заместитель главного врача по лечебной части ГУ “Республиканский клинический медицинский центр” Управления делами Президента Республики Беларусь, Минск.

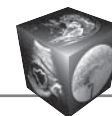
Contact*: Svetlana V. Tarasevich – tarasevich-svetlana@yandex.by

Svetlana V. Tarasevich – doctor of ultrasound diagnostics, department of functional diagnostics, Republican Clinical Medical Center of the Administration of the President of the Republic of Belarus, Minsk. <https://orcid.org/0009-0003-8552-1103>

Olga M. Zherko – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Ultrasound Diagnostics, Belarusian State Medical University, Minsk. <https://orcid.org/0000-0001-5752-0988>

Dmitry I. Krachak – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Prospective Areas of High-Tech Medical Care, Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, Minsk. <https://orcid.org/0000-0001-6770-4449>

Svetlana S. Galitskaya – Cand. of Sci. (Med.), Deputy Chief Physician for the Medical Department, Republican Clinical Medical Center of the Administration of the President of the Republic of Belarus, Minsk.



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1611>

“Матовое стекло” – от наблюдения к действию. Современный арсенал диагностики периферических очаговых образований в легких по типу “матового стекла”

© Лагкуева И.Д.*, Черниченко Н.В., Нуднов Н.В., Мурзин Я.Ю.,
Мельникова Н.В., Солодкий В.А.

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

Цель исследования: оценить возможности комбинированной методики бронхоскопии с щипцовой и щеточной биопсиями под КТ-контролем в режиме флюороскопии (SmartView Rx) с предварительной КТ-навигацией (КТн+БС+КТФ) в диагностике периферических очагов в легких по типу “матового стекла” до 3 см в максимальном измерении, определение диагностической значимости методик в установлении диагноза периферического рака легкого I стадии.

Материал и методы. В ходе проспективного исследования изучены данные результативности бронхо-биопсии под КТ-контролем в режиме флюороскопии с предварительной КТ-навигацией 32 пациентов с впервые выявленными очагами в легких по типу “матового стекла” до 3 см с подозрением на злокачественный процесс.

Результаты. Представлены результаты эффективности бронхоскопии с различными вариантами бронхо-биопсий под КТ-контролем в режиме флюороскопии с предварительной КТ-навигацией в диагностике периферических очагов в легких по типу “матового стекла”. Результативность процедуры для основной группы составила 62,5% против 21,1% в контрольной группе ($p = 0,006$), прирост +41,4%.

Заключение. Применение КТ-навигации и КТ-флюороскопии при бронхоскопии периферических очагов в легких по типу “матового стекла” повышает эффективность и точность диагностики, снижая при этом инвазивность процедуры. Бронхоскопия совместно с КТ-навигацией и КТ-флюороскопией может рассматриваться как метод выбора для морфологической верификации периферических очагов в легких по типу “матового стекла”.

Ключевые слова: бронхоскопия с бронхобиопсией; КТ-навигация; КТ-флюороскопия; очаги в легких по типу “матового стекла”; рак легкого

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Лагкуева И.Д., Черниченко Н.В., Нуднов Н.В., Мурзин Я.Ю., Мельникова Н.В., Солодкий В.А. “Матовое стекло” – от наблюдения к действию. Современный арсенал диагностики периферических очаговых образований в легких по типу “матового стекла”. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 73–80.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1611>

Поступила в редакцию: 27.10.2025.

Принята к печати: 28.10.2025.

Опубликована online: 7.12.2025.

Ground Glass Opacity: From Observation to Action. A modern diagnostic tool for peripheral focal ground glass opacity in the lungs

© Irina D. Lagkueva*, Natalya V. Chernichenko, Nikolay V. Nudnov,
Yaroslav Yu. Murzin, Nadezhda V. Melnikova, Vladimir A. Solodkiy

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



Aim: the article presents the results of the effectiveness of bronchoscopy with various options of bronchobiopsy under CT control in fluoroscopy mode with preliminary CT navigation in the diagnosis of peripheral foci in the lungs of the "ground glass" type.

To evaluate the capabilities of a combined technique of bronchoscopy with forceps and brush biopsies under CT control in fluoroscopy mode (SmartView Rx) with preliminary CT navigation (CTn+BS+CTf) in the diagnosis of peripheral lesions in the lungs of the "ground glass" type up to 3 cm in maximum dimension, in particular for the detection of stage 1 lung cancer.

Materials and methods. In a prospective study, the effectiveness of CT-guided bronchobiopsy in fluoroscopy mode with preliminary CT navigation was examined in 32 patients with newly detected ground-glass opacity lesions up to 3 cm in the lungs with suspected malignancy.

Results. This article presents the effectiveness of bronchoscopy with various CT-guided bronchobiopsy options using fluoroscopy and preliminary CT navigation in the diagnosis of peripheral ground-glass pulmonary lesions. The effectiveness of the procedure in the study group was 62.5% versus 21.1% in the control group ($p = 0.006$), an increase of +41.4%.

Conclusion. The use of CT navigation and CT fluoroscopy in bronchoscopy of peripheral ground-glass pulmonary lesions improves diagnostic efficiency and accuracy while reducing the invasiveness of the procedure. Bronchoscopy combined with CT navigation and CT fluoroscopy can be considered the method of choice for morphological verification of peripheral ground-glass pulmonary lesions.

Keywords: bronchoscopy with bronchobiopsy; CT navigation; CT fluoroscopy; ground glass lesions in the lungs; lung cancer

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

For citation: Lagkueva I.D., Chernichenko N.V., Nudnov N.V., Murzin Ya.Yu., Melnikova N.V., Solodkiy V.A. Ground Glass Opacity: From Observation to Action. A modern diagnostic tool for peripheral focal ground glass opacity in the lungs. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 73–80. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1611>

Received: 27.10.2025.

Accepted for publication: 28.10.2025.

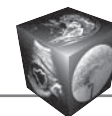
Published online: 7.12.2025.

Введение

Компьютерная томография (КТ) является методом выбора первой линии при исследовании очаговых образований легких [1]. Ее роль особенно возросла после введения в практику контрастных средств, которые повышают качество изображений и дают более полный спектр информации [2, 3]. Тем не менее все еще не до конца решен вопрос дифференциальной диагностики округлых образований легких, в частности очагов по типу "матового стекла", ключевым моментом в отношении которых является вопрос о злокачественности процесса.

Выявляемость небольших очаговых образований легких ввиду широкого применения КТ увеличилась. В РФ и других странах существует ряд алгоритмов диагностики при выявлении очагов в легких, такие как методические рекомендации по скринингу рака легкого, Lung Imaging Reporting and Data System (Lung-RADS 1.1), рекомендации Флейшнеровского сообщества по анализу случайно выявленных легочных очагов, тактика ведения очагов в легких Британского торакального общества [4–7]. Представленные алгоритмы ориентируются только на размер и структуру очага, предлагают динамическое наблюдение для ряда пациентов. Однако при наличии онкологического процесса наблюдение и затягивание начала лечения ведут к росту стадии заболевания на момент окончательной диагностики и, соответственно, ухудшению выживаемости больных [8].

Очаги по типу "матового стекла" встречаются реже в сравнении с солидными и субсолидными очагами, однако потенциально более злокачественны [9]. По данным КТ очаги по типу "матового стекла" включают широкий спектр различных патологических состояний – от воспаления до рака легкого, могут являться различными вариантами аденокарцином (атипичная аденоматозная гиперплазия, аденокарцинома *in situ*: немучинозная, муцинозная, со стелющимся типом роста (lepidic), ацинарная, папиллярная, микропапиллярная, солидная, инвазивная муцинозная, смешанная инвазивная муцинозная и немучинозная, коллоидная, фетальная, кишечного типа). Так, атипичная аденоматозная гиперплазия визуализируется преимущественно в виде "матового стекла", имеет овальную или округлую форму, чаще менее 5 мм в диаметре, редко более 10 мм. Очаги атипичной аденоматозной гиперплазии могут быть одиночными, но зачастую множественные и билатеральные. [10, 11]. Аденокарцинома *in situ* – чаще "матовое стекло" от 5 до 30 мм [12, 13]. Минимально инвазивная аденокарцинома – "матовое стекло" или частично-солидный узел, при этом солидный компонент чаще менее 5 мм [12, 14]. Инвазивная аденокарцинома может быть как в виде "матового стекла", так и солидного и частично солидного узла. Инвазивная муцинозная аденокарцинома представлена различным спектром структур (мультифокальные одно- и двусто-



ронные уплотнения, узлы по типу “матового стекла”, солидной и частично-солидной структуры с бронхогенным распространением) [15, 16].

Окончательный диагноз в ряде случаев при очагах по типу “матового стекла” возможно установить только на основании изучения биопсийного материала, получение которого возможно при бронхоскопии – первого метода малоинвазивной диагностики, результативность которого резко возрастает при комбинированном применении с различными навигационными методиками.

Цель исследования: оценка возможностей комбинированной методики бронхоскопии с щипцовой и щеточной биопсиями под КТ-контролем в режиме флюороскопии (SmartView Rx) с предварительной КТ-навигацией (КТн+БС+КТФ) в диагностике периферических очагов в легких по типу “матового стекла” до 3 см в максимальном измерении для повышения результативности и сокращения сроков установки диагноза рака легкого I стадии.

Материал и методы

В ходе проспективного исследования за период 2024–2025 гг. изучены данные результативности бронхобиопсии под КТ-контролем в режиме флюороскопии с предварительной КТ-навигацией 32 пациентов с очагами в легких по типу “матового стекла” до 3 см в максимальном измерении, у которых не представляется возможным исключить злокачественный характер изменений. Для сравнения проведен ретроспективный анализ результативности бронхоскопии без применения навигационных методов у 38 пациентов за период 2015–2018 гг. с аналогичными изменениями в легких. Всем пациентам из исследуемой группы при планировании бронхоскопии была выполнена КТн по описанной ранее методике для определения топики очага, идентификации “приводящего” бронха, выделения оптимального маршрута до зоны интереса. Бронхоскопия под КТ-контролем (SmartView Rx) проводилась на 128-срезовом компьютерном томографе фирмы “General Electric” “Optima CT 660” с флюороскопической установкой. Проводились цитологические, иммуноцитохимические, в ряде случаев гистологические и иммуногистохимические исследования. Проведен статистический анализ, во всех случаях результат считался статистически значимым ($p < 0,05$).

Результаты исследования

Сложность выполнения диагностически значимой бронхоскопии заключается в отсутствии визуализации бронхов дистальнее 4–5-го уровня

деления бронхиального дерева. Результативность процедуры зависит от ряда факторов, таких как размеры, топика, взаимосвязь очага с бронхом. Задача дополнительно усложняется в случаях, когда материал необходимо получить из очага по типу “матового стекла”. Так как патоморфологически эти изменения характеризуются низкой клеточной плотностью, если они обусловлены злокачественным поражением, зачастую дают ложноотрицательные результаты при стандартной биопсии – опухоль имеет стеющийся рост вдоль стенок альвеол и бронхов, степень нарушения архитектуры которых, зависит от стадии заболевания. Данные вопросы мы попытались решить за счет тройной комбинации лучевых и эндоскопических методов.

На первом этапе пациентам из обеих групп проведена КТн с целью определения визуализации “приводящего” бронха (рис. 1).

При наличии визуализации “приводящего” бронха определен тип взаимосвязи согласно классификации Е. Tsuboi 1967 г. (рис. 2) [17].

У 21 (65,6%) из 32 пациентов из основной группы визуализировался “приводящий” к очагу бронх. Не визуализирован у 11 (34,3%). У 21 (55,2%) из 38 пациентов контрольной группы визуализировался “приводящий” к очагу бронх. Не визуализирован у 17 (44,7%) (табл. 1).

На втором этапе пациентам из исследуемой группы на основании полученных ранее данных выполнена бронхоскопия с различными вариантами бронхобиопсий (щипцовая и щеточная) из очагов по типу “матового стекла” под КТ-контролем в режиме флюороскопии. При контрольном сканировании наиболее удобным для просмотра в режиме реального сканирования представлялся легочный режим, позволяющий визуализировать как очаги, так и положение бронхоскопических инструментов относительно последних. С целью повышения результативности бронхобиопсии в 6 сложных клинических ситуациях врач-патоморфолог присутствовал при исследовании для проведения срочного цитологического исследования. В случае отсутствия диагностически значимого материала биопсия проводилась повторно (кратность манипуляции не превышала трех раз). Проведенный сравнительный анализ выявил статистически значимое превосходство комбинированного метода (бронхоскопия с КТ-навигацией и интраоперационной КТ-флюороскопией) над традиционным подходом в диагностике очагов по типу “матового стекла” ($p < 0,05$).

Результативность процедуры для основной группы составила 62,5% против 21,1% в контрольной

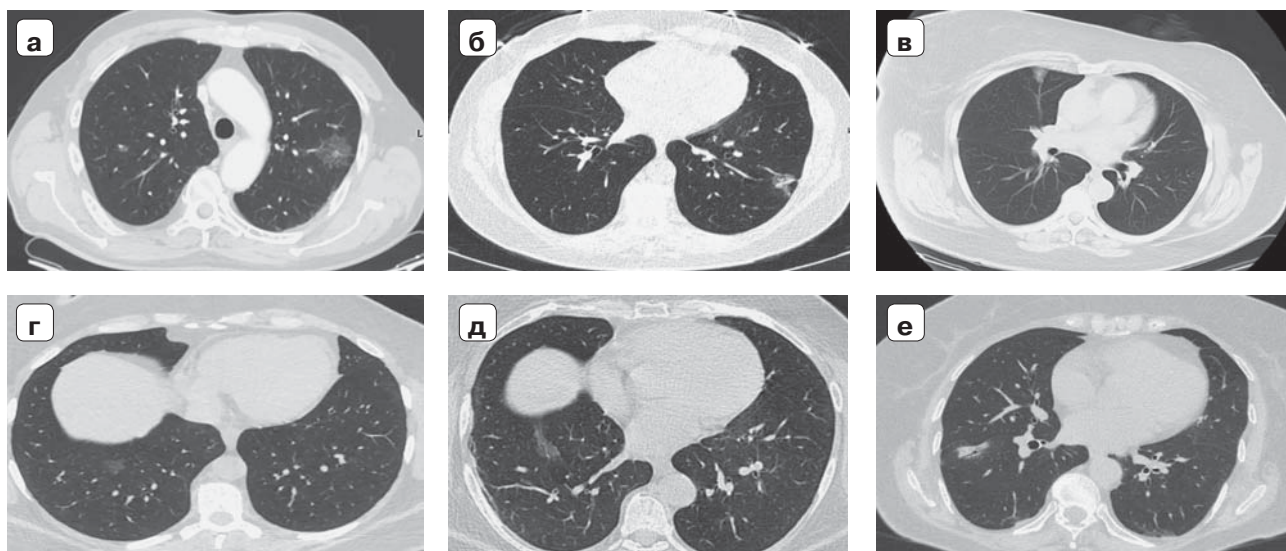


Рис. 1. Высокоразрешающая компьютерная томография. Легочное окно. Аксиальная плоскость.
а – в С1 левого легкого очаг по типу “матового стекла”, “приводящий” бронх визуализирован. Верифицированная аденокарцинома легкого;
б – в С9 левого легкого очаг по типу “матового стекла”, “приводящий” бронх визуализирован. Верифицированная аденокарцинома легкого;
в – в С3 правого легкого очаг по типу “матового стекла”, “приводящий” бронх не визуализирован. Верифицированная аденокарцинома легкого;
г – в С8 правого легкого очаг по типу “матового стекла”, “приводящий” бронх не визуализирован. Верифицированная аденокарцинома легкого;
д – в С9 правого легкого очаг по типу “матового стекла”, “приводящий” бронх не визуализирован. Верифицированная аденокарцинома легкого;
е – в С8 правого легкого очаг по типу “матового стекла”, “приводящий” бронх визуализирован. Верифицированная аденокарцинома легкого.

Fig. 1. High-resolution computed tomography. Pulmonary window. Axial plane.
а – in C1 of the left lung, a ground-glass lesion, the afferent bronchus is visualized. Verified lung adenocarcinoma;
б – in C9 of the left lung, a ground-glass lesion, the afferent bronchus is visualized. Verified lung adenocarcinoma;
в – in C3 of the right lung, a ground-glass lesion, the afferent bronchus is not visualized. Verified lung adenocarcinoma;
г – in C8 of the right lung, a ground-glass lesion, the afferent bronchus is not visualized. Verified lung adenocarcinoma;
д – in the C9 section of the right lung, a ground-glass lesion is present; the afferent bronchus is not visualized. Verified lung adenocarcinoma;
е – in the C8 section of the right lung, a ground-glass lesion is present; the afferent bronchus is visualized. Verified lung adenocarcinoma.

Рис. 2. Типы взаимоотношений образований с дренирующим бронхом. Из оригинальной статьи Е. Tsuboi, 1967 г. [17]. I – просвет бронха заканчивается образованием; II – бронх “захвачен” образованием, сдавлен, слизистая бронха поражена; III – бронх прилежит к образованию, сдавлен и сужен, слизистая интактна; IV – перибронхиальное распространение образования со сдавлением просвета бронха проксимальнее.

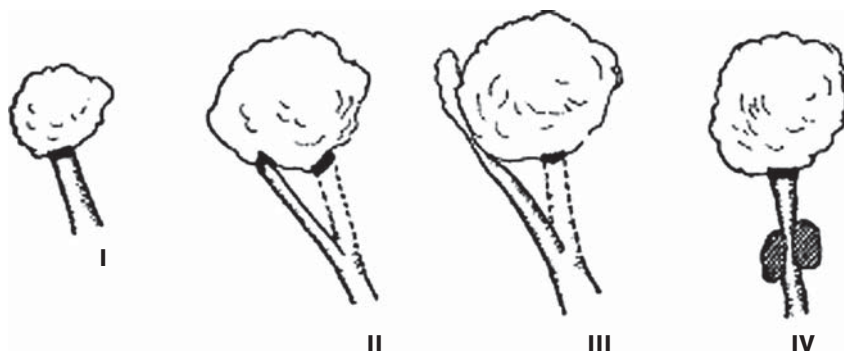


Fig. 2. Types of relationships between formations and the draining bronchus. From the original article by Tsuboi E., 1967 [17]. I – the bronchial lumen ends with the formation; II – the bronchus is “captured” by the formation, compressed, and the bronchial mucosa is damaged; III – the bronchus is adjacent to the formation, compressed and narrowed, and the mucosa is intact; IV – peribronchovascular extension of the formation with compression of the bronchial lumen proximally.

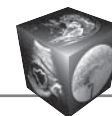


Таблица 1. Сравнительная таблица очагов в легких по типу “матового стекла” в зависимости от визуализации “приводящего” бронха

Table 1. Comparative table of ground glass lesions in the lungs depending on the visualization of the afferent bronchus

Визуализация бронха Visualization of the bronchus	Исследуемая группа Study group (n = 32)	Контрольная группа Control group (n = 38)	p-value
Визуализирован Visualized	21 (65.6%)	21 (55.2%)	0.06
Не визуализирован Not visualized	11 (34.3%)	17 (44.7%)	0.06

Таблица 2. Сравнительная таблица результативности биопсии очагов в легких по типу “матового стекла”

Table 2. Comparative table of the effectiveness of biopsy of lung lesions by the ground glass type

	Исследуемая группа Study group	Контрольная группа Control group	p-value
Очаг “матового стекла”, n Ground-glass opacity, n	32	38	
Успешные биопсии, n Successful biopsies, n	20	8	
Результативность, % Efficiency, %	62.5%	21.1%	0.006

Таблица 3. Распределение морфологических диагнозов

Table 3. Distribution of morphological diagnoses

Диагноз Diagnosis	Исследуемая группа Study group (n = 20)	Контрольная группа Control group (n = 8)
Злокачественные новообразования Malignant neoplasms	13 (65%)	6 (75%)
Аденокарцинома Adenocarcinoma	12 (60%)	4 (50%)
Атипическая аденоматозная гиперплазия Atypical adenomatous hyperplasia	1	0
Аденокарцинома <i>in situ</i> Adenocarcinoma <i>in situ</i>	1	0
Минимально инвазивная аденокарцинома Minimally invasive adenocarcinoma	2	1
Инвазивная аденокарцинома Invasive adenocarcinoma	6	3
Инвазивная муцинозная аденокарцинома Invasive mucinous adenocarcinoma	2	0
Метастазы Metastases	1	2
Доброкачественные образования Benign neoplasms	7 (35%)	2 (25%)
Воспалительные/поствоспалительные изменения Inflammatory/post-inflammatory changes	6	2
Узловая лимфоидная гиперплазия Nodular lymphoid hyperplasia	1	0

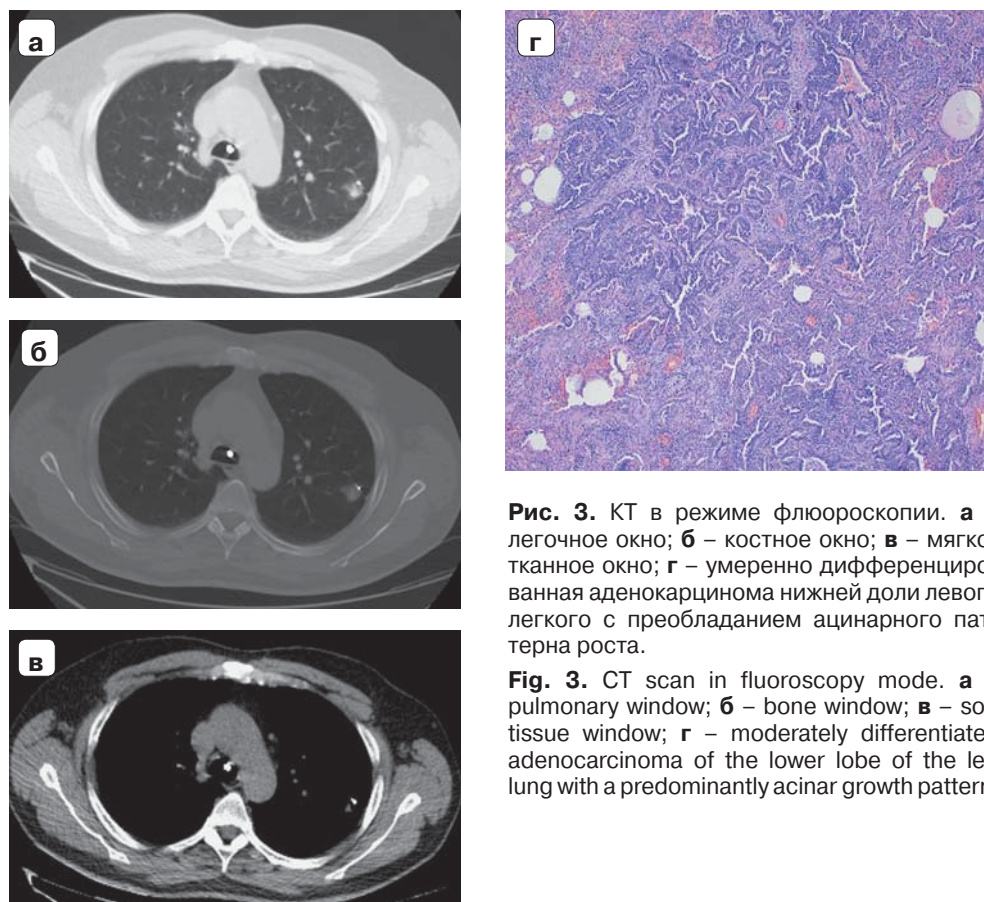


Рис. 3. КТ в режиме флюороскопии. **а** – легочное окно; **б** – костное окно; **в** – мягкотканное окно; **г** – умеренно дифференцированная аденокарцинома нижней доли левого легкого с преобладанием ацинарного паттерна роста.

Fig. 3. CT scan in fluoroscopy mode. **a** – pulmonary window; **б** – bone window; **в** – soft tissue window; **г** – moderately differentiated adenocarcinoma of the lower lobe of the left lung with a predominantly acinar growth pattern.

ной группе ($p = 0,006$), прирост +41,4% (табл. 2). Осложнений в ходе исследования выявлено не было.

Подавляющее большинство очагов (65%) в исследуемой группе оказалось по данным цитологического исследования злокачественного характера. Из них 92,1% различные гистологические подтипы аденокарциномы. В обеих группах преобладает инвазивная аденокарцинома – 6 (50%) случаев в исследуемой группе и 3 (75%) – в контрольной группе. Доброкачественные изменения в исследуемой группе составили 35%, среди них 6 случаев воспалительных/поствоспалительных изменений и 1 случай узловой лимфоидной гиперплазии. В контрольной группе 6 (75%) злокачественных очагов и 2 (25%) случая очагов доброкачественного характера – воспалительные/поствоспалительные изменения (табл. 3).

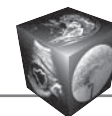
Клиническое наблюдение

Пациент А., 57 лет. По месту жительства выполнена КТ органов грудной клетки, по результатам которой в С1+2 левого легкого выявлен очаг по типу “матового стекла”. Пациент в плане дообследования обратился

в РНЦРР. При пересмотре КТ-данных в периферической зоне С1+2 левого легкого определяется очаг по типу “матового стекла” с “подходящим” бронхом. Предположен злокачественный характер очага. С целью верификации изменений в легком выполнена бронхоскопия с бронхобипсией очага под КТ-контролем в режиме флюороскопии и предварительной КТ-навигацией. По данным КТн определена трасса до зоны интереса. Получен материал. По данным исследования – клетки аденокарциномы легкого (рис. 3).

Обсуждение

Мультимодальный подход к проблеме диагностики очагов в легких по типу “матового стекла” с применением современных методов позволяет установить диагноз в более сжатые сроки. Материал, полученный при биопсии легкого, должен быть репрезентативным, позволяющим выполнить полноценное морфологическое исследование. В случае злокачественного характера изменений установление диагноза на ранней стадии позволяет провести радикальное лечение, что повлияет на показатели выживаемости и качество жизни больных.



Заключение

Комбинированный метод бронхоскопии с КТ-навигацией и КТ-флюороскопией продемонстрировал высокую эффективность в диагностике периферических очагов в легких по типу “матового стекла” при минимальной инвазивности процедуры. Комбинированный метод может рассматриваться как метод выбора для верификации периферических очаговых образований в легких по типу “матового стекла”.

Участие авторов

Лагкуева И.Д., Черниченко Н.В. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных.

Мельникова Н.В., Мурзин Я.Ю., Нуднов Н.В. – правка и редактирование статьи.

Солодкий В.А. – концепция и дизайн исследования.

Authors' contributions

Lagkueva I.D., Chernichenko N.V. – concept and design of the study, conducting the study, collecting and processing data, reviewing publications on the topic of the article, analysis and interpretation of the data obtained.

Melnikova N.V., Murzin Ya.Yu., Nudnov N.V. – editing and editing of the article.

Solodkiy V.A. – concept and design of the study.

Список литературы [References]

1. Agrawal S., Goel A.D., Gupta N., Lohiya A. Role of low dose computed tomography on lung cancer detection and mortality – an updated systematic review and meta-analysis. *Monaldi Arch. Chest. Dis.* 2022; 93 (1). <http://doi.org/10.4081/monaldi.2022.2284>
2. Chen C., Ou X., Li H. et al. Contrast-Enhanced CT Texture Analysis: a New Set of Predictive Factors for Small Cell Lung Cancer. *Mol. Imaging Biol.* 2020; 22 (3): 745–751. <http://doi.org/10.1007/s11307-019-01419-1>
3. Ye X., Chen S., Tian Y. et al. A preliminary exploration of the intravoxel incoherent motion applied in the preoperative evaluation of mediastinal lymph node metastasis of lung cancer. *J. Thorac. Dis.* 2017; 9 (4): 1073–1080. <http://doi.org/10.21037/jtd.2017.03.110>
4. Гомболевский В.А., Блохин И.А., Лайпан А.Ш. и др. Методические рекомендации по скринингу рака легкого. Серия “Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики”. ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”. 2020; 56: 60. ISSN 2618-7124. <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/metodicheskie-rekomendacii-po-skriningu-raka-legkogo?ysclid=mhkb9jn7jr510620244>
Gombolevisky V.A., Blokhin I.A., Laipan A.S. et al. Methodological recommendations for lung cancer screening Series “Best practices of radiation and instrumental diagnostics”. GBUZ “NPCC DiT DZM”. 2020; 56: 60. ISSN 2618-7124. <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/metodicheskie-rekomendacii-po-skriningu-raka-legkogo?ysclid=mhkb9jn7jr510620244> (In Russian)
5. Петросян А.П., Силантьева Н.К., Шавладзе З.Н., Березовская Т.П., Агабабян Т.А. Использование терминов “очаг” и “образование” в протоколах описания компьютерно-томографических исследований легких (обзор литературы). *Радиология–практика.* 2018; 2: 56–66.
6. Farjah F., Monsell S.E., Smith-Bindman R. et al. Fleischner Society Guideline Recommendations for Incidentally Detected Pulmonary Nodules and the Probability of Lung Cancer. *J. Am. Coll. Radiol.* 2022; 19 (11): 1226–1235. <http://doi.org/10.1016/j.jacr.2022.06.018>
7. Martin M.D., Kanne J.P., Broderick L.S. et al. RadioGraphics Update: Lung-RADS 2022. *Radiographics.* 2023; 43 (11): e230037. <http://doi.org/10.1148/rg.230037>
8. Zhu Y., Yang L., Li Q. et al. Factors associated with concurrent malignancy risk among patients with incidental solitary pulmonary nodule: A systematic review taskforce for developing rapid recommendations. *J. Evid. Based. Med.* 2022; 15 (2): 106–122. <http://doi.org/10.1111/jebm.12481>
9. Mazzone P.J., Lam L. Evaluating the Patient With a Pulmonary Nodule: A Review. *JAMA.* 2022; 327 (3): 264–273. <http://doi.org/10.1001/jama.2021.24287>
10. Nguyen C., Larsen N.K., Dietz N. et al. Pulmonary Atypical Adenomatous Hyperplasia: Diagnostic and Therapeutic Implications. *Cureus.* 2019; 11 (11): e6079. <http://doi.org/10.7759/cureus.6079>
11. Kakinuma R., Ohmatsu H., Kaneko M. et al. Progression of focal pure ground-glass opacity detected by low-dose helical computed tomography screening for lung cancer. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2004; 28 (1): 17–23. <http://doi.org/10.1097/00004728-200401000-00003>
12. Cohen J.G., Raymond E., Lederlin M. et al. Differentiating pre- and minimally invasive from invasive adenocarcinoma using CT-features in persistent pulmonary part-solid nodules in Caucasian patients. *Eur. J. Radiol.* 2015; 84 (4): 738–744. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.12.031>
13. Cao L., Wang Z., Gong T. et al. Discriminating between bronchiolar adenoma, adenocarcinoma in situ and minimally invasive adenocarcinoma of the lung with CT. *Diagn. Interv. Imaging.* 2020; 101 (12): 831–837. <http://doi.org/10.1016/j.diii.2020.05.005>
14. Mirka H., Ferda J., Krakorova G. et al. The Use of CT Pattern in Differentiating Non-invasive, Minimally Invasive and Invasive Variants of Lung Adenocarcinoma. *Anticancer Res.* 2021; 41 (9): 4479–4482. <http://doi.org/10.21873/anticancer.15257>
15. Sun Y.L., Gao F., Gao P. et al. Diagnostic value of contrast-enhanced CT scans in identifying lung adenocarcinomas manifesting as ground glass nodules. *Chinese J. Oncol.* 2018. 40 (7): 534–538. <http://doi.org/10.3760/cma.j.isn.0253-3766.2018.07.010>
16. Ban X., Shen X., Hu H. et al. Predictive CT features for the diagnosis of primary pulmonary mucoepidermoid carcinoma: comparison with squamous cell carcinomas and adenocarcinomas. *Cancer Imaging.* 2021; 21 (1): 2. <http://doi.org/10.1186/s40644-020-00375-2>
17. Tsuboi E., Ikeda S., Tajima M. et al. Transbronchial biopsy smear for diagnostic of peripheral pulmonary carcinomas. *Cancer.* 1967; 20 (5): 687–698. [http://doi.org/10.1002/097-0142\(1967\)20:5<687::aid-cnrcr2820200521>3.0.co;2-k](http://doi.org/10.1002/097-0142(1967)20:5<687::aid-cnrcr2820200521>3.0.co;2-k)



Для корреспонденции*: Лагуева Ирина Джабраиловна – e-mail: ilagkueva@mail.ru

Лагуева Ирина Джабраиловна – канд. мед. наук, заведующая отделением рентгеновской диагностики с кабинетами рентгеновской и магнитно-резонансной компьютерной томографии ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9732-7170>. E-mail: ilagkueva@mail.ru

Черниченко Наталья Васильевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела хирургии и хирургических технологий в онкологии ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6674-8869>. E-mail: avnvma@mail.ru

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Мурзин Ярослав Юрьевич – доктор мед. наук, врач торакальный хирург отделения хирургических методов лечения и противоопухолевой лекарственной терапии опухолей головы и шеи с койками торакальной онкологии хирургии и сосудистой хирургии ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. E-mail: murziny@list.ru

Мельникова Надежда Васильевна – канд. мед. наук, заведующая цитологической лабораторией патологоанатомического отделения ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1193-352X>. E-mail: n_melnikova@list.ru

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, профессор, доктор мед. наук, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Contact*: Irina D. Lagkueva – e-mail: ilagkueva@mail.ru

Irina D. Lagkueva – Cand. of Sci. (Med.), Head of the X-ray Diagnostics Department with X-ray and Magnetic Resonance Computed Tomography Rooms, Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9732-7170>. E-mail: ilagkueva@mail.ru

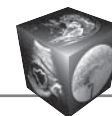
Natalya V. Chernichenko – Doct. of Sci. (Med.), Leading Researcher, Department of Surgery and Surgical Technologies in Oncology, Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6674-8869>. E-mail: avnvma@mail.ru

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Yaroslav Yu. Murzin – Doct. of Sci. (Med.), Thoracic surgeon, Department of surgical methods of treatment and antitumor drug therapy of head and neck tumors with beds for thoracic oncology surgery and vascular surgery, Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. E-mail: murziny@list.ru

Nadezhda V. Melnikova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Laboratory of Cytology at the Pathology Department, Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1193-352X>. E-mail: n_melnikova@list.ru

Vladimir A. Solodkiy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doct. of Sci. (Med.), Director of the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1579>

Оценка возможностей машинного обучения в радиомике для прогнозирования риска развития клинически значимых панкреатических фистул после панкреатодуоденальных резекций на КТ-изображениях

© Кондратьев Е.В.¹, Мазурок А.В.^{1*}, Усталов А.А.¹, Шмелева С.А.¹,
Стручков В.Ю.¹, Марков П.В.¹, Сеницын В.Е.²

¹ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”; 119991 Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация

Несмотря на снижение летальности при панкреатодуоденальных резекциях (ПДР), частота послеоперационных осложнений остается высокой (20–60%). Одним из наиболее грозных осложнений является послеоперационная панкреатическая фистула. Прогнозирование рисков развития осложненного послеоперационного периода остается актуальной проблемой. Одним из ключевых факторов риска признана структура поджелудочной железы, при этом современные подходы в предсказании возникновения клинически значимого панкреатического свища интегрируют не только морфологические, но и радиомические параметры КТ-изображений с использованием методов искусственного интеллекта.

Цель исследования: оценка возможностей машинного обучения в радиомике для прогнозирования клинически значимых панкреатических фистул после ПДР и разработка системы поддержки врачебных решений на базе платформы “Виртуальная биопсия”.

Материал и методы. Ретроспективно проанализированы данные 117 пациентов, перенесших ПДР (2016–2019 гг.) в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского. Методами машинного обучения исследованы текстурные показатели предоперационных компьютерных томограмм.

Результаты. У 31 (26,5%) пациента зафиксированы клинически значимые панкреатические фистулы. Возрастных различий между группами с осложнениями и без них не выявлено ($p < 0,022$). У 11 (9,4%) пациентов диагностирован клинически значимый свищ, у 20 (17,1%) – его сочетание с аррозивным кровотечением. Пик фистул отмечен на 4–6-е сутки, кровотечений – на 8–14-е сутки. Радиомическая модель AdaBoost показала наивысшую эффективность (ROC AUC = 0,815), превзойдя альтернативные подходы: Gradient Boosting (0,631), XGBoost (0,677), LightGBM (0,631) и Stacking (0,662). Интеграция морфологических признаков не улучшила прогностическую способность, вероятно, из-за зашумления данных. Модели на основе семантических параметров (макс. ROC AUC = 0,653) подтвердили ограниченную клиническую применимость.

Заключение. Методы машинного обучения эффективны в прогнозировании клинически значимых панкреатических фистул после панкреатодуоденальных резекций. Данные радиомического анализа позволяют расширить диагностические возможности методики КТ, показывая превосходство в метриках точности моделей над классическими семантическими в отдельности.

Ключевые слова: радиомика; текстурный анализ; поджелудочная железа; панкреатодуоденальная резекция; машинное обучение; панкреатический свищ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кондратьев Е.В., Мазурок А.В., Усталов А.А., Шмелева С.А., Стручков В.Ю., Марков П.В., Сеницын В.Е. Оценка возможностей машинного обучения в радиомике для прогнозирования риска развития клинически значимых панкреатических фистул после панкреатодуоденальных резекций на КТ-изображениях. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 81–93. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1579>

Поступила в редакцию: 18.06.2025. **Принята к печати:** 27.06.2025. **Опубликована online:** 31.10.2025.



Assessment of machine learning in radiomics for predicting the risk of clinically significant pancreatic fistulas after pancreatoduodenal resections using CT imaging

© Evgeny V. Kondratyev¹, Alina V. Mazurok^{1*}, Andrey A. Ustalov¹, Sofia A. Shmeleva¹, Vladimir Y. Struchkov¹, Pavel V. Markov¹, Valentin E. Sinitsyn²

¹ 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

² Lomonosov Moscow State University; GSP-1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russian Federation

Despite the reduction in mortality after pancreatoduodenal resections, the incidence of postoperative complications remains high (20–60%). One of the most severe complications is postoperative pancreatic fistula. Predicting the risks of a complicated postoperative period remains an urgent problem. One of the key risk factors is the pancreatic structure, and modern approaches to predicting clinically relevant pancreatic fistula integrate not only morphological but also radiomic parameters of CT images using artificial intelligence methods.

Aim. To evaluate the potential of machine learning in radiomics for predicting clinically relevant pancreatic fistulas after pancreatoduodenal resection and to develop a clinical decision support system based on the “Virtual Biopsy” platform.

Methods. Retrospective analysis of data from 117 patients who underwent pancreatoduodenal resection (2016–2019) at the A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery. Machine learning methods were applied to assess textural features of preoperative CT scans.

Results. Clinically relevant pancreatic fistulas were recorded in 31 patients (26.5%). Clinically significant fistula alone was diagnosed in 11 patients (9.4%), while its combination with erosive bleeding was observed in 20 patients (17.1%). The peak incidence of fistulas occurred on days 4–6, and of bleeding on days 8–14. The radiomic AdaBoost model demonstrated the highest efficacy (ROC AUC = 0.815), outperforming alternative approaches: Gradient Boosting (0.631), XGBoost (0.677), LightGBM (0.631), and Stacking (0.662). Integration of morphological features did not improve predictive capability, likely due to data noise. Models based on semantic parameters (max. ROC AUC = 0.653) confirmed limited clinical applicability.

Conclusion. Machine learning methods are effective in predicting clinically relevant pancreatic fistulas after pancreatoduodenal resections. Radiomic analysis extends the diagnostic potential of CT, demonstrating superior model accuracy metrics compared to classical semantic features alone.

Keywords: machine learning; image processing, computer-assisted; pancreatic fistula; pancreatoduodenectomy; tomography, X-ray computed

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

For citation: Kondratyev E.V., Mazurok A.V., Ustalov A.A., Shmeleva S.A., Struchkov V.Y., Markov P.V., Sinitsyn V.E. Assessment of machine learning in radiomics for predicting the risk of clinically significant pancreatic fistulas after pancreatoduodenal resections using CT imaging. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 81–93. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1579>

Received: 18.06.2025.

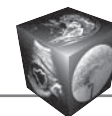
Accepted for publication: 27.06.2025.

Published online: 31.10.2025.

Введение

Развитие хирургической панкреатологии в последние десятилетия демонстрирует положительную динамику – снижение риска неблагоприятных исходов резекции поджелудочной железы, в том числе послеоперационных осложнений. В последние 20 лет летальность после панкреатодуоденальной резекции (ПДР) составляет 2–5% [1], тогда как в 90-х годах XX века этот показатель достигал 16–25% [2–4]. В высокоспециализированных

хирургических центрах показатель летальности в настоящее время находится на уровне 1–1,5% [5]. Текущие тенденции показывают, что, несмотря на снижение послеоперационной летальности, частота осложнений остается высокой – 30–50% при ПДР и 22–50% при дистальных резекциях [6]. Наиболее серьезными специфическими осложнениями после ПДР являются послеоперационная панкреатическая фистула и кровотечение, традиционно ассоциирующиеся с высокой летальностью и длительной госпитализацией [7].



Несмотря на прогресс в хирургической панкреатологии, вопросы, связанные с прогнозированием и управлением рисками послеоперационных осложнений, остаются нерешенной проблемой.

Согласно классификации Международной группы по изучению панкреатических свищей (ISGPS), послеоперационная панкреатическая фистула (ПОПФ) диагностируется при наличии панкреатогенного отделяемого с уровнем амилазы, превышающим ее содержание в сыворотке крови в 3 раза на 3-и и более сутки после операции [8]. В 2005 г. было выделено три типа свищей: Grade A (бессимптомный), Grade B (осложнения без необходимости хирургического вмешательства) и Grade C (тяжелые осложнения, требующие хирургической коррекции) [9]. После пересмотра классификации в 2016 г. Grade A была переименована в “биохимическую несостоятельность”, а клинически значимыми свищами остались Grade B и C [10].

Факторами риска послеоперационных осложнений после ПДР являются возраст пациента [11], сердечно-сосудистые заболевания [12] и/или сахарный диабет в анамнезе [13], гендерная принадлежность [13], длительность оперативного вмешательства. В числе факторов риска послеоперационных осложнений, в том числе панкреатической фистулы, определены и характеристики поджелудочной железы – “мягкая” структура (консистенция паренхимы, определяемая хирургом пальпаторно во время операции) и морфологические характеристики железы (толщина, диаметр протока) по данным КТ с контрастным усилением [14–16], степень жировой инфильтрации и фиброза по данным МРТ [17, 18], высокая ферментативная активность железы [19, 20].

Особое внимание уделяется структуре поджелудочной железы, которая является ключевым фактором риска. Дооперационная оценка структуры железы позволяет выделить группы риска и оптимизировать дальнейшие профилактические и лечебные мероприятия.

Исследования различных авторов направлены на оценку структуры поджелудочной железы с использованием КТ как без контрастного препарата [21–23], так и с его применением, анализируя распределение контрастного препарата в паренхиме [24].

Некоторые исследователи предлагают использовать данные МРТ для оценки жировой инфильтрации, фиброза и прогнозирования риска осложнений [17, 18].

Многие авторы отмечают, что “мягкая” структура железы является ключевым фактором риска послеоперационных осложнений, способствуя

развитию панкреатической фистулы и связанных с ней других осложнений. Высокая ферментативная активность, обусловленная большим количеством сохранных ацинусов, способствует развитию частичной несостоятельности панкреатикоеюноанастомоза с последующим парапанкреатическим распространением секрета поджелудочной железы [19, 20].

Ранее в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского нами было проведено исследование, оценивающее роль КТ с контрастным усилением в прогнозировании панкреатических свищей после резекций поджелудочной железы. В ходе исследования были выявлены значимые факторы риска: толщина железы $> 17,5$ мм, диаметр протока $< 3,25$ мм, плотность $< 39,5$ HU, а также коэффициенты накопления (КН) контраста в различных фазах. Например, $КН_{вен.} < 0,7$ связан с панкреатитом, а $КН_{выд.} > 0,54$ указывает на риск развития свищей. Эти параметры позволяют выделить пациентов с повышенным риском осложнений, что подчеркивает важность дооперационной КТ с контрастированием для улучшения прогнозирования [14–16].

Современная медицина требует разработки новых диагностических подходов для прогнозирования послеоперационных осложнений на дооперационном этапе. Одним из перспективных направлений является радиомика – метод анализа медицинских изображений, основанный на извлечении и интерпретации радиомических признаков, таких как текстурные, объемные и геометрические характеристики. Эти признаки отражают распределение значений пикселей или вокселей в изображении и могут быть использованы для диагностики, прогноза и лечения заболеваний [25].

Интеграция методов искусственного интеллекта, в частности машинного обучения, позволяет значительно повысить точность и воспроизводимость радиомического анализа [26]. Самостоятельно разрабатывая алгоритм для обработки предоставленных данных, система непрерывно обучается, опираясь на предыдущий опыт, тем самым увеличивая точность алгоритма. С помощью методов машинного обучения появляется возможность анализа большого объема данных и выявления связей между показателями. Текстурные показатели могут использоваться для построения радиомических моделей с помощью методики машинного обучения, делая радиомику еще более перспективной областью развития медицины.

Традиционные подходы к прогнозированию осложнений, таких как панкреатическая фистула, часто основываются на семантических признаках, извлекаемых из КТ и МРТ. Семантические признаки – это визуальные характеристики, определяемые



рентгенологами, такие как размер панкреатического протока, объем поджелудочной железы и др. Однако эти методы ограничены субъективностью, низкой воспроизводимостью и умеренной надежностью. Радиомика, напротив, позволяет количественно анализировать сложные визуальные паттерны, выявляя параметры, недоступные для визуальной оценки, а также объективно измерять параметры изображения, оцениваемые “глазами рентгенолога”, – подход, который в том числе используется в диагностике онкологических заболеваний [27, 28]. Применение радиомики открывает новые возможности для объективного предоперационного прогнозирования осложнений [29].

Комбинированные модели, использующие как семантические, так и радиомические данные, демонстрируют высокую эффективность [30]. Добавление в модели различной клинической информации также может повышать эффективность моделей. Другой точкой приложения для улучшения получаемых результатов является методика обработки радиомических показателей – в последнее время появляются отечественные исследования, подтверждающие перспективность применения машинного обучения для прогнозирования осложнений после ПДР и выявления ключевых факторов риска [31].

Цель исследования: разработка модели прогнозирования послеоперационных осложнений для системы поддержки врачебных решений на основе радиомики и искусственного интеллекта в рамках разработанной платформы “Виртуальная биопсия”, а также оценка методов машинного обучения для предсказания риска клинически значимых панкреатических фистул у пациентов после ПДР. Модель прогнозирования панкреатической фистулы как инструмент персонализированной медицины позволит точно оценивать индивидуальные риски и обоснованно принимать клинические решения. Внедрение таких моделей в клиническую практику позволило бы улучшить исходы лечения и оптимизировать стратегии, обеспечивая эффективное распределение ресурсов в здравоохранении. Точные прогнозирующие модели способствуют повышению качества медицинской помощи и адаптации лечения к уникальным характеристикам пациентов.

Материал и методы

Общая характеристика пациентов

В ретроспективное исследование было включено 117 пациентов. Средний возраст пациентов составил 66,2 года (диапазон: 46–83), из них 63 (53,8%) мужчины и 54 (46,2%) женщины. Все они прошли хирургическое лечение в объеме ПДР в

абдоминальном отделении НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского за период 2016–2019 гг.

Критерии включения:

- история выполненного оперативного вмешательства на поджелудочной железе в объеме ПДР;
- наличие у пациентов дооперационных данных КТ-исследования с контрастным усилением, наличием результатов всех четырех фаз сканирования (нативной, артериальной, венозной, отсроченной);
- все исследования должны быть удовлетворительного качества. Толщина среза в диапазоне от 1 до 5 мм.

Критерии исключения:

- неполные данные дооперационной КТ с отсутствием данных об одной и более фаз сканирования;
- неудовлетворительное качество изображений и невозможность их оценки;
- невозможность сегментации паренхимы дистального отдела поджелудочной железы из-за выраженной атрофии паренхимы и дилатации панкреатического протока;
- история локорегионарного лечения до выполнения предоперационного КТ-исследования.

В данное исследование были включены пациенты с компьютерными томограммами, выполненными с использованием различных протоколов сканирования, так как пациенты поступали из различных медицинских учреждений. Изображения были получены с использованием различных компьютерных томографов, что также привело к вариациям в протоколах сканирования.

Не был учтен эффект временных различий между моментом выполнения сканирования и достижением контрастности в исследуемых структурах.

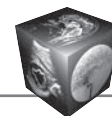
Использовались различные контрастные средства, которые отличались по осмолярности и объему (неионные мономерные рентгеноконтрастные вещества), а также варьировалась скорость введения контрастного препарата.

Текстурный анализ КТ-изображений

Радиомический анализ производился с помощью ПО Slicer 5.2 [32] и модуля Pyradiomics [33].

Типы изображений, использованные для радиомического анализа:

1. Original – исходное изображение без применения фильтров.
2. LoG (Laplacian of Gaussian) – фильтр Лапласиана Гаусса с разными значениями sigma (1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0), который выделяет границы и текстуры на различных масштабах.



3. Wavelet – вейвлет-преобразование, позволяющее анализировать изображение на разных уровнях детализации.

4. Square, SquareRoot, Logarithm, Exponential, Gradient – фильтры, применяющие математические операции к интенсивности пикселей для выделения различных характеристик.

Классы признаков, извлеченных из изображений:

1. Shape – геометрические параметры, описывающие форму области интереса (например, объем, площадь поверхности, компактность).

2. Firstorder – статистические параметры первого порядка, такие как среднее значение, дисперсия, асимметрия и эксцесс интенсивности пикселей.

3. GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) – признаки, основанные на матрице совстречаемости уровней серого, описывающие текстуру (например, контраст, корреляция, энтропия).

4. GLRLM (Gray Level Run Length Matrix) – признаки, основанные на длине серий уровней серого, характеризующие текстуру через последовательности пикселей с одинаковой интенсивностью.

5. GLSZM (Gray Level Size Zone Matrix) – признаки, основанные на зонах уровней серого, описывающие текстуру через размеры областей с одинаковой интенсивностью.

6. GLDM (Gray Level Dependence Matrix) – признаки, основанные на зависимости уровней серого, характеризующие текстуру через взаимосвязь между пикселями.

NGTDM (Neighboring Gray Tone Difference Matrix) – признаки, основанные на разнице уровней серого между соседними пикселями.

Параметры обработки изображений:

Нормализация (normalize) – отключена по умолчанию, так как значения КТ (в единицах Хаунсфилда, HU) уже являются абсолютными.

Ресемплинг (resampling) – изображение ресемплируется до разрешения [1, 1, 1] мм с использованием метода sitkLinear и параметром padDistance 10 (для анализа изображений LoG с высоким фильтром). Это обеспечивает стандартизацию анализа для изображений с разным разрешением и изотропность вокселей.

Ресегментация – выполнена в диапазоне значений –200–500 HU.

Дискретизация изображения (image discretization) – интенсивность пикселей квантуется в бины с шириной 25 HU, что сокращает количество уникальных значений и упрощает анализ текстуры.

Сдвиг массива вокселей (voxelArrayShift) – значения интенсивности сдвигаются на 200 HU для исключения отрицательных значений при расчете некоторых признаков.

Построение ML-модели и анализ ее производительности

Для построения радиомической модели анализа КТ-данных пациентов были использованы методы машинного обучения, направленные на предсказание развития клинически значимой фистулы в послеоперационном периоде.

Панкреатические свищи были разделены для бинарной задачи классификации: класс 0 – отсутствие клинически значимого панкреатического свища, класс 1 – развитие клинически значимого панкреатического свища типа В или С.

Это преобразование облегчило интерпретацию результатов, поскольку наибольшее клиническое значение представляло выделение панкреатических фистул, которые имели худший прогноз.

При обработке данных признаки с низкой вариативностью были исключены. Такой подход способствовал улучшению качества входных данных, необходимых для создания надежной модели. Для выбора признаков, направленного на уменьшение размерности данных и повышение точности моделей, использовался метод SelectKBest, основанный на F-статистике ANOVA. После удаления нерелевантных характеристик, способных создавать шум и снижать эффективность обучения, было выбрано 25 наиболее значимых признаков. Затем эти признаки были стандартизированы для приведения к единому масштабу. После этапа отбора данные были разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80:20 с сохранением пропорций классов (stratify). В нашем исследовании клинически незначимые панкреатические фистулы встречаются чаще, чем клинически значимые (соотношение пациентов 86:31). Для устранения этого дисбаланса был применен метод SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique), который искусственно увеличил количество примеров миноритарного класса. Этот подход улучшил способность моделей правильно классифицировать редкие классы.

Наилучшая конфигурация модели была определена на основе ROC AUC.

Далее создавались дополнительные ансамблевые модели, такие как Stacking Classifier (с использованием комбинации Random Forest, Gradient Boosting и XGBoost) и AdaBoost Classifier (с базовым классификатором Logistic Regression). Для обучения каждой модели использовалась сбалансированная обучающая выборка.

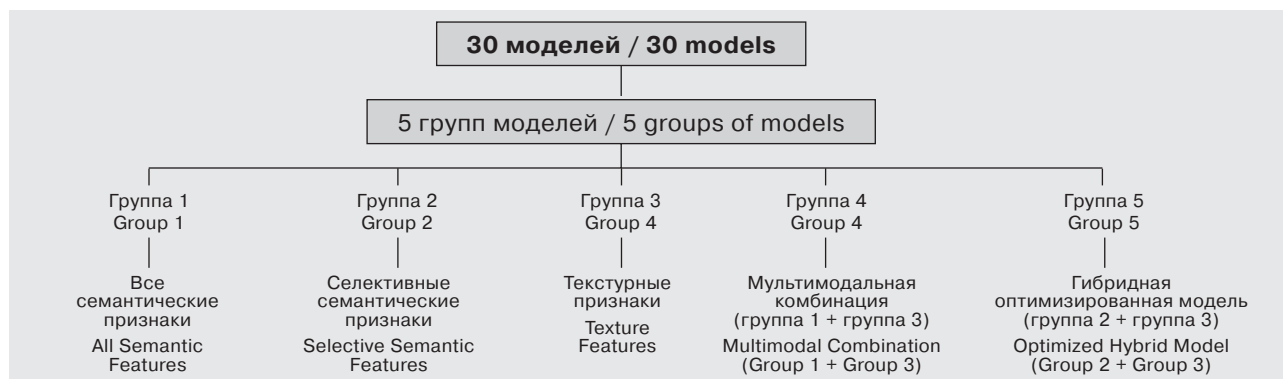


Схема исследования: группы моделей машинного обучения для прогнозирования клинически значимых панкреатических свищей.

Study design: Machine learning model groups for predicting clinically significant pancreatic fistulas.

Для оценки моделей рассчитывались следующие метрики на тестовой выборке:

- **ROC AUC:** Площадь под ROC-кривой
- **PR AUC:** Площадь под PR-кривой
- **Accuracy:** Точность
- **Precision:** Точность предсказания положительного класса
- **Recall (Sensitivity):** Чувствительность
- **F1 Score:** Гармоническое среднее точности и чувствительности
- **Specificity:** Специфичность

После расчета строились матрицы ошибок для наглядной оценки результатов предсказания.

Для визуализации результатов были построены ROC-кривые для всех моделей на тестовой выборке. Для анализа поведения моделей при различных объемах обучающей выборки и последующей оценки их обобщающей способности использовались кривые обучения.

В процессе анализа результатов проводилось сравнение всех моделей с особым вниманием к модели с наивысшими метриками ROC AUC, PR AUC и F1 Score. Оценивалась их применимость для предсказания риска развития клинически значимой панкреатической фистулы после ПДР. В рамках исследования были разработаны модели машинного обучения, по шесть моделей в каждой из пяти групп. Группы формировались на основе различных типов анализируемых признаков.

Группа 1: КТ-морфологические модели (полный набор маркеров)

– Все морфологические параметры, извлеченные из предоперационных КТ-исследований.

Группа 2: КТ-морфологические модели (селективные маркеры)

– Три морфологических признака, ассоциированных с риском развития клинически значимых

ПОПФ в предыдущих исследованиях: диаметр главного панкреатического протока (мм), коэффициент вымывания контрастного агента (НУ, отсроченная/артериальная фаза), аксиальная толщина поджелудочной железы (мм).

Группа 3: радиомические модели (текстурно-топографические признаки)

– Количественные признаки: гистограммные, текстурные (GLCM, GLRLM) и пространственные метрики.

Группа 4: мультимодальная комбинация (КТ-морфология + радиомика)

– Синтез полного морфологического набора (группа 1) с радиомическими данными (группа 3).

Группа 5: оптимизированные гибридные модели (селективные маркеры + радиомика)

– Интеграция ключевых морфологических маркеров (группа 2) с радиомическими паттернами (группа 3).

Цель разработки нескольких групп моделей заключалась в определении оптимального объема данных, который позволит выявить модель с наивысшей производительностью.

Результаты исследования

Послеоперационный период осложнился развитием клинически значимых панкреатических свищей у 31 пациента (26,5% от всей когорты). Статистически значимого различия в возрастных группах пациентов с осложнениями и без развития ПОПФ не выявлено ($p < 0,022$). Среди всех пациентов исследования у 11 (9,4%) был диагностирован изолированный клинически значимый панкреатический свищ типа В и С, тогда как у 20 (17,1%) пациентов наблюдалось сочетание клинически значимого панкреатического свища и аррозивного кровотечения. Клинически значимые панкреатические свищи регистрировались в среднем на

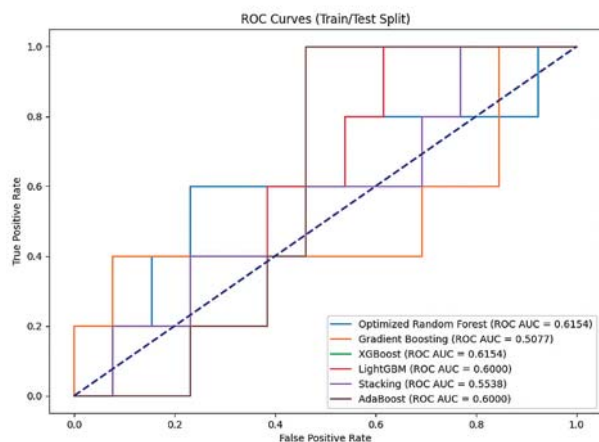
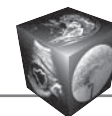


Рис. 1. ROC-кривая комбинированных моделей, анализирующих радиомические и все семантические КТ-признаки, на тестовом dataset.

Fig. 1. ROC curve of combined models analyzing radiomic and all semantic CT features on the test dataset.

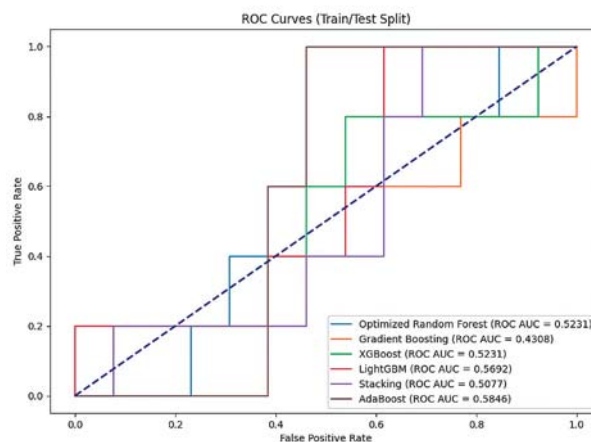


Рис. 2. ROC-кривая моделей машинного обучения, анализирующих все семантические КТ-признаки, на тестовом dataset.

Fig. 2. ROC curve of machine learning models analyzing all semantic CT features on the test dataset.

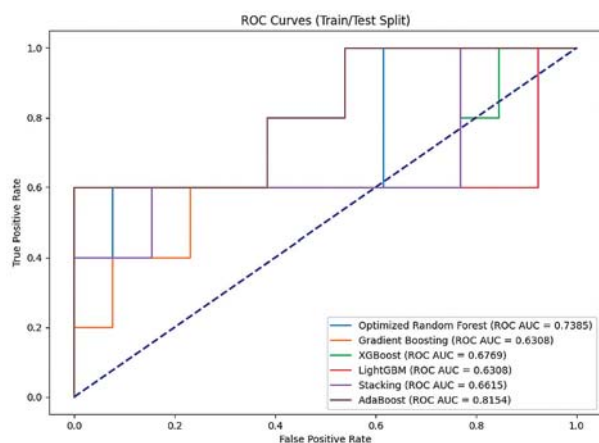


Рис. 3. ROC-кривая моделей машинного обучения, анализирующих радиомические признаки, на тестовом dataset.

Fig. 3. ROC curve of machine learning models analyzing radiomic features on the test dataset.

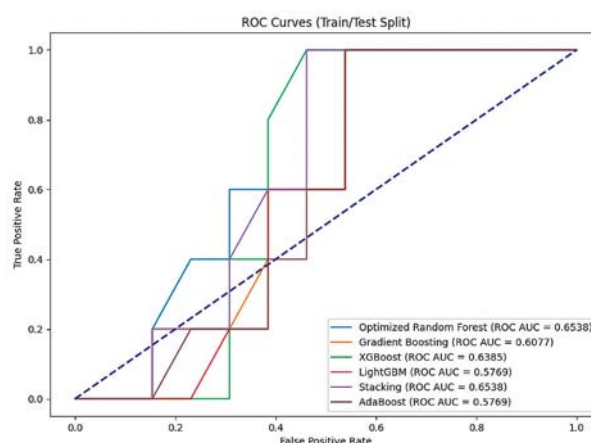


Рис. 4. ROC-кривая моделей машинного обучения, анализирующих селективные семантические КТ-признаки, на тестовом dataset.

Fig. 4. ROC curve of machine learning models analyzing selective semantic CT features on the test dataset.

7,8 ± 6,1 сут, кровотечения – на 9,1 ± 7,8 сут, с пиковыми периодами на 4–6 сут (54,5% свищей) и 8–14 сут (45% кровотечений). Для оптимизации прогнозирования этих осложнений проведен анализ эффективности моделей машинного обучения.

На основе анализа ROC-кривых и значений ROC AUC для пяти групп моделей (рис. 1–5) установлено, что радиомическая модель AdaBoost демонстрирует наивысшую прогностическую эффективность (ROC AUC = 0,815, см. рис. 3),

превосходя как гибридные, так и изолированные морфологические подходы. Интеграция радиомических признаков с тремя селективными морфологическими параметрами (диаметр протока, коэффициент вымывания, толщина железы) не привела к улучшению метрик (см. рис. 5), что может свидетельствовать о зашумлении данных или избыточности признаков. Модели, основанные исключительно на морфологических признаках (см. рис. 2, 4), показывают наименьшую эффективность (максимальный ROC AUC = 0,654), подтвер-

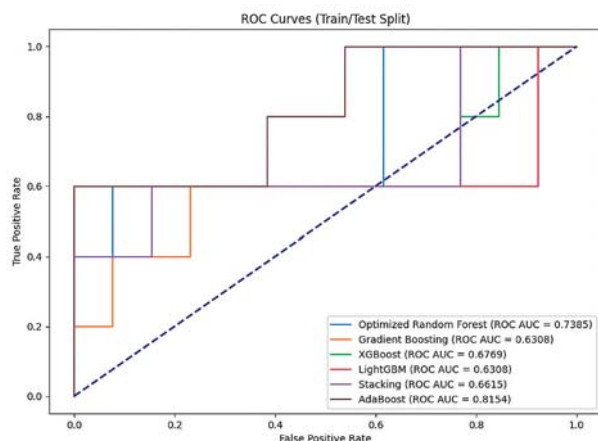


Рис. 5. ROC-кривая моделей машинного обучения, анализирующих радиомические и селективные семантические КТ-признаки, на тестовом dataset.

Fig. 5. ROC curve of machine learning models analyzing radiomic and selective semantic CT features on the test dataset.

ждая важную роль радиомики в прогнозировании клинически значимого свища. Стоит отметить, что семантические модели обладали более слабой прогностической способностью, что объясняется малым количеством оцениваемых параметров, а также высокой субъективностью их получения. Полученные данные подчеркивают важность тщательного отбора признаков и целесообразность использования радиомических моделей в качестве инструмента, обеспечивающего баланс между высокой точностью и устойчивостью к шуму.

Дальнейшие результаты представлены для радиомических моделей, одна из которых продемонстрировала себя наиболее успешно. Метрики их производительности представлены в таблице.

Рассмотрим основные метрики моделей, используемых для предикции клинически значимой

фистулы. Данные результаты включают ROC AUC, PR AUC, точность, чувствительность, специфичность и другие метрики.

AdaBoost демонстрирует наивысшие значения ROC AUC (0,815) и PR AUC (0,772) среди радиомических моделей, а также высокую чувствительность (80%), что указывает на ее способность минимизировать ложноотрицательные прогнозы (см. рис. 3). Однако точность (61,1%) и специфичность (53,8%) остаются относительно низкими, что может быть связано с дисбалансом классов или переобучением. Применение модели AdaBoost обосновано в клинических сценариях, где важна минимизация риска пропуска клинически значимого свища, несмотря на допустимость умеренного уровня ложноположительных результатов.

Optimized Random Forest показывает сбалансированные метрики: ROC AUC 0,738, точность 77,8%, Precision 60%, Recall 60%, F1 60%, специфичность 84,6% (см. таблицу). Эти результаты подчеркивают его устойчивость к шуму и способность сохранять баланс между чувствительностью и специфичностью.

XGBoost и LightGBM демонстрируют низкие значения ROC AUC (0,677 и 0,631 соответственно) и F1-метрик (54,5 и 46,2%, см. таблицу), что делает их менее пригодными для задач, требующих высокой точности и воспроизводимости. Gradient Boosting и Stacking уступают лидерам по ключевым показателям (ROC AUC 0,631 и 0,662 соответственно), несмотря на умеренную специфичность (61,5 и 69,2%, см. таблицу).

Общий вывод

AdaBoost демонстрирует наивысшие ROC AUC (0,815) и чувствительность (80%), обеспечивая раннее выявление клинически значимого свища (см. рис. 3). Несмотря на умеренные точность (61,1%) и специфичность (53,8%), требующие оптимизации, модель сохраняет актуальность

Таблица. Основные метрики моделей, используемых для предикции клинически значимой фистулы в рамках радиомической модели (группа 3)

Table. Key metrics of the models used for predicting clinically significant fistulas within the radiomic model (Group 3)

Model	ROC AUC	PR AUC	Accuracy, %	Precision, %	Recall, %	F1 Score, %	Sensitivity, %	Specificity, %
Optimized Random Forest	0.738	0.694	78	60	60	60	60	85
Gradient Boosting	0.631	0.557	61	38	60	46	60	62
XGBoost	0.677	0.720	72	50	60	55	60	77
LightGBM	0.631	0.709	61	38	60	46	60	62
Stacking	0.662	0.644	67	43	60	50	60	69
AdaBoost	0.815	0.772	61	40	80	53	80	54

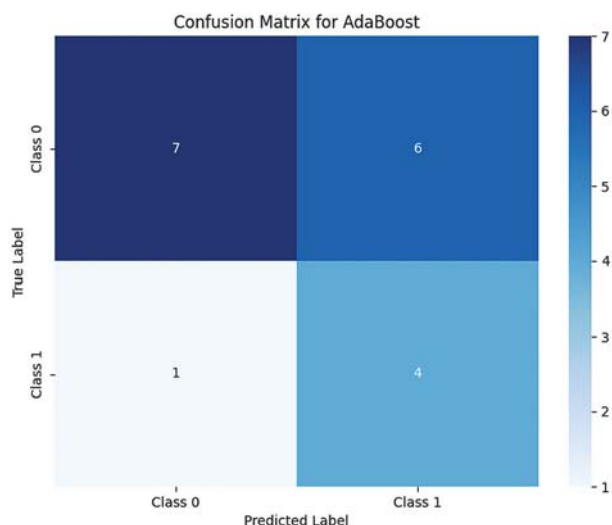
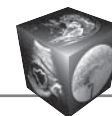


Рис. 6. Матрица решений модели AdaBoost: результаты классификации.

Fig. 6. Confusion matrix of the AdaBoost model: classification results.

в условиях, где ключевой задачей является предотвращение ложноотрицательных диагнозов. Результаты классификации модели AdaBoost представлены на рис. 6.

Optimized Random Forest демонстрирует оптимальный баланс метрик (F1 60%, специфичность 84,6%, см. таблицу) и может быть рекомендован для сценариев, где важна устойчивость модели. Остальные алгоритмы (XGBoost, LightGBM, Gradient Boosting, Stacking) либо уступают по ключевым показателям, либо имеют выраженный дисбаланс между Precision и Recall, что ограничивает их клиническую применимость.

Необходимо отметить, что данное исследование проводилось на ограниченной выборке, что предполагает необходимость дальнейшего изучения вопроса для более полной и достоверной оценки результатов. Таким образом, использование методов машинного обучения позволяет достигать более высоких показателей эффективности моделей. Однако разработка таких моделей может требовать значительных объемов данных для обучения. Кроме того, алгоритмы машинного обучения обладают меньшей прозрачностью в плане интерпретации логики, лежащей в основе принимаемых решений, что затрудняет отслеживание “аргументации” предсказаний. Для решения этого вопроса необходимо проведение детального анализа внутренней структуры конкретных моделей, что способствует повышению уровня доверия со стороны клинических специалистов и врачей-рентгенологов.

Обсуждение

В настоящее время наиболее распространенными прогностическими моделями для оценки риска ПОПФ являются шкалы риска ее развития (Fistula Risk Score – FRS): альтернативная FRS (a-FRS) и обновленная альтернативная FRS (ua-FRS). В их основе лежат интраоперационные данные, такие как плотность поджелудочной железы и диаметр панкреатического протока. В оригинальной версии FRS учитывалась интраоперационная кровопотеря, однако данные о ее связи с ПОПФ оказались противоречивыми, поэтому данный параметр был исключен из последующих моделей. Одной из ключевых проблем ранее созданных моделей является их интраоперационная направленность, а в некоторых случаях – использование послеоперационных данных, таких как гистологические или лабораторные показатели. Интраоперационная оценка риска ограничивает возможности предоперационного планирования, информирования пациентов, проведения рандомизации и других этапов подготовки.

За последние 10 лет предложено множество моделей, направленных на предоперационное прогнозирование панкреатической фистулы. Однако лишь модели, разработанные G. Perri и соавт. и Y. Shi и соавт., прошли внешнюю валидацию, продемонстрировав показатели AUROC 0,65 и 0,81 соответственно [34, 35]. Остальные модели не были валидированы, что делает оценку их эффективности менее надежной.

G. Perri и соавт. предложили модель в виде дерева решений, основанную на диаметре панкреатического протока (\geq или <5 мм) и индексе массы тела (ИМТ \geq или <25) [34]. Однако такие модели имеют методологические ограничения, связанные с дихотомизацией предикторов, что часто приводит к снижению их эффективности при внешней валидации.

Y. Shi и соавт. модифицировали систему FRS и разработали модель CT-FRS, которая в значительной степени опирается на предоперационную оценку КТ-изображений. В рамках данной модели ключевыми параметрами являлись диаметр главного панкреатического протока, объем резецированной паренхимы, площадь культи поджелудочной железы, степень жировой инфильтрации и атрофии, оцененные по данным КТ [35].

Y. Shi и соавт. выявили значимую корреляцию риска развития ПОПФ с гистологическими признаками, такими как выраженная липоматозная трансформация, обилие железистых ацинусов и меньшая степень фиброза поджелудочной железы [35]. Данный подход имеет существенное ограничение, так как прогноз возможен только после



выполнения хирургического вмешательства или биопсии, что делает его неприменимым на дооперационном этапе. Напротив, наша радиомическая модель позволяет оценить риск развития ПОПФ неинвазивно на основе предоперационных данных, включая радиомические признаки, что дает хирургу возможность заблаговременно оценить риски и оптимизировать тактику лечения.

В проведенном ранее нами в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского исследовании [14–16] были выявлены рентгенологические КТ-признаки, которые могут служить маркерами повышенного риска развития панкреатических свищей после резекции поджелудочной железы, например толщина железы $> 17,5$ мм, диаметр протока $< 3,25$ мм, плотность $< 39,5$ HU, а также КН контраста в различных фазах (например, $КН_{вен.}$ менее 0,7 ассоциирован с развитием панкреатита; $КН_{выд.}$ более 0,54 указывает на повышенный риск формирования панкреатических свищей).

Данные факторы риска дают возможность оценить вероятность развития ПОПФ в рамках общей статистики, но не позволяют сделать точный прогноз для конкретного пациента. В то же время предложенная нами модель предполагает персонализированный подход, с высокой диагностической точностью прогнозирует риск развития ПОПФ у каждого отдельного пациента, что существенно повышает клиническую ценность нашего метода.

В литературе существует исследование, подобное нашему, в котором Z. Lin и соавт. разработали и валидировали две модели, радиомическую и комбинированную, для предоперационного прогнозирования клинически значимой послеоперационной панкреатической фистулы у пациентов, перенесших панкреатодуоденэктомию, с последующим сравнением их прогностической эффективности с традиционной системой FRS [30]. Комбинированная модель включала демографические данные, радиомические признаки и рентгенологические КТ-параметры.

Автоматическая сегментация поджелудочной железы на КТ-изображениях была выполнена с использованием методов машинного обучения, в частности глубокого обучения, а именно предобученной 3D U-Net модели. Для построения радиомической модели в качестве классификатора был использован метод AdaBoost.

В нашем исследовании, как и в работе Z. Lin и соавт., также применялись методы машинного обучения, включая AdaBoost. Однако наш подход имеет существенные отличия. В отличие от исследования Z. Lin и соавт., где AdaBoost использовался как отдельный классификатор, нами были дополнительно применены другие сложные ансам-

блевые модели, такие как Stacking Classifier, который объединяет несколько алгоритмов (Random Forest, Gradient Boosting и XGBoost) для повышения точности и устойчивости прогнозов. Кроме того, для устранения дисбаланса классов был применен метод SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique). Эти подходы позволили значительно улучшить прогностическую способность модели, особенно в условиях значительного дисбаланса классов.

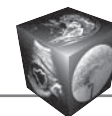
Как и в нашем исследовании, результаты Z. Lin и соавт. продемонстрировали высокую прогностическую способность комбинированной модели: она достигла AUC 0,871 (95% ДИ 0,816–0,926) в обучающей выборке и 0,869 (95% ДИ 0,779–0,958) в валидационной выборке.

В отличие от предыдущих исследований, где пациенты были разделены на группы с наличием и отсутствием ПОПФ, Z. Lin и соавт. определяли риск развития клинически значимой фистулы. Наше исследование также нацелено на предоперационное прогнозирование клинически значимого панкреатического свища. Такие работы имеют высокое практическое значение, так как их результаты позволяют на предоперационном этапе неинвазивно идентифицировать пациентов с высоким риском развития клинически значимой фистулы.

До настоящего времени не существовало комплексной системы поддержки врачебных решений, которая была бы основана на интеграции радиомики и искусственного интеллекта. Впервые коллективом авторов НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского была разработана такая система в рамках платформы “Виртуальная биопсия”. Радиомическая модель, построенная на анализе текстурных признаков, позволяет не только повысить точность прогнозирования клинически значимой ПОПФ, но и предоставить клиницистам инструмент для персонализированного подхода к каждому пациенту, что способствует оптимизации хирургической тактики, минимизации рисков и улучшению исходов лечения.

Заключение

Предыдущие исследования прогнозирования панкреатических фистул после ПДР опирались на интраоперационные параметры (FRS) или ограниченные семантические КТ-признаки, что снижало их предоперационную применимость. Нерешенными остаются задачи создания неинвазивных, объективных инструментов, интегрирующих количественные данные визуализации для точной стратификации рисков. В данном исследовании разработаны 5 моделей для предоперационного прогнозирования клинически значимой послеопе-



рациональной панкреатической фистулы у пациентов, перенесших ПДР: две КТ-морфологические, включающие полный и селективный набор морфологических параметров, радиомическая на основе текстурных показателей, мультимодальная комбинированная, объединяющая полный морфологический набор с радиомическими данными, и оптимизированная гибридная модель, объединяющая селективные морфологические маркеры с радиомикой. Наивысшую эффективность показала радиомическая модель, которая может стать полезным инструментом для принятия клинических решений и улучшения прогноза пациентов. Выявлено, что данные радиомического анализа обладают большей прогностической ценностью, чем семантические признаки. Таким образом, методы машинного обучения представляют собой эффективный инструмент для предсказания риска развития клинически значимой панкреатической фистулы после ПДР. Эти алгоритмы позволяют более эффективно учитывать сложные взаимосвязи между признаками, однако для дальнейшего углубленного изучения данной проблемы требуется расширение объема данных.

Участие авторов

Кондратьев Е.В. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи, участие в научном дизайне.

Мазурок А.В. – сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Усталов А.А. – статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, написание текста, участие в научном дизайне.

Шмелева С.А. – статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, проведение исследования, участие в научном дизайне.

Стручков В.Ю. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, проведение исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Марков П.В. – подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи, участие в научном дизайне.

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

Authors' participation

Kondratyev E.V. – concept and design of the study, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the

article, participation in scientific design, preparation and creation of the published work.

Mazurok A.V. – collection and analysis of data, review of publications, text preparation and editing, writing text, preparation and creation of the published work.

Ustalov A.A. – statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, conducting research, text preparation and editing, writing text, participation in scientific design.

Shmeleva S.A. – statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, conducting research, participation in scientific design.

Struchkov V.Y. – text preparation and editing, participation in scientific design, conducting research, approval of the final version of the article.

Markov P.V. – text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article, participation in scientific design.

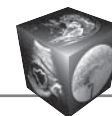
Sinitsyn V.E. – text preparation and editing, approval of the final version of the article, participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Патютко Ю.И., Котельников А.Г., Поляков А.Н., Подлужный Д.В. Эволюция хирургии рака головки поджелудочной железы и периапулярной зоны. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019; 24 (3): 45–53. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.2019345-53>
2. Patyutko Yu.I., Kotelnikov A.G., Polyakov A.N., Podluzhnyi V.D. Evolution of surgery for pancreatic head and periampullary cancer. *Annals of HPB Surgery*. 2019; 24 (3): 45–53. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.2019345-53> (In Russian)
3. Angileri S.A., Gorga G., Tortora S. et al. Biliary injuries after pancreatic surgery: interventional radiology management. *Gland Surg*. 2019; 8 (2): 141–149. <http://doi.org/10.21037/gs.2019.01.05>
4. Kapoor V.K. Complications of pancreatoduodenectomy. *Rozhl. Chir*. 2016; 95 (2): 53–59.
5. Tonolini M., Ierardi A.M., Carrafiello G. Elucidating early CT after pancreatoduodenectomy: a primer for radiologists. *Insights Imaging*. 2018; 9 (4): 425–436. <http://doi.org/10.1007/s13244-018-0616-3>
6. Chincarini M., Zamboni G.A., Pozzi Mucelli R. Major pancreatic resections: normal postoperative findings and complications. *Insights Imaging*. 2018; 9 (2): 173–187. <http://doi.org/10.1007/s13244-018-0595-4>
7. Кабанов М.Ю., Семенов К.В., Яковлева Д.М., Алексеев В.В. Состояние проблемы развития панкреатической фистулы у пациентов, перенесших панкреатодуоденальную резекцию. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2017; 12 (2): 112–116. <http://doi.org/10.25881/BPNMSC.2017.12.2.112.116>
8. Kabanov M.Yu., Sementsov K.V., Yakovleva D.M., Alekseev V.V. Current issues of pancreatic fistula development in patients after pancreatoduodenectomy. *Bulletin of the Pirogov National Medical and Surgical Center*. 2017; 12 (2): 112–116. <http://doi.org/10.25881/BPNMSC.2017.12.2.112.116> (In Russian)
9. Райн В.Ю. Билиарная фистула после панкреатодуоденальной резекции. *Новости хирургии*. 2022; 30 (1): 95–101. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.2022-30-1-95-101>



- Rayn V.Yu. Biliary fistula after pancreaticoduodenectomy. *Surgery News*. 2022; 30 (1), 95–101. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.2022-30-1-95-101> (In Russian)
8. Lowy A.M., Lee J.E., Pisters P.W. et al. Prospective, randomized trial of octreotide to prevent pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy for malignant disease. *Ann. Surg.* 1997; 226 (5): 632–641. <http://doi.org/10.1097/0000658-199711000-00008>
 9. Braga M., Capretti G., Pecorelli N. et al. A prognostic score to predict major complications after pancreaticoduodenectomy. *Ann. Surg.* 2011; 254 (5): 702–707. <http://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31823598fb>
 10. Bassi C., Marchegiani G., Dervenis C. et al. The 2016 update of the International Study Group (ISGPS) definition and grading of postoperative pancreatic fistula: 11 years after. *Surgery*. 2017; 161 (3): 584–591. <http://doi.org/10.1016/j.surg.2016.11.014>
 11. Fu S.J., Shen S.L., Li S.Q. et al. Risk factors and outcomes of postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: an audit of 532 consecutive cases. *BMC Surg.* 2015; 15: 117. <http://doi.org/10.1186/s12893-015-0011-7>
 12. Hallet J., Zih F.S., Deobald R.G. et al. The impact of pancreaticojejunostomy versus pancreaticogastrostomy reconstruction on pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: meta-analysis of randomized controlled trials. *HPB*. 2015; 17 (2): 113–120. <http://doi.org/10.1111/hpb.12299>
 13. Casadei R., Ricci C., Taffurelli G. et al. Are there preoperative factors related to a “soft pancreas” and are they predictive of pancreatic fistulas after pancreatic resection? *Surg. Today*. 2015; 45 (6): 708–714. <http://doi.org/10.1007/s00595-014-1045-7>
 14. Гальчина Ю.С., Кондратьев Е.В., Кармазановский Г.Г. и др. КТ-предикторы послеоперационных специфических осложнений при резекциях поджелудочной железы. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2020; 10 (2): 102–115. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-2-102-115>
 - Galchina Y.S., Kondratyev E.V., Karmazanovsky G.G. et al. CT predictors of postoperative specific complications in pancreatic resections. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2020; 10 (2): 102–115. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-2-102-115> (In Russian)
 15. Гальчина Ю.С., Кармазановский Г.Г., Кондратьев Е.В., Горин Д.С., Галкин Г.В., Кригер А.Г. Возможность компьютерной томографии с контрастным усилением в оценке объема культи поджелудочной железы при панкреатодуоденальной резекции. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2020; 6: 31–37. <http://doi.org/10.17116/hirurgia202006131>
 - Galchina Yu.S., Karmazanovsky G.G., Kondratyev E.V. et al. Contrast-enhanced computed tomography in evaluation of pancreatic stump volume in pancreaticoduodenectomy. *Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zhurnal imeni N.I. Pirogova*. 2020; 6: 31–37. <http://doi.org/10.17116/hirurgia202006131> (In Russian)
 16. Гальчина Ю.С., Кармазановский Г.Г., Калинин Д.В., Кондратьев Е.В., Горин Д.С., Галкин Г.В., Кригер А.Г. Критерии диагностики “мягкой” поджелудочной железы и их влияние на возникновение панкреатического свища после панкреатодуоденальной резекции. *Анналы хирургической гепатологии*. 2020; 25 (2): 113–123. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.20202113-123>
 - Galchina Y.S., Karmazanovsky G.G., Kalinin D.V. et al. Diagnostic criteria for a “soft” pancreas and their influence on the occurrence of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy. *Annals of HPB Surgery*. 2020; 25 (2): 113–123. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.20202113-123> (In Russian)
 17. Lee S.E., Jang J.Y., Lim C.S. et al. Measurement of pancreatic fat by magnetic resonance imaging: predicting the occurrence of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy. *Ann. Surg.* 2010; 251 (5): 932–936. <http://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181d65483>
 18. Watanabe H., Kanematsu M., Tanaka K. et al. Fibrosis and postoperative fistula of the pancreas: correlation with MR imaging findings-preliminary results. *Radiology*. 2014; 270 (3): 791–799. <http://doi.org/10.1148/radiol.13131194>
 19. Råty S., Sand J., Lantto E. et al. Postoperative acute pancreatitis as a major determinant of postoperative delayed gastric emptying after pancreaticoduodenectomy. *J. Gastrointest. Surg.* 2006; 10 (8): 1131–1139. <http://doi.org/10.1016/j.gassur.2006.05.012>
 20. El Nakeeb A., Hamdy E., Sultan A.M. et al. Isolated Roux loop pancreaticojejunostomy versus pancreaticogastrostomy after pancreaticoduodenectomy: a prospective randomized study. *HPB (Oxford)*. 2014; 16 (8): 713–722. <http://doi.org/10.1111/hpb.12210>
 21. Deng Y., Zhao B., Yang M. et al. Association between the incidence of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy and the degree of pancreatic fibrosis. *J. Gastrointest. Surg.* 2018; 22 (3): 438–443. <http://doi.org/10.1007/s11605-017-3660-2>
 22. Kim S.Y., Kim H., Cho J.Y. et al. Quantitative assessment of pancreatic fat by using unenhanced CT: pathologic correlation and clinical implications. *Radiology*. 2014; 271 (1): 104–112. <http://doi.org/10.1148/radiol.13122883>
 23. Roberts K.J., Storey R., Hodson J. et al. Pre-operative prediction of pancreatic fistula: is it possible? *Pancreatol.* 2013; 13 (4): 423–428. <http://doi.org/10.1016/j.pan.2013.04.322>
 24. Hashimoto Y., Sclabas G.M., Takahashi N. et al. Dual-phase computed tomography for assessment of pancreatic fibrosis and anastomotic failure risk following pancreatoduodenectomy. *J. Gastrointest. Surg.* 2011; 15 (12): 2193–2204. <http://doi.org/10.1007/s11605-011-1687-3>
 25. Кондратьев Е.В., Шмелева С.А., Усталов А.А., Гурина В.И., Кармазановский Г.Г. Теоретические основы текстового анализа КТ-изображений образований органов брюшной полости: обзор. *Лучевая диагностика и терапия*. 2025; 1: 33–46. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-1-33-46>
 - Kondratyev E.V., Shmeleva S.A., Ustulov A.A. et al. Theoretical basics of abdominal CT radiomics: a review. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2025; 16 (1): 33–46. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-1-33-46> (In Russian)
 26. Васильев Ю.А., Владимировский А.В., Омелянская О.В., Решетников Р.В., Блохин И.А., Коденко М.Р., Нанова О.Г. Обзор метаанализов о применении искусственного интеллекта в лучевой диагностике. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 22–41. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-1425>
 - Vasilev Y.A., Vladzimirskyy A.V., Omelyanskaya O.V. et al. Review of meta-analyses on the use of artificial intelligence in radiology. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 22–41. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-1425> (In Russian)



27. Гележе П.Б., Блохин И.А., Семенов С.С., Caruso D. Радиомика магнитно-резонансной томографии при раке предстательной железы: что известно в настоящее время? *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (4): 441–452. <http://doi.org/10.17816/DD70170>
- Gelezhe P.B., Blokhin I.A., Semenov S.S., Caruso D. Magnetic resonance imaging radiomics in prostate cancer radiology: what is currently known? *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (4): 441–452. <http://doi.org/10.17816/DD70170> (In Russian)
28. Гележе П.Б., Блохин И.А., Семенов С.С. Радиомика для диагностики и лечения рака предстательной железы. *Медицинская физика*. 2022; 1: 21.
- Gelezhe P.B., Blokhin I.A., Semenov S.S. Radiomics for the diagnosis and treatment of prostate cancer. *Medical Physics*. 2022; 1: 21. (In Russian)
29. Kambakamba P., Mannil M., Herrera P.E. et al. The potential of machine learning to predict postoperative pancreatic fistula based on preoperative, non-contrast-enhanced CT: a proof-of-principle study. *Surgery*. 2020; 167 (2): 448–454. <http://doi.org/10.1016/j.surg.2019.09.019>
30. Lin Z., Tang B., Cai J. et al. Preoperative prediction of clinically relevant postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy. *Eur. J. Radiol.* 2021; 139: 109693. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109693>
31. Суворов В.А., Панин С.И., Коваленко Н.В. и др. Прогнозирование панкреатической фистулы после панкреатодуоденальной резекции с использованием машинного обучения. *Сибирский онкологический журнал*. 2023; 22 (6): 25–34. <http://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-6-25-34>
- Suvorov V.A., Panin S.I., Kovalenko N.V. et al. Prediction of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy using machine learning. *Siberian Journal of Oncology*. 2023; 22 (6): 25–34. <http://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-6-25-34> (In Russian)
32. Van Griethuysen J.J.M., Fedorov A., Parmar C. et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype. *Cancer Res*. 2017; 77 (21): e104–e107. <http://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-17-0339>
33. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J. et al. 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Magn. Reson. Imaging*. 2012; 30 (9): 1323–1341. <http://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
34. Perri G., Marchegiani G., Partelli S. et al. Preoperative risk stratification of postoperative pancreatic fistula: a risk-tree predictive model for pancreatoduodenectomy. *Surgery*. 2021; 170 (6): 1596–1601. <http://doi.org/10.1016/j.surg.2021.06.046>
35. Shi Y., Gao F., Qi Y. et al. Computed tomography-adjusted fistula risk score for predicting clinically relevant postoperative pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy: training and external validation of model upgrade. *EBioMedicine*. 2020; 62: 103096. <http://doi.org/10.1016/j.ebiom.2020.103096>

Для корреспонденции*: Мазурок Алина Вадимовна – e-mail: alvmazurok@mail.ru

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, заведующий отделением рентгенологии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. E-mail: evgenykondratiev@gmail.com

Мазурок Алина Вадимовна – врач-ординатор отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6032-2130>. E-mail: alvmazurok@mail.ru

Усталов Андрей Александрович – младший научный сотрудник отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0009-0005-9267-8584>. E-mail: andreiustalov@gmail.com

Шмелева София Антоновна – врач-ординатор отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0009-0007-5724-2763>. E-mail: sofiaantonovna@gmail.com

Стручков Владимир Юрьевич – канд. мед. наук, младший научный сотрудник отделения абдоминальной хирургии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1555-1596>. E-mail: doc.struchkov@gmail.com

Марков Павел Викторович – доктор мед. наук, заведующий отделением абдоминальной хирургии ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9074-5676>. E-mail: markov@ixv.ru

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины ФГБОУ ВО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. E-mail: vsini@mail.ru

Contact*: Alina V. Mazurok – e-mail: alvmazurok@mail.ru

Evgeny V. Kondratyev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Diagnostic Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. E-mail: evgenykondratiev@gmail.com

Alina V. Mazurok – Resident Physician of radiology department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6032-2130>. E-mail: alvmazurok@mail.ru

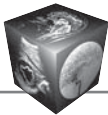
Andrey A. Ustalov – the junior research of radiology department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <http://orcid.org/0009-0005-9267-8584>. E-mail: andreiustalov@gmail.com

Sofia A. Shmeleva – Resident Physician of radiology department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <http://orcid.org/0009-0007-5724-2763>. E-mail: sofiaantonovna@gmail.com

Vladimir Yu. Struchkov – Cand. of Sci. (Med.), Junior Researcher, Department of Abdominal Surgery, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1555-1596>. E-mail: doc.struchkov@gmail.com

Pavel V. Markov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Abdominal Surgery, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9074-5676>. E-mail: markov@ixv.ru

Valentin E. Sinitsyn – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiology and Radiodiagnostics, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. E-mail: vsini@mail.ru



Магнитно-резонансная томография в диагностике метастатического поражения яичников

© Аксенова С.П.^{1, 2*}, Нуднов Н.В.^{1, 2, 4}, Сергеев Н.И.^{1, 3},
Солодкий В.А.¹, Шахвалиева Э.С.-А.^{1, 5}

¹ ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

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

⁴ ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

⁵ ГБУЗ города Москвы “Детская городская клиническая больница № 9 им. Г.Н. Сперанского ДЗ города Москвы”; 123317 Москва, Шмитовский проезд, д. 29, Российская Федерация

Введение. На долю вторичного опухолевого поражения яичника (ВОЯ) приходится до 25% всех злокачественных новообразований яичников. Наиболее часто в яичник метастазируют опухоли желудочно-кишечного тракта, такие как рак желудка, толстой кишки, аппендикса, а также опухоли женской репродуктивной системы: рак молочной железы, рак эндометрия и шейки матки. Как известно, методом выбора для визуализации яичников являются ультразвуковое исследование и магнитно-резонансная томография (МРТ), позволяющая оценить размеры, структуру и перфузионные характеристики яичников.

Цель исследования: проанализировать и сравнить структуру, размеры и семиотические особенности метастатически измененных яичников при разных злокачественных новообразованиях с использованием метода МРТ.

Материал и методы. В исследование включено 27 женщин с различными первичными злокачественными новообразованиями, у которых выявлено вторичное (метастатическое) поражение яичников. В исследование не включались пациентки с первичным раком яичников, доброкачественными образованиями яичников. Протокол МРТ органов малого таза соответствовал рекомендациям Европейского общества урогенитальных радиологов от 2020 г. (European Society of Urogenital Radiology, ESUR). Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23.

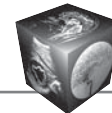
Результаты. У 27 пациенток суммарно выявлено 44 объемных образования яичников метастатического генеза. При анализе пациенток с ВОЯ одностороннее поражение яичника определялось в 10/27 наблюдениях (37%); двустороннее поражение яичников выявлялось в 17/27 наблюдениях (63%). При этом при одностороннем поражении отмечалось преимущественное (7/10, 70%) поражение левого яичника. Статистически значимых отличий по признаку одно- или двустороннего поражения в анализируемых подгруппах ВОЯ обнаружено не было (p -value = 0,115). По данным исследования выявлено, что объем метастатически измененных яичников при раке желудка, толстой кишки и эндометрия достоверно больше, чем при раке молочной железы и раке шейки матки ($p < 0,05$). При этом наибольший объем метастатически измененных яичников наблюдается при раке толстой кишки ($p < 0,05$).

Заключение. В исследовании проводился анализ объемов и структуры яичников у пациенток с метастатическим поражением придатков матки при разных первичных нозологиях (рак желудка, прямой кишки, молочной железы, матки). В статье детально описаны семиотические МР-характеристики ВОЯ при разных первичных нозологиях, проанализированы размеры ВОЯ в разных подгруппах, приведены наглядные клинические примеры, что позволит улучшить диагностику патологий яичников и своевременно начать лечение основного заболевания.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; метастазы; вторичные опухоли яичников; опухоль Крукенберга; O-RADS

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Соответствие принципам этики: от пациентов получено информированное согласие.



Для цитирования: Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Сергеев Н.И., Солодкий В.А., Шахвалиева Э.С.-А. Магнитно-резонансная томография в диагностике метастатического поражения яичников. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 94–106. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1504>

Поступила в редакцию: 20.09.2024. **Принята к печати:** 04.04.2025. **Опубликована online:** 30.05.2025.

Magnetic resonance imaging in the diagnosis of metastatic ovarian lesions

© **Svetlana P. Aksenova**^{1, 2*}, **Nikolay V. Nudnov**^{1, 2, 4}, **Nikolay I. Sergeev**^{1, 3}, **Vladimir A. Solodkiy**¹, **Elina S.-A. Shakhvalieva**^{1, 5}

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

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University); 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

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

⁴ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

⁵ G.N. Speransky Children's City Clinical Hospital No. 9 of Moscow Healthcare Department; 29, Shmitovsky passage, Moscow 123317, Russian Federation

The aim: To analyze and compare the structure, size, and semiotic features of secondary tumors of the ovary (STO) in different primary malignant neoplasms using magnetic resonance imaging.

Materials and methods. The study included 27 women with various primary malignancies who had secondary (metastatic) ovarian lesion (OVA). The study did not include patients with primary ovarian cancer or benign ovarian tumors. The MRI protocol of the pelvic organs corresponded to the recommendations of the European Society of Urogenital Radiology from 2020 (European Society of Urogenital Radiology, ESUR). The statistical indicators were calculated in a computer program for statistical data processing IBM SPSS Statistics 23.

Results. A total of 44 metastatic ovarian tumors (MOT, second ovarian tumors- SOT) were detected in 27 patients. In the analysis of patients with SOT, unilateral ovarian lesion was detected in 10/27 cases (37%); bilateral ovarian lesion was detected in 17/27 cases (63%). At the same time, with a unilateral lesion, a predominant (7/10, 70%) lesion of the left ovary was noted. There were no statistically significant differences in the sign of a single or bilateral lesion in the analyzed groups of SOT (p -value = 0.115). In the SOT subgroups, it was found that the volume of metastatically altered ovaries in gastric (GC), colon (CC) and endometrial (EC) cancers was significantly higher than in breast cancer (BC) and cervical cancer ($p < 0.05$). At the same time, the largest volume of metastatically altered ovaries is observed in colon cancer (PK) ($p < 0.05$).

Conclusions. The study analyzed the volumes and structure of the ovaries in patients with secondary tumors of the ovary in various primary nosologies (stomach cancer, colorectal cancer, breast cancer, uterine cancer). The article describes in detail the semiotic MR characteristics, analyzes the sizes of STO in different subgroups, provides illustrative clinical examples, which will improve the diagnosis of ovarian pathologies and which will allow timely initiation of treatment of the underlying disease.

Keywords: O-RADS MRI; magnetic resonance imaging; metastasis; Krukenberg tumor; secondary tumors of the ovary; metastatic ovarian cancer; ovarian metastases; Secondary Ovarian Tumour

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

For citation: Aksenova S.P., Nudnov N.V., Sergeev N.I., Solodkiy V.A., Shakhvalieva E.S.-A. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of metastatic ovarian lesions. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 94–106. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1504>

Received: 20.09.2024.

Accepted for publication: 04.04.2025.

Published online: 30.05.2025.



Введение

На долю вторичного опухолевого поражения яичника (ВОЯ) приходится до 25% всех злокачественных новообразований (ЗНО) яичников [1, 2]. Таким образом, практически каждое 4–5-е образование яичников является проявлением распространённого рака другой локализации. Наиболее часто в яичник метастазируют опухоли желудочно-кишечного тракта, такие как рак желудка, толстой кишки, аппендикса, и опухоли женской репродуктивной системы: рак молочной железы, рак эндометрия и шейки матки, однако имеются различия в механизмах распространения метастазов [3]. Опухоль Крукенберга – это метастатическое поражение стромы яичника при перстневидно-клеточном раке желудочно-кишечного тракта и других более редких локализаций [4]. Чаще всего встречается при раке желудка, но и другие перстневидно-клеточные опухоли, метастазирующие в яичник, носят имя немецкого ученого Крукенберга [5]. На долю опухолей Крукенберга приходится до 40% всех ВОЯ [6–8]. Пациентки с ВОЯ имеют в целом неблагоприятный прогноз, поскольку выявление ВОЯ сопряжено с запущенной стадией заболевания. Выживаемость пациенток с ВОЯ значительно ниже, чем у пациенток с первичным раком яичников (5-летняя выживаемость 18,5% против 40,0%) [9, 10].

Исследователи отмечают, что обнаружение ВОЯ предшествует выявлению первичной опухоли. Таким образом, ее диагностика представляет собой сложную задачу как для гинеколога, онколога, так и для врача лучевой и лабораторной диагностики [11, 12].

Особой проблемой следует выделить установление органной принадлежности опухоли, если исключен первичный рак яичников. Факторы риска и прогнозирование исхода заболевания различаются в зависимости от типа первичной опухоли и стадии обнаружения ВОЯ.

Предположение о локализации и гистологическом типе опухоли на первичном этапе может сократить время обследования. В статье изложена попытка определения методом магнитно-резонансной томографии (МРТ) различия в объемах ВОЯ и их семиотике в зависимости от первичной опухоли: желудочно-кишечного тракта, молочной железы, внутренних органов, женской репродуктивной системы.

Цель исследования: проанализировать и сравнить структуру, размеры и семиотические особенности метастатически измененных яични-

ков при разных злокачественных новообразованиях с использованием метода МРТ.

Материал и методы

В исследование включено 27 женщин с разными первичными злокачественными новообразованиями, у которых выявлено вторичное (метастатическое) поражение яичников (ВОЯ). Исследование ретроспективное, выборочное, основанное на анализе данных медицинской документации и результатов МР-исследований. Таким образом, в исследование включались пациентки с разными злокачественными новообразованиями, у которых было диагностировано одно- или двустороннее метастатическое поражение придатков матки. Во всех случаях вторичный генез опухолей яичников был подтвержден патоморфологическим и иммуногистохимическим исследованием.

В исследование не включались пациентки с первичным раком яичника, доброкачественными образованиями яичников.

МРТ проводилась на томографах с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл (Canon Vantage Atlas, Siemens Magnetom Aero). Протокол МРТ органов малого таза соответствовал рекомендациям Европейского общества урогенитальной радиологии от 2020 г. (European Society of Urogenital Radiology, ESUR) и протоколу O-RADS [13, 14]. Протокол МР-исследования включал в себя проведение Т2ВИ в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, Т1ВИ с подавлением сигнала от жировой ткани, диффузионно-взвешенных изображений с b-фактором взвешенности до 1000 мм²/с и динамического контрастного усиления (ДКУ) препаратами гадолиния. В ряде случаев для наилучшей визуализации структуры придатков матки проводили исследование с ориентацией срезов параллельно оси тела матки с малым полем обзора.

В исследовании проанализировано 27 МРТ-исследований органов малого таза у 27 пациенток. Средний возраст пациенток составил 54,7 года.

Распределение пациенток в зависимости от первичной локализации опухоли представлено в табл. 1.

Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23. Для выявления статистически значимых различий объема яичников в подгруппах ВОЯ использовался Критерий Краскела–Уоллиса. Для оценки преимущественно одно- или двустороннего поражения в различных подгруппах ВОЯ использовался χ^2 Пирсона. Порог значимости устанавливался на уровне 0,05.



Таблица 1. Распределение пациенток с метастатическим поражением яичников в зависимости от первичной опухоли
Table 1. Distribution of patients with metastatic lesions of the ovaries depending on the primary nosology

ЗНО Lesions	Количество пациенток Number of patients n (%)	Гистологический тип первичной опухоли, n Histological type of primary tumor	Средний возраст пациенток, годы Average year
Рак желудка Gastric cancer	3 (11.1%)	Перстневидно-клеточный рак – 2/3 Signet ring cell carcinoma Низкодифференцированная аденокарцинома – 1/2 Poorly differentiated adenocarcinoma	54.6
Рак толстой кишки Colon cancer	6 (22.2%)	Аденокарцинома кишечного типа разной степени дифференцировки – 6 Intestinal type adenocarcinoma of varying degrees of differentiation	52.3
Рак молочной железы Breast cancer	5 (18.5%)	Инфильтративный протоковый рак – 2/5 Infiltrating ductal carcinoma Инфильтративный дольковый рак – 3/5 Infiltrative lobular carcinoma	48.4
Рак эндометрия Endometrial adenocarcinoma	6 (22.2%)	Эндометриоидная аденокарцинома разной степени дифференцировки – 4/5 Endometrioid adenocarcinoma of varying degrees of differentiation Серозная аденокарцинома – 1/6 Serosus adenocarcinoma Светлоклеточная аденокарцинома – 1/6 Clear cell adenocarcinoma	61.6
Рак поджелудочной железы Pancreatic cancer	1 (3.7%)	Умеренно дифференцированная протоковая аденокарцинома Moderately differentiated ductal adenocarcinoma	67
Рак шейки матки Cervical cancer	6 (22.2%)	Эндоцервикальная аденокарцинома – 1/6 Endocervical adenocarcinoma Серозная аденокарцинома – 2/6 Serosus adenocarcinoma Плоскоклеточный рак – 3/6 Squamous cell carcinoma	58.7
Всего / Total	27		57.1

Результаты исследования

У 27 пациенток суммарно выявлено 44 объемных образования яичника метастатического генеза.

При анализе исследуемой выборки одностороннее поражение яичника определялось в 10/27 наблюдениях (37%), двустороннее поражение яичников – в 17/27 наблюдениях (63%). При этом при одностороннем поражении отмечалось преимущественное (7/10, 70%) поражение левого яичника (табл. 2).

По данным статистического анализа различий по одно- и двустороннему поражению в разных подгруппах ВОЯ получено не было (χ^2 Пирсона, $p = 0,076$). Отсутствие взаимосвязи связываем с малой выборкой, однако обращает на себя внимание преимущественное односторонне пораже-

ние придатков матки в подгруппе рака эндометрия (5/6, 83,3%).

Медиана, 1-й и 3-й квартили объемов яичников у пациенток с ВОЯ представлены на диаграмме.

При сравнении объемов яичников в зависимости от первичной локализации объем метастатически измененных яичников при раке желудка, толстой кишки и эндометрия достоверно больше, чем при раке молочной железы и раке шейки матки ($p < 0,05$). При этом наибольший объем метастатически измененных яичников наблюдается при раке толстой кишки, уровень значимости $< 0,05$ (табл. 3).

Далее были проанализированы МР-семиотические характеристики ВОЯ в зависимости от типа первичной опухоли.



Таблица 2. Частота одно- и двустороннего опухолевого поражения яичника в зависимости от первичной нозологии
Table 2. Frequency of unilateral and bilateral tumor lesions of the ovary depending on the primary nosology

Первичная нозология Primary nosology	Односторонне поражение придатков матки (количество наблюдений) Unilateral ovarian tumor (number of patients)	Двустороннее поражение придатков матки (количество наблюдений) Bilateral ovarian tumors (number of patients)
Рак желудка / Gastric cancer	1	2
Рак толстой кишки / Colon cancer	1	5
Рак молочной железы / Breast cancer	1	4
Рак эндометрия / Endometrial adenocarcinoma	5	1
Рак шейки матки / Cervical cancer	1	5
Рак поджелудочной железы / Pancreatic cancer	1	0
Всего / Total	10	17

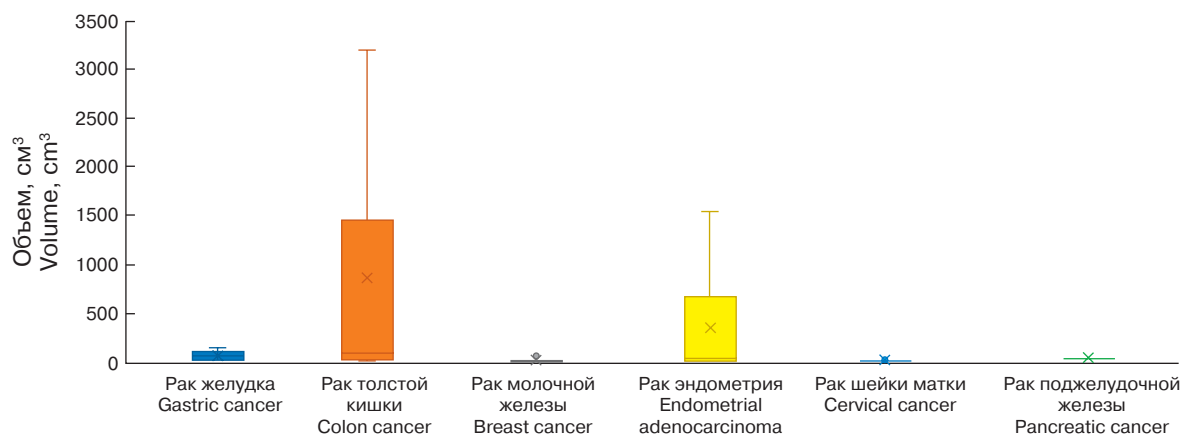
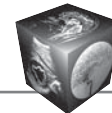


Диаграмма. Морфометрические показатели яичников у пациенток с БОЯ (средний, максимальный и минимальный объемы).

Diagram. Morphometric parameters of the ovaries in the SOT (average, maximum and minimum volumes).

Таблица 3. Показатели объемов яичников в подгруппах БОЯ (показатели: Me – медиана; Q1; Q3 – 1-й и 3-й квартили)
Table 3. Data on ovarian volumes in the different subgroups (indicators: Me – median; Q1; Q3 – first and third quartiles)

Группа патологии Group of pathology	Me [Q1; Q3], см³	Тест Краскелла–Уолисса p-value
Рак желудка / Gastric cancer	60 [21; 101,5]	<0,05
Рак толстой кишки / Colon cancer	86 [22,1; 1457,3]	
Рак молочной железы / Breast cancer	8,5 [4,4; 12,05]	
Рак эндометрия / Endometrial adenocarcinoma	40,44 [12,8; 372,1]	
Рак шейки матки / Cervical cancer	6,03 [5,09; 13,09]	



Семиотические характеристики ВОЯ у пациенток при раке желудка по данным МРТ

Метастатически измененные яичники у пациенток при раке желудка в наших наблюдениях имели округлую форму, в случаях двустороннего поражения были симметрично увеличены, с довольно ровными четкими контурами, представлены преимущественно солидной структурой. Часть опухолевых компонентов у пациенток с перстневидноклеточной аденокарциномой ($n = 2$) имела высокобелковое содержимое, что было обусловлено наличием муцинозного компонента, который

вырабатывается перстневидными клетками рака желудка (рис. 1). Следует описать визуализацию фиброзной оболочки яичника и, вероятно, утолщенный корковый слой в субкапсулярных отделах на фоне оттеснения опухолевыми массами, расположенными в центральных отделах – мозговом веществе, где и находятся лимфатические и кровеносные сосуды, по которым, как мы предполагаем, первично распространились опухолевые эмболы в ткань яичника. В единичном наблюдении крупной опухоли отмечалось истончение фиброзной капсулы и пролабирование (по типу грыжевого выпячивания) солидной ткани опухоли (рис. 2в).

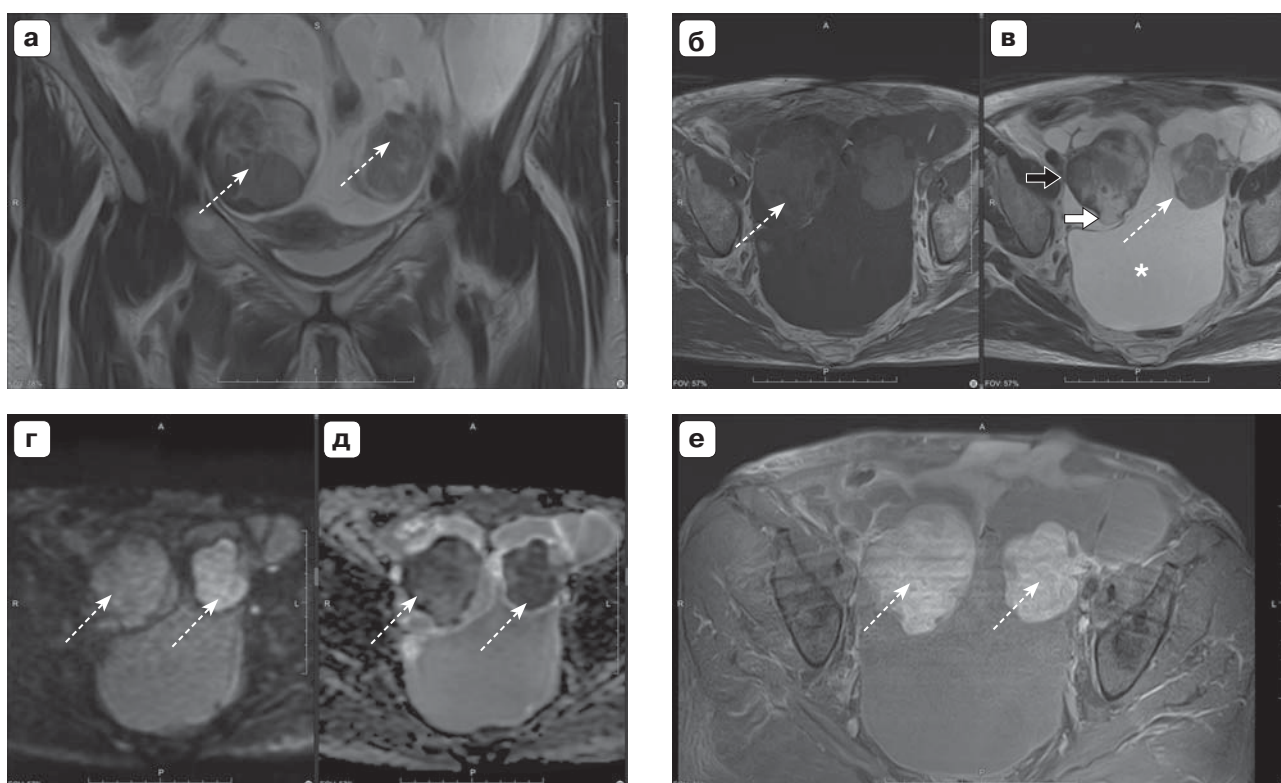
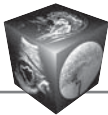


Рис. 1. МРТ органов малого таза пациентки Ф., 46 лет. Метастазы перстневидно-клеточного рака желудка в яичники, двустороннее поражение. **а** – Т2ВИ в коронарной плоскости; визуализируются солидно-кистозные образования обоих яичников (отмечены пунктирной стрелкой); **б, в** – Т1- и Т2ВИ в аксиальной плоскости, на Т1ВИ умеренно гиперинтенсивный МР-сигнал в связи с наличием муцина в структуре; на Т2ВИ белой стрелкой изображен участок выхода опухоли за фиброзную оболочку яичника, черная стрелка отображает фиброзную оболочку яичника, отмечается наличие асцита (*); **г, д** – диффузионно-взвешенные изображения и карты измеряемого коэффициента диффузии в аксиальной плоскости соответственно ($b = 1000 \text{ мм}^2/\text{с}$); отмечается асимметричная рестрикция диффузии солидным компонентом опухоли, больше слева; **е** – Т1ФС с контрастным усилением, отмечается диффузно повышенное накопление парамагнетика солидными опухолями.

Fig. 1. MRI of the pelvic organs. Patient F, 46 years old, metastases of stomach cancer. **а** – T2WI in the coronal plane; solid cystic formations of both ovaries are visualized (marked with a dotted arrow); **б, в** – T1WI and T2WI in the axial plane, on T1WI there is a moderately hyperintense MR signal due to the presence of mucin in the structure; on T2WI, the white solid arrow shows the area of tumor exit beyond the fibrous membrane of the ovary, the black arrow displays the fibrous membrane of the ovary, the presence of ascites is noted (star); **г, д** – diffusion-weighted images and maps of the measured diffusion coefficient in the axial plane, respectively ($b = 1000 \text{ мм}^2/\text{с}$); an asymmetric restriction of diffusion by the solid component of the tumor is noted, more so on the left; **е** – T1FS WI with contrast enhancement, diffusely increased accumulation of paramagnetic by solid tumors is noted.



Семиотические характеристики ВОЯ у пациенток при раке толстой кишки по данным МРТ

Характерной особенностью являлось наличие большого объема опухоли кистозно-солидной структуры с известным симптомом “витражного окна” за счет перемежения гипо- и умеренно гиперинтенсивного сигнала в разных полостях, разделенных перегородками. В наших наблюдениях перегородки интенсивно накапливали парамагнетик и четко визуализировались на постконтрастных отсроченных сериях при ДКУ (рис. 2).

При средних объемах ВОЯ при раке кишки были схожими с ВОЯ при раке желудка, так как в

обоих случаях присутствовал муцинозный компонент, однако таких наблюдений было меньше половины (2/6). При крупных опухолях (4/6) образования выполняли весь малый таз и выходили верхним полюсом в нижние отделы брюшной полости, оттесняя органы малого таза и кишечник. ВОЯ при раке толстой кишки имитировала серомуцинозную цистаденому и цистаденокарциному яичника. Следует отметить, что во всех наблюдениях внешний контур яичника был относительно четким, неровными, прямыми данными об инвазии за пределы капсулы не было выявлено (см. рис. 2).

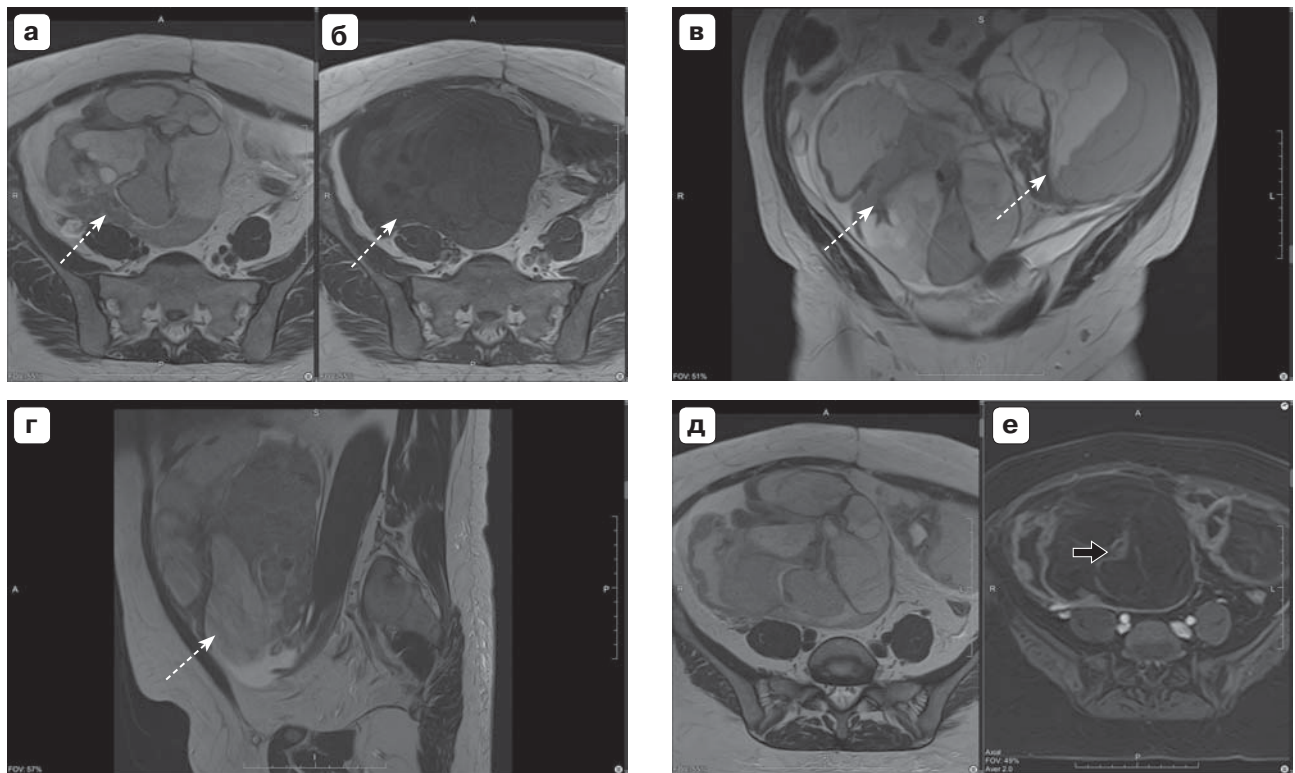
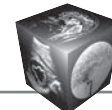


Рис. 2. Пациентка Ш., 46 лет, метастазы высокодифференцированной аденокарциномы кишечного типа в яичники. МРТ органов малого таза. **а, б** – T2- и T1ВИ в аксиальной плоскости, срез на уровне кистозно-солидной опухоли правого яичника; на T2- и T1ВИ определяется разная интенсивность МР-сигнала от кистозных включений опухоли с муцинозным содержанием (пунктирная стрелка); **в, г** – T2ВИ в коронарной и сагиттальной плоскостях, кистозно-солидные опухоли яичников отмечены стрелкой; **д** – T2ВИ в аксиальной плоскости; **е** – T1FS после контрастного усиления в аксиальной плоскости; черной стрелкой отмечены накапливающие контрастный препарат неравномерной толщины перегородки.

Fig. 2. Patient Sh., 46 years old. MRI of the pelvic organs. **а, б** – T2WI and T1WI in the axial plane, section at the level of the cystic-solid tumor of the right ovary; T2WI and T1WI show different MR signal intensities from the cystic inclusions of the tumor (dotted arrow); **в, г** – T2WI in the coronal and sagittal planes, cystic-solid tumors of the ovaries are marked with an arrow; **д** – T2WI in the axial plane; **е** – T1FS after contrast enhancement in the axial plane; the black arrow indicates the unevenly thick septa that accumulate the contrast agent.



Семiotические характеристики ВОЯ у пациенток при раке молочной железы по данным МРТ

Характерной особенностью поражения яичников при раке молочной железы следует отметить наименьшие размеры метастазов. Изменения были представлены гетерогенной структурой без четкой дифференциации кистозных и солидных участков. В ряде наблюдений визуализация малых опухолевых очагов, расположенных по капсуле, требовала проведения мультиплоскостного исследования, так как гиперинтенсивные участки солидной ткани сливались с жировыми подвесками сигмовидной кишки и связочным аппаратом матки (рис. 3). Достоверно семиотических различий ВОЯ между данными гистологическими типами выявлено не было, возможно, в связи с небольшим размером выборки.

Семiotические характеристики ВОЯ у пациенток при раке эндометрия по данным МРТ

Следует отметить, что при раке эндометрия в 5/6 наблюдений было одностороннее поражение яичников, что в большей степени подтверждает теорию контактной имплантации метастазов и отсеков “seed and soil”, при которой опухолевые клетки из полости матки ретроградно могут поступать в маточные трубы и имплантироваться в ткань яичника и брюшину. Ключевым моментом, позволяющим предположить метастаз эндометриоидной аденокарциномы, является наличие геморрагического содержимого в кистозном компоненте опухоли (рис. 4), что и было выявлено в ряде наших наблюдений. У части пациенток опухоль была представлена только папиллярными солидными разрастаниями, у части – диффузным утолщением яичника с потерей дифференцировки ткани.

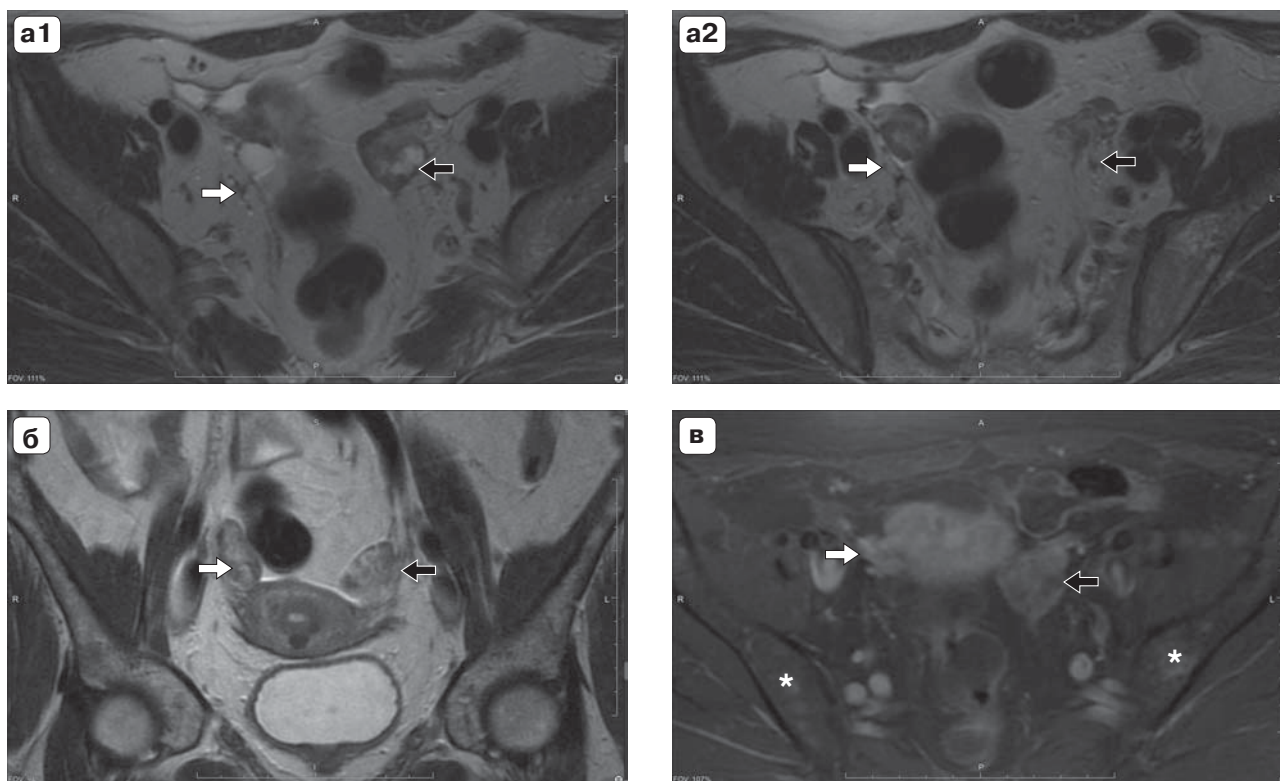


Рис. 3. МРТ органов малого таза пациентки с ВОЯ при раке молочной железы (инфильтративно-дольковый рак). **а** – серия Т2ВИ в аксиальной плоскости; **б** – Т2ВИ в коронарной плоскости; **в** – Т1fat sat ВИ после внутривенного контрастного усиления. Метастатически измененный правый яичник отмечен белой стрелкой, левый – черной. Также отмечается сочетанное поражение костей таза с повышенным накоплением парамагнетика (*).

Fig. 3. MRI of the pelvic organs of a patient with SOT for breast cancer (infiltrative lobular cancer). **a** – T2WI series in the axial plane; **б** – T2WI in coronal plane; **в** – T1fat sat WI after intravenous contrast enhancement. The metastatically changed right ovary is marked with a white arrow, black to the left. Bone damage and increased accumulation of paramagnetic (*) are also combined.

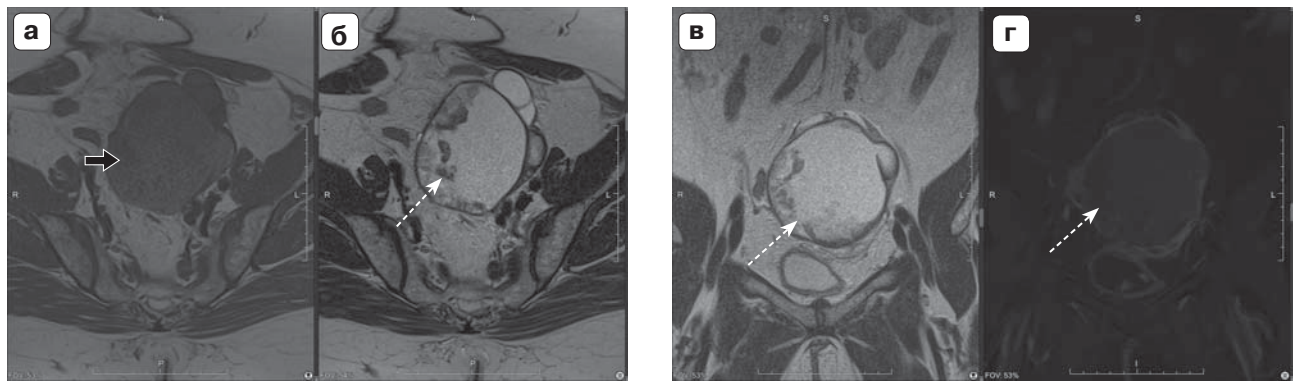
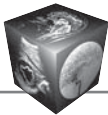


Рис. 4. МРТ органов малого таза пациентки с ВОЯ при раке эндометрия (высокодифференцированная эндометриодная аденокарцинома). **а** – T1ВИ в аксиальной плоскости; умеренное повышение МР-сигнала на T1ВИ – признаки минимального геморрагического/высокобелкового содержимого (черная стрелка); **б** – T2ВИ в аксиальной плоскости, пристеночные папиллярные разрастания в крупной кистозной опухоли левого яичника с отсутствием центральных перегородок; **в** – T2ВИ в коронарной плоскости; **г** – T1fat sat ВИ после внутривенного контрастного усиления в коронарной плоскости, пристеночные папиллярные компоненты повышено накапливают парамагнетик. Опухоль отмечена стрелкой.

Fig. 4. MRI of the pelvic organs of a patient with metastatic ovarian tumor with EC (well-differentiated endometrioid adenocarcinoma). **a** – T1WI in the axial plane; moderate increase in the MR signal on T1WI – signs of minimal hemorrhagic/high-protein content (black arrow); **б** – T2WI in the axial plane, parietal papillary growths in a large cystic tumor of the left ovary with the absence of central septa; **в** – T2WI in the coronal plane; **г** – T1fat sat WI after intravenous contrast enhancement in the coronal plane, parietal papillary components accumulate contrast agent. The tumor is marked with an arrow.

Семиотические характеристики ВОЯ у пациенток при раке шейки матки по данным МРТ

Метастатически измененные яичники в преобладающем большинстве включали в себя солидный компонент. При этом кистозный компонент

чаще всего наблюдался как проявление гидросальпинкса при сочетанном поражении маточных труб, что также укладывается в теорию имплантационного прикрепления опухолевых клеток при продвижении их по маточной трубе и последующем внедрении в яичник (рис. 5).

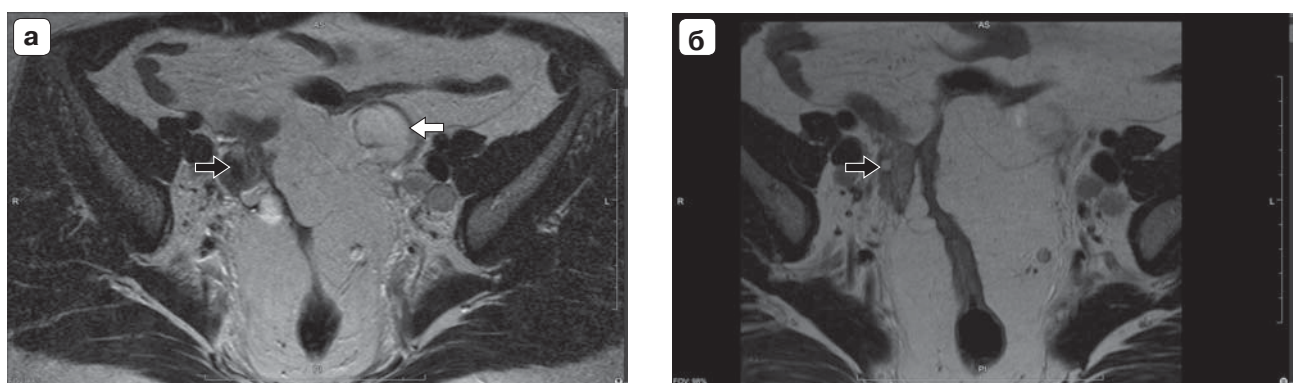
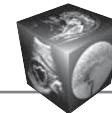


Рис. 5. МРТ органов малого таза пациентки с ВОЯ при раке шейки матки (высокодифференцированная плоскоклеточная карцинома). Серия T2ВИ в аксиальной плоскости. Правый яичник с опухолью отмечен черной стрелкой. Расширенная левая маточная труба с пристеночными солидными разрастаниями отмечена белой стрелкой.

Fig. 5. MRI of the pelvic organs of a patient with cervical cancer (moderately differentiated squamous cell carcinoma). T2WI in the axial plane. The right ovary with the tumor is marked with an black arrow. Dilated left fallopian tubes with solid parietal growths are marked with a white arrow.



Обсуждение

Вторичные опухоли яичников, по данным разных авторов, составляют 10–25% всех злокачественных опухолей яичников. Наиболее распространенными локализациями первичных опухолей при ВОЯ являются желудок, толстая кишка, прямая кишка, молочная железа, эндометрий и аппендикс [13].

Рассматривая механизм распространения злокачественной опухоли в яичник, ученые выделяют лимфогенный, гематогенный и трансцеломный пути [14]. При опухолях Крукенберга наравне с гематогенным путем распространения рассматривается и лимфогенный путь. Так, наличие богатой лимфоваскулярной сети в слизистой оболочке и подслизистой оболочке желудка, а также близкое расстояние от *receptaculum chyli (cisterna chyli)* до лимфатических узлов желудка, ворот печени, мезентериальных и поджелудочных узлов обеспечивает легкий переход злокачественных клеток в урогенитальные лимфатические сосуды [15]. Меньшая частота поражения брюшины при опухоли Крукенберга позволяет предположить, что трансцеломный путь не так распространен.

Первичные опухоли желудка часто обнаруживаются в слизистой и подслизистой оболочке, в местах с богатой лимфатической сетью. Исследования показали корреляцию между степенью поражения лимфатических узлов желудка с частотой возникновения метастазов в яичниках [16]. Опухоли Крукенберга индуцирует саркоматоидную пролиферацию стромы яичника и вызывает вариабельную инвазию стромы яичника низкодифференцированной аденокарциномой. Строма содержит смесь веретеновидных и круглых клеток с минимальной атипией. МРТ-визуализация опухоли Крукенберга типична своей симметричностью, средними размерами образований и преимущественной сохранностью фиброзной капсулы яичника [17].

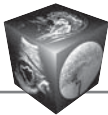
На долю метастазов колоректального рака приходится 12,5–41,2% среди всех ВОЯ. Говоря о метастазах аденокарциномы толстой кишки в яичник с учетом выявляемых объемов яичника в нашей выборке (Me 86 см³), следует провести клинко-диагностические параллели с первичной аденокарциномой яичника, в том числе с муцинпродуцирующим подтипом. Визуализация умеренно повышенного МР-сигнала на T1ВИ может натолкнуть на мысль о высоком содержании белка в жидкостном компоненте. Так, в крупном исследовании, включавшем в себя 51 пациентку с ВОЯ при колоректальном раке, в 69% наблюдений диаметр пораженных яичников превышал 5 см [18]. Таким образом, считаем целесообразным при первичной

визуализации на МР-томограммах крупных кистозно-солидных опухолей, выполняющих всю полость малого таза и нижние отделы брюшной полости, исключить первым делом первичную аденокарциному яичника и ВОЯ при раке толстой кишки с назначением диагностической колоноскопии.

Преобладающим гистологическим типом рака молочной железы с метастазами в яичники является инвазивная протоковая карцинома, за которой следует инвазивная дольковая карцинома, причем последняя нередко проявляется как первичный рак яичников. Рак молочной железы и рак яичников не являются редкой комбинацией у пациенток с мутацией BRCA 1/2 или без нее [19]. Это часто приводит к ситуациям, когда у больной раком молочной железы обнаруживается вновь диагностированное образование придатков, и необходимо определить происхождение опухоли яичника. В этой ситуации чаще всего используются иммуногистохимический анализ. Также комплексный геномный анализ позволяет отличить первичный рак яичников от метастатического поражения при раке молочной железы. Касаясь лучевой диагностики ВОЯ при раке молочной железы, следует указать на большие трудности диагностики данной патологии на ранних сроках, так как в этой подгруппе размеры яичников были одни из наименьших (Me 8,5 см³).

Метастазы эндометриоидной аденокарциномы в яичник следует дифференцировать с первичной эндометриоидной аденокарциномой яичника. Для диагностики рака, который развивается из эндометриоидных поражений, определен ряд критериев: наличие карциномы и эндометриодных гетеротопий в одном и том же яичнике; схожее гистологическое строение опухоли; исключение злокачественных поражений другой локализации [20]. С этиологией первичной эндометриоидной аденокарциномы яичника связывают эктопическое расположение ткани эндометрия, которая может подвергаться предраковым или даже злокачественным изменениям под влиянием определенных факторов, влияющих на структуру, функцию и пролиферацию клеток [21]. Метастатическое поражение яичников при РЭ определяется при наличии факторов неблагоприятного прогноза, таких как grade 3, глубина инвазии в миометрий, наличие лимфоваскулярной инвазии или гистологический тип опухоли, отличный от эндометриоидной аденокарциномы [22].

Таким образом, несмотря на разные гипотезы и видение процесса распространения опухолевых клеток, сегодня уже есть некоторые данные, связывающие различные гистологические типы опу-



холи с тем или иным способом распространения [23]. Среди всех путей опухолевой дессиминации трансцеломический путь незначителен в патогенезе ВОЯ, отсутствие вовлечения брюшины в большинстве ВОЯ и капсулы яичников является доказательством, подтверждающим это предположение. Также интересен тот факт, что в нашем исследовании в 70% случаев при одностороннем поражении было вовлечение именно левого яичника, что может быть обусловлено особенностями венозного оттока яичника: левая яичниковая вена не имеет клапаны и впадает в левую почечную вену, в отличие от правой яичниковой вены, которая имеет и клапанный аппарат и впадает напрямую в нижнюю полую вену. Если мы выдвигаем гипотезу, что при гематогенном метастазировании наблюдается преимущественно двустороннее поражение яичников, то при раке эндометрия, при котором чаще встречалось одностороннее поражение яичника, правдива теория контактного распространения опухолевых клеток ретроградно по ходу маточной трубы на яичник – теория контактной имплантации или теория семени и почвы – “seed and soil” [24].

Данное исследование было направлено на сравнение объемов и поиск семиотических различий ВОЯ, подтвержденных патоморфологическими исследованиями, которые позволили бы предположить генез первичной опухоли и могли быть использованы в алгоритме анализа МРТ. Это позволит сократить диагностический поиск и своевременно назначить специализированное противоопухолевое лечение.

Ограничения исследования

Ограничением данного исследования является малая выборка в подгруппах ВОЯ, по этой причине в исследовании не анализировалась корреляция даты возникновения метастазов в яичники и сроки выявления первичной опухоли.

Несмотря на то что мы выделяем ряд типичных семиотических признаков ВОЯ, рекомендуем придерживаться единого подхода к стратификации риска образования яичника – O-RADS MRI, который показал высокую информативность в выявлении злокачественных новообразований яичников в целом [25].

Заключение

В исследовании проводился анализ объемов и структуры яичников у пациенток с метастатическим поражением придатков матки при разных первичных нозологиях (рак желудка, прямой кишки, молочной железы, матки). В подгруппах ВОЯ выявлено, что объем метастатически измененных

яичников при раке желудка, толстой кишки и эндометрии достоверно больше, чем при раке молочной железы и раке шейки матки ($p < 0,05$). При этом наибольший объем метастатически измененных яичников наблюдается при раке толстой кишки, уровень значимости $<0,05$. В статье детально описаны семиотические МР-характеристики ВОЯ при разных первичных нозологиях, широко приведены наглядные клинические примеры, что позволит оптимизировать диагностический алгоритм обследования пациенток с новообразованиями яичников.

Участие авторов

Аксенова С.П., Нуднов Н.В. Солодкий В.А. – разработка дизайна исследования.

Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Сергеев Н.И., Шахвалиева Э.С.-А. – получение данных для анализа, анализ полученных данных, статистическая обработка материала.

Аксенова С.П. – написание текста рукописи.

Аксенова С.П., Нуднов Н.В. – обзор публикаций по теме статьи.

Authors' contribution

Aksenova S.P., Nudnov N.V., Solodkiy V.A. – development of study design.

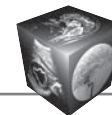
Aksenova S.P., Nudnov N.V., Sergeev N.I., Shakhvalieva E.S.-A. – obtaining data for analysis, analysis of the obtained data, statistical processing of the material.

Aksenova S.P. – writing the manuscript.

Aksenova S.P., Nudnov N.V. – review of publications on the topic of the article.

Список литературы [References]

1. Kubeček O., Laco J., Špaček J. et al. Clinicopathological Characteristics and Prognostic Factors in Ovarian Metastases from Right- and Left-Sided Colorectal Cancer. *Curr Oncol.* 2021; 28 (4): 2914–2927. <http://doi.org/10.3390/curroncol28040255>
2. Bruls J., Simons M., Overbeek L.I. et al. A national population-based study provides insight in the origin of malignancies metastatic to the ovary. *Virchows Arch.* 2015; 467 (1): 79–86. <http://doi.org/10.1007/s00428-015-1771-2>
3. Kubeček O., Laco J., Špaček J. et al. The pathogenesis, diagnosis, and management of metastatic tumors to the ovary: a comprehensive review. *Clin. Exp. Metastasis.* 2017; 34 (5): 295–307. <http://doi.org/10.1007/s10585-017-9856-8>
4. Aziz M., Killeen R.B., Carlson K., Kasi A. Krukenberg Tumor. 2024. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. PMID: 29489206
5. Yakushiji M., Tazaki T., Nishimura H., Kato T. Krukenberg tumors of the ovary: a clinicopathologic analysis of 112 cases. *Nihon Sanka Fujinka Gakkai Zasshi.* 1987; 39 (3): 479–485. PMID: 3031182
6. Fujiwara K., Ohishi Y., Koike H. et al. Clinical implications of metastases to the ovary. *Gynecol. Oncol.* 1995; 59 (1): 124–128. <http://doi.org/10.1006/gyno.1995.1278>



7. Мустафин Р.Н., Халикова Л.В., Хуснутдинова Э.К. Особенности метастазирования рака яичника. *Креативная хирургия и онкология*. 2020; 10 (4): 319–329. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2020-10-4-319-329>
Mustafin R.N., Khalikova L.V., Khusnutdinova E.K. Specific Features of Ovarian Cancer Metastasis. *Creative Surgery and Oncology*. 2020; 10 (4): 319–329. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2020-10-4-319-329> (In Russian)
8. Сыркашев Е.М., Солопова А.Е. Сравнение информативности предоперационной диагностики распространенного рака яичников по данным МРТ и МСКТ. *Акушерство и гинекология*. 2020; 12: 137–142. <https://dx.doi.org/10.18565/aig.2020.12.137-142>
Syrkashev E.M., Solopova A.E. Comparison of the diagnostic performance of MRI and MSCT in preoperative diagnosis of advanced ovarian cancer. *Akusherstvo i Ginekologiya = Obstetrics and Gynecology*. 2020; 12: 137–142. <https://dx.doi.org/10.18565/aig.2020.12.137-142> (In Russian)
9. Meyniel J.P., Cottu P.H., Decraene C. et al. A genomic and transcriptomic approach for a differential diagnosis between primary and secondary ovarian carcinomas in patients with a previous history of breast cancer. *BMC Cancer*. 2010; 10: 222. <http://doi.org/10.1186/1471-2407-10-222>
10. Fujimoto D., Hirono Y., Goi T., Yamaguchi A. Sigmoid colonic metastasis by lymphatic spread occurring with unilateral Krukenberg tumor considered to be caused by stage IA early gastric cancer: A case report. *Oncol. Lett*. 2016; 11 (1): 668–672. <http://doi.org/10.3892/ol.2015.3919>
11. Солопова А.Е., Терновой С.К., Мухаматуллина Э.З., Макацария А.Д. Методика комплексного магнитно-резонансного исследования в уточняющей диагностике образований яичника. *Акушерство, гинекология и репродукция*. 2016; 10 (4): 12–20. <https://doi.org/10.17749/2313-7347.2016.10.4.012-020>
Solopova A.E., Ternovoy S.K., Mukhamatullina E.Z., Makatsaria A.D. Advanced magnetic resonance imaging technique in the diagnosis of ovarian lesions. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. 2016; 10 (4): 12–20. <https://doi.org/10.17749/2313-7347.2016.10.4.012-020> (In Russian)
12. Xu Y., Yang J., Zhang Z., Zhang G. MRI for discriminating metastatic ovarian tumors from primary epithelial ovarian cancers. *J. Ovarian Res*. 2015; 8: 61. <http://doi.org/10.1186/s13048-015-0188-5>
13. de Wall Y.R., Thomas C.M., Oei A.L. et al. Secondary ovarian malignancies: frequency, origin and characteristics. *Int. J. Gynecol. Cancer*. 2009; 19 (7): 1160–1165.
14. Young R.H. From Krukenberg to today. The ever-present problem posed by metastatic tumor in the ovary: part 1. Historical perspective, general principles, mucinous tumors including the Krukenberg tumor. *Adv. Anat. Pathol*. 2006; 13 (5): 205–227.
15. Kiyokawa T., Young R.H., Scully R.E. Krukenberg tumors of the ovary: a clinicopathological analysis of 120 cases with emphasis on their variable pathological manifestations. *Am. J. Pathol*. 2006; 30 (3): 277–299. <http://doi.org/10.1097/01.pas.0000190787.85024.cb>
16. Kakushima N., Kamoshida T., Hirai S. et al. Early gastric cancer with Krukenberg tumor and review of cases of intramucosal gastric cancers with Krukenberg tumor. *J. Gastroenterol*. 2003; 38 (12): 1176–1180. <http://doi.org/10.1007/s00535-003-1227-3>
17. Roseland M.E., Millet J.D., Wasnik A.P. Imaging of Metastatic Disease to the Ovary/Adnexa. *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am*. 2023; 31 (1): 93–107. <http://doi.org/10.1016/j.mric.2022.06.005>
18. Shi S.Y., Li Y.A., Qiang J.W. Multiparametric MRI-based radiomics nomogram for differentiation of primary mucinous ovarian cancer from metastatic ovarian cancer. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2025; 50 (2): 1018–1028. <http://doi.org/10.1007/s00261-024-04542-y>
19. Gronwald J., Byrski T., Huzarski T. et al. Hereditary breast and ovarian cancer. *Hered Cancer Clin. Pract*. 2008; 6 (2): 88–98. <http://doi.org/10.1186/1897-4287-6-2-88>
20. Casey L., Singh N. Metastases to the ovary arising from endometrial, cervical and fallopian tube cancer: recent advances. *Histopathology*. 2020; 76 (1): 37–51. <http://doi.org/10.1111/his.13985>
21. Ильина И.Ю., Бурдин Д.В., Нариманова М.Р., Ибрагимов Д.М. Генитальный эндометриоз: патогенез, диагностика и связь с онкологическими заболеваниями. *РМЖ. Мать и дитя*. 2021; 4 (4): 339–345. <http://doi.org/10.32364/2618-8430-2021-4-4-339-345>
Il'ina I.Yu., Burdin D.V., Narimanova M.R., Ibragimova D.M. Genital endometriosis: pathogenesis, diagnosis, and association with malignancies. *Russian Journal of Woman and Child Health*. 2021; 4 (4): 339–345. <http://doi.org/10.32364/2618-8430-2021-4-4-339-345> (In Russian)
22. Yamanishi Y., Koshiyama M., Ohnaka M. et al. Pathways of metastases from primary organs to the ovaries. *Obstet. Gynecol. Int*. 2011; 2011:612817. <http://doi.org/10.1155/2011/612817>
23. Horn L.C., Höhn A.K., Stark S. et al. Endocervical adenocarcinoma in situ (AIS) with ovarian and pulmonary involvement: report of a case and review of the literature suggesting a “seed and soil hypothesis”. *J. Cancer Res. Clin. Oncol*. 2019; 145 (8): 2061–2069. <http://doi.org/10.1007/s00432-019-02966-4>
24. Yachida N., Yoshihara K., Yamaguchi M. et al. How Does Endometriosis Lead to Ovarian Cancer? The Molecular Mechanism of Endometriosis-Associated Ovarian Cancer Development. *Cancers (Basel)*. 2021; 13 (6): 1439. <http://doi.org/10.3390/cancers13061439>
25. Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Сланская А.В., Солодкий В.А. В помощь практикующему врачу: визуализация образований яичников в соответствии с категориальной шкалой оценки рисков злокачественности образований яичников O-RADS MRI. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104 (3): 222–238. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-3-222-238>
Aksenova S.P., Nudnov N.V., Slanskaya A.V., Solodkiy V.A. To Help the Practitioner: Imaging of Ovarian Masses According to the O-RADS MRI Ovarian Malignancy Categorical Risk Scale. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104 (3): 222–238. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-3-222-238> (In Russian)



Для корреспонденции*: Аксенова Светлана Павловна – e-mail: fabella@mail.ru

Аксенова Светлана Павловна – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории рентгенодиагностики научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; ассистент кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>. E-mail: fabella@mail.ru.

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru

Сергеев Николай Иванович – доктор мед. наук, заведующий лабораторией рентгенодиагностики научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры рентгенодиагностики ФДПО ФГАОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>. E-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>.

Шахвалиева Элина Саид-Аминовна – клинический ординатор по специальности “рентгенология” ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; врач-кибернетик ГБУЗ города Москвы “Детская городская клиническая больница № 9 им. Г.Н. Сперанского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-7535-8523>. E-mail: shelina9558@gmail.com

Contact*: Svetlana P. Aksenova – e-mail: fabella@mail.ru

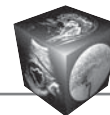
Svetlana P. Aksenova – Cand. of Sci. (Med.), research fellow, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Assistant Professor, Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>. E-mail: fabella@mail.ru

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Research Department for Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Roentgenoradiology and Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Radiology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru

Nikolay I. Sergeev – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Laboratory of X-ray Radiology of the Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department Roentgenoradiology of FDPO of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>. E-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Vladimir A. Solodkiy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), 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>.

Elina S-A. Shakhvalieva – clinical resident in the specialty “radiology” of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Cyberneticist, G.N. Speransky Children's City Clinical Hospital No. 9 of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-7535-8523>. E-mail: shelina9558@gmail.com



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1573>

Ретроспективный анализ данных МРТ пациентов, перенесших фьюжн-биопсию предстательной железы

© Громов А.И.^{1, 2}, Корякин А.В.¹, Каприн А.Д.^{6, 3, 4},
Алексеев Б.Я.^{6, 5}, Сивков А.В.¹, Толстов И.С.^{1*}

¹ НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 105425 Москва, 3-я Парковая ул., д. 51, стр. 1, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России; 127006 Москва, ул. Долгоруковская, д. 4, Российская Федерация

³ МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3, Российская Федерация

⁴ ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

⁵ ФГБОУ ВО “Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)”;

⁶ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3, Российская Федерация

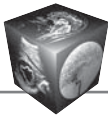
Цель исследования: определить причины низкой эффективности МРТ-критериев рака предстательной железы (РПЖ) на основе сопоставления с морфологическими данными, полученными при фьюжн-биопсии.

Материал и методы. Проведено ретроспективное изучение данных МРТ предстательной железы (ПЖ), на основании которых была выполнена фьюжн-биопсия 38 пациентам. Врач-рентгенолог с семилетним опытом проводил ретроспективное изучение результатов исследований. Проведено сопоставление выявленных подозрительных очагов с результатами морфологической оценки биоптатов, полученных из данного отдела ПЖ. Изучены и систематизированы причины ложных результатов.

Результаты. В протоколах МРТ-исследования было отмечено 54 МРТ-положительных очага, которые были подвергнуты фьюжн-биопсии. В 34 наблюдениях результаты МРТ были ложноположительными и обусловлены локальным воспалением со снижением интенсивности сигнала на Т2-взвешенных изображениях (ВИ), с признаками ограничения диффузии и раннего накопления контрастного препарата – 16 наблюдений, в том числе клиновидной формы; инкапсулированными узлами гиперплазии – 7 случаев; минимальными размерами изменений – 3 наблюдения. В 2 случаях имела место переоценка данных диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) и динамического контрастного усиления (ДКУ). В 24 биоптатах, полученных при систематической биопсии, была выявлена аденокарцинома в участках, которые не были отмечены при МРТ-ложноотрицательных результатах. Дополнительный анализ результатов МРТ позволил ретроспективно обнаружить изменения в данных участках только в 1 случае. Чувствительность МРТ составила 45%, прогностичность положительного результата – 37%.

Выводы. Результаты исследования выявили существенную субъективность в интерпретации МРТ-данных при диагностике РПЖ. Гипердиагностика опухолевых изменений оказалась значительной, с частотой ложноположительных результатов 55% в периферической зоне (PZ) и 72% в транзитной зоне (TZ). Наибольшая доля ложноположительных результатов – 26 (76%) из 34 – имела место в категории PI-RADS 3. Основной причиной ошибочной диагностики (32% случаев) стали морфологические изменения, обусловленные диффузным или локальным воспалением, которые имитировали опухоль: снижение сигнала на Т2ВИ, ограничение диффузии и раннее контрастное усиление при ДКУ. В 21% случаев ложноположительные результаты в TZ были связаны с недостаточным вниманием к признаку полной инкапсулированности подозрительных узлов, который можно подтвердить при последовательном анализе Т2ВИ на смежных срезах. Еще 15% ложноположительных результатов в PZ возникли из-за недооценки клиновидной формы очагов, являющейся ключевым дифференциальным признаком.

Полученные данные подчеркивают необходимость стандартизации критериев оценки данных МРТ, детального анализа выявленных очагов, учета клинических данных о воспалении и для снижения гипердиагностики.



Ключевые слова: PI-RADSV2.1; рак предстательной железы; мультипараметрическая МРТ; PIRADS; фьюжн-биопсия предстательной железы

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Громов А.И., Корякин А.В., Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Сивков А.В., Толстов И.С. Ретроспективный анализ данных МРТ пациентов, перенесших фьюжн-биопсию предстательной железы. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 107–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1573>

Поступила в редакцию: 04.06.2025. **Принята к печати:** 27.06.2025. **Опубликована online:** 29.10.2025.

Retrospective analysis of MRI data in patients undergoing fusion biopsy of the prostate

© Alexander I. Gromov^{1, 2}, Andrey V. Koryakin¹, Andrey D. Kaprin^{6, 3, 4}, Boris Ya. Alekseev^{6, 5}, Andrey V. Sivkov¹, Ivan S. Tolstov^{1*}

¹ N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russian Federation; 51-1, 3rd Parkovaya str., Moscow 105425, Russian Federation

² The Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Dolgorukovskaya str., Moscow 127006, Russian Federation

³ 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

⁴ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

⁵ Russian Biotechnological University; 11, Volokolamskoye shosse, Moscow 125080, Russian Federation

⁶ National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky proezd, Moscow 125284, Russian Federation

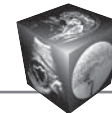
To investigate the causes of low diagnostic accuracy of MRI criteria for prostate cancer by correlation with histopathological findings from MRI-targeted fusion biopsy.

Materials and methods. A retrospective analysis of prostate MRI data was performed in 38 patients who subsequently underwent MRI-targeted fusion biopsy. All imaging studies were independently reviewed by a radiologist with 7 years of experience in prostate imaging. Identified suspicious lesions were correlated with histopathological findings from corresponding prostate biopsy samples. The causes of discordant results were systematically analyzed and categorized.

Results. The MRI studies identified 54 MRI-positive lesions that subsequently underwent fusion biopsy. Among these, 34 cases demonstrated false-positive MRI findings attributed to the following causes: localized inflammation exhibiting T2-weighted hypointensity, restricted diffusion, and early contrast enhancement (16 cases, including wedge-shaped lesions); encapsulated hyperplastic nodules (7 cases); and minimal lesion size (3 cases). Two cases resulted from overinterpretation of diffusion-weighted imaging (DWI) and dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI data. Systematic biopsy revealed adenocarcinoma in 24 tissue samples obtained from areas not identified as suspicious on MRI (false-negative results). Retrospective analysis of MRI findings allowed detection of subtle abnormalities in only one of these cases. The MRI demonstrated a sensitivity of 45% and positive predictive value of 37%.

Conclusion. The study results revealed substantial subjectivity in MRI data interpretation for prostate cancer diagnosis. Overdiagnosis of tumorous changes was significant, with false-positive rates of 55% in the peripheral zone (PZ) and 72% in the transition zone (TZ). The highest proportion of errors (76%) occurred in PI-RADS category 3 lesions, where 26 out of 34 false-positive findings were associated with this group. The primary cause of misdiagnosis (32% of cases) was morphologic changes caused by diffuse or localized inflammation mimicking tumor features: hypointensity on T2-weighted imaging (T2WI), restricted diffusion, and early enhancement on dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI. In 21% of TZ cases, errors were related to insufficient attention to the complete encapsulation sign of suspicious nodules, which can be confirmed through sequential analysis of T2WI on adjacent slices. An additional 15% of false-positive results in the PZ occurred due to underestimation of wedge-shaped lesion morphology, a key differential diagnostic feature. These findings highlight the need for standardized MRI evaluation criteria, detailed analysis of lesion characteristics, and incorporation of clinical inflammation data to reduce overdiagnosis.

Keywords: PI-RADSV2.1; prostate cancer; MRI; PIRADS; MRI-targeted fusion biopsy



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

For citation: Gromov A.I., Koryakin A.V., Kaprin A.D., Alekseev B.Y., Sivkov A.V., Tolstov I.S. Retrospective analysis of MRI data in patients undergoing fusion biopsy of the prostate. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 107–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1573>

Received: 04.06.2025.

Accepted for publication: 27.06.2025.

Published online: 29.10.2025.

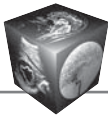
Введение

В настоящее время мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (мпМРТ) является общепризнанным методом визуализации изменений в предстательной железе (ПЖ) и используется для оценки целесообразности пункции и определения местоположения подозрительных участков для прицельной биопсии [1]. Интерпретация получаемых при мпМРТ данных должна проводиться в соответствии со специально разработанной системой оценки PI-RADS v2.1 [2–4]. Проведенные работы показали, что следование рекомендациям данной системы повышает показатели диагностической эффективности МРТ не только в диагностике рака предстательной железы (РПЖ), но и в оценке степени его злокачественности [5]. Объективная трудность МРТ-диагностики РПЖ, особенно в транзитной зоне, в передних отделах и в верхушке, обуславливает большое число ложноотрицательных и особенно ложноположительных результатов, что определяет низкие показатели специфичности метода. М.А. Arafa и соавт. (2023) [6] показали, что доля ложноположительных результатов МРТ составила 51,1%. В этих условиях, безусловно, представляют интерес любые попытки сопоставить изменения, обнаруженные при МРТ, с морфологическими данными в том же участке ПЖ. Такие возможности в настоящее время представляет исследование полученного морфологического материала не только при радикальной простатэктомии, но и при целенаправленной пункции. Однако большинство работ, основанных на сопоставлении данных МРТ, оцененных в соответствии с рекомендациями PI-RADS v2.1, с результатами морфологического исследования материала, полученного в результате пункции или простатэктомии, посвящено статистическому анализу частоты выявления рака по данным МРТ и, прежде всего, для различных вариантов систематической и направленной пункции. Показана большая частота встречаемости рака при PI-RADS 5, чем при PI-RADS 4 [7]. Y. Liu и соавт. (2023) [8], изучив 356 отдельных очагов, обнаруженных при МРТ, из которых 208 оказались очагами клинически значимого рака, показали преимущества таргетной биопсии при опухолях периферической зоны, в то время как при опухолях транзитной зоны таргетную биопсию рекомендовано было сочетать с сис-

тематической. F.J.H. Drost и соавт. (2019) [9] провели метаанализ 18 исследований, результатом которого явилось то, что использование МРТ позволяет повысить эффективность выявления рака по сравнению с систематической пункцией. Результатом проведенной работы L. Klotz и соавт. (2021) [10] явилось то, что клинически значимый РПЖ был выявлен в 35% при МРТ с прицельной биопсией против 30% при систематической.

Ряд работ посвящен оценке эффективности отдельных параметров МРТ в диагностике РПЖ. С. Aritrick и соавт. (2019) [11] на основе результатов МРТ и морфологических сопоставлений сравнивали количественные данные диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) и T2-взвешенных изображений (ВИ) в дифференциальной диагностике доброкачественной гиперплазии ПЖ (ДГПЖ) и рака в транзитной зоне ПЖ. Использование количественных T2ВИ не подтвердило возможность дифференцировать рак, железистую и стромальную ДГПЖ. Часть работ посвящена проблеме зависимости результатов МРТ от индивидуального опыта исследователя. Н.С. Kang и соавт. (2021) [12], сравнив частоту встречаемости ложных заключений при МРТ ПЖ, показали значительно большую точность в заключениях специалистов со значительным стажем в области оценки ПЖ и обычных абдоминальных рентгенологов – 80,1 и 54,6% соответственно.

Только некоторые работы посвящены анализу МРТ-семиотики РПЖ и оценке значимости отдельных МРТ-признаков опухоли, на которых, собственно, и основана МРТ-диагностика заболевания. J.S. Quon и соавт. (2015) [13] попытались проанализировать причины ложноположительных результатов, возникающих при мпМРТ ПЖ. В данном обзоре на основании анализа работ предыдущих лет поднимается вопрос о проблемах оценки изменений в центральной зоне и передней фибромышечной строме, в узлах доброкачественной гиперплазии, при остром и хроническом простатите, при последствиях предшествующих пункций. Работа C.S. Lim и соавт. (2021) [14] посвящена проблеме оценки не полностью инкапсулированных узлов транзитной зоны. Показано, что встречаемость рака в таких узлах была ниже (28%) по сравнению с обычными, неинкапсулированными участками PI-RADS 3 (44%). E. Rourke и соавт. (2019) [15] проанализировали



случаи ложноположительных результатов МРТ, которых оказалось 70,5%, и показали, что 54,5% поражений были обусловлены воспалением (морфологически подтвержденным).

В то же время работ, посвященных определению того, что явилось причиной принятия диагностического решения, которое оказалось ложным, в доступной литературе нами не обнаружено.

Материал и методы

Проведено ретроспективное изучение данных МРТ, на основании которых была выполнена фьюжн-биопсия ПЖ 38 пациентам. МРТ этим пациентам выполнялась на томографах с напряженностью магнитного поля 1,5 и 3 Тл в различных учреждениях. Однако протокол всех исследований включал: FSE T2 в трех плоскостях с различной толщиной среза, аксиальные ДВИ, в том числе с высоким b-фактором – более 1400 с/мм², с построением карт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), аксиальные изображения динамического контрастного усиления (ДКУ).

У этих пациентов было выявлено 54 МРТ-положительных очага в ПЖ, которые были отмечены в протоколе исследования. Все выявленные при МРТ очаги, подозрительные на РПЖ, были подвергнуты фьюжн-биопсии. При этом каждый из таких участков подвергался 3–4–5 пункциям в зависимости от размера. Помимо этого, во всех случаях дополнительно выполнялась систематическая биопсия ПЖ с суммарным количеством биопсийных выстрелов от 12 до 22.

Все полученные биоптаты были подвергнуты морфологическому исследованию с оценкой балла по Глисон и указанием процента поражения площади среза столбика.

Было проведено сопоставление выявленных подозрительных очагов, их местоположение, балл по классификации PI-RADS v.2-1 с результатами морфологической оценки биоптатов, полученных из данного отдела ПЖ.

Методика фьюжн-биопсии ПЖ

Первым этапом явилась подготовка плана биопсии при помощи специального программного обеспечения MIM Symphony. Импорт данных МРТ осуществлялся из PACS (системы передачи и архивации изображений) или с USB- и DVD-носителя. После этого совместно с врачом-рентгенологом проводили загрузку в планирующую систему необходимых серий (T2 ax, T2 cor, DCE, DWI, ADC), производили оконтуривание ПЖ и подозрительных очагов (рис. 1).

Пункция ПЖ проводилась в условиях операционной. Устанавливался уретральный катетер Foley №16-20 Ch. В прямую кишку вводили специальный ультразвуковой датчик для чреспростежных манипуляций, который закреплялся на брахитерапевтическом степпере. Производилось сканирование ПЖ от основания к вершуске с последующим совмещением полученных контуров МРТ с “живым” ультразвуковым изображением. После завершения совмещения изображений проводи-

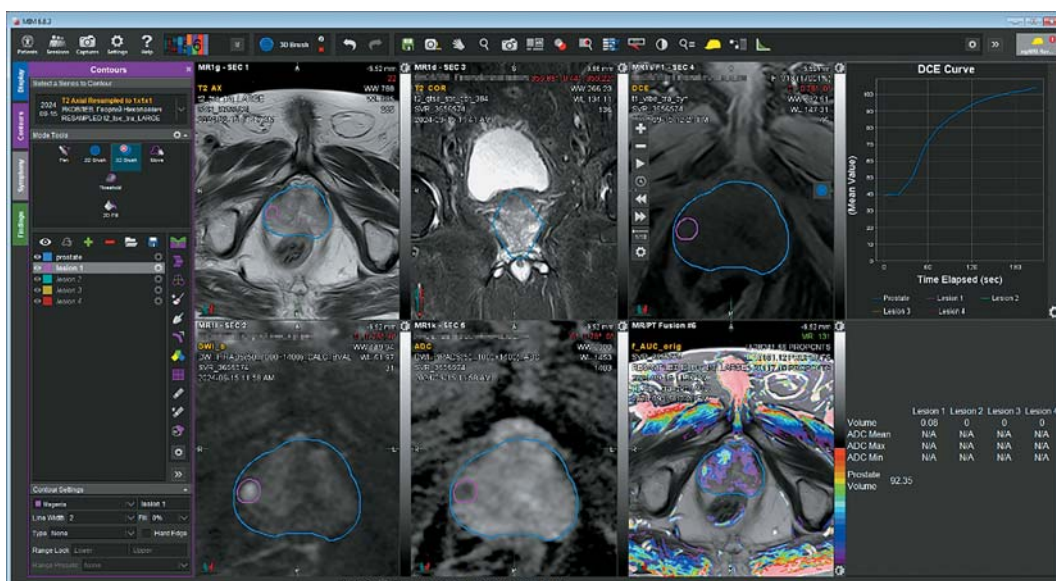


Рис. 1. Процесс оконтуривания предстательной железы и подозрительных очагов.

Fig. 1. Prostate gland and suspicious lesions contouring process.



Рис. 2. Ультразвуковой датчик, установленный на брахитерапевтическом степпере. Забор биоптатов производится через координатную решетку.

Fig. 2. Ultrasound transducer mounted on a brachytherapy stepper. Biopsy cores are obtained through the coordinate grid.

лась таргетная биопсия ПЖ с возможностью регистрации каждого биопсийного выстрела (рис. 2).

После окончания биопсии формировалась подробная 3D-карта – отчет с детальным описанием и наглядным графическим представлением каждого биопсийного выстрела, а также их фотографическое подтверждение (рис. 3).

Результаты исследования

В протоколах описания результатов МРТ ПЖ 38 пациентов было отмечено 54 отдельных очага с различной степенью вероятности наличия клинически значимого РПЖ. 29 очагов располагались в периферической зоне (PZ) и 25 – в транзитной зоне (TZ). В зависимости от балла, определенного в соответствии с классификацией PI-RADS v2.1, выявленные очаги были следующими: PI-RADS 3 – 30, PI-RADS 4 – 14, PI-RADS 5 – 10. Распределение выявленных очагов в зависимости от их зональной принадлежности и категории по PI-RADS представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение выявленных очагов в зависимости от их зональной принадлежности и категории по PI-RADS v2.1

Table 1. Distribution of identified focal lesions according to zonal anatomy and PI-RADS v2.1 classification

Зона исследования Research area	PI-RADS 3 (30)	PI-RADS 4 (14)	PI-RADS 5 (10)
Периферическая Peripheral zone (PZ)	14	10	5
Транзитная Transition zone (TZ)	16	4	5

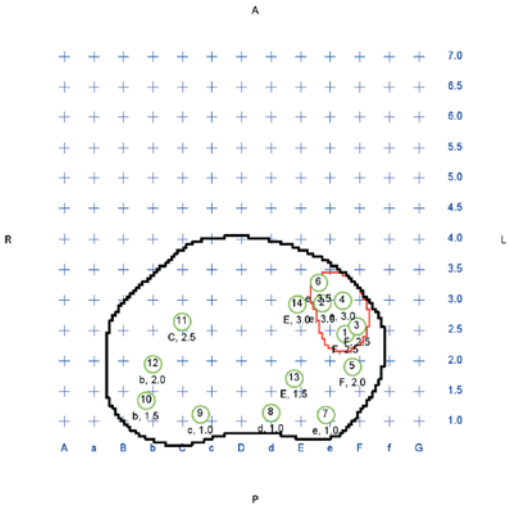


Рис. 3. Фрагмент постбиопсийного отчета. Схема расположения биоптатов в предстательной железе.

Fig. 3. Post-biopsy report excerpt. Diagram of biopsy core distribution within the prostate gland.

При первично установленной категории PI-RADS 5 из 10 отмеченных очагов в 5 было подтверждено наличие ацинарной аденокарциномы. Среди них Глисон (3+4) был у 2 и (4+3) был также у 2 и у 1 – Глисон 8 (4+4). В 4 случаях морфологического подтверждения наличия рака не было. Из них в 3 случаях повторный ретроспективный анализ клинических и МРТ-данных показал наличие диффузного воспаления в железе, сопровождающегося снижением интенсивности сигнала, ограничением диффузии и ранним контрастированием при ДКУ. В одном случае категория PI-RADS явно была завышена. И хотя отмечались изменения на ДВИ, они не подтверждались данными карты ИКД (рис. 4).

При установленной категории PI-RADS 4 биопсия подтвердила действительное наличие аденокарциномы в 10 случаях из 14 (Глисон 6 (3+3) – 6; Глисон 7 (3+4) – 2; Глисон 7 (4+3) – 1; Глисон 8 (4+4) – 1).

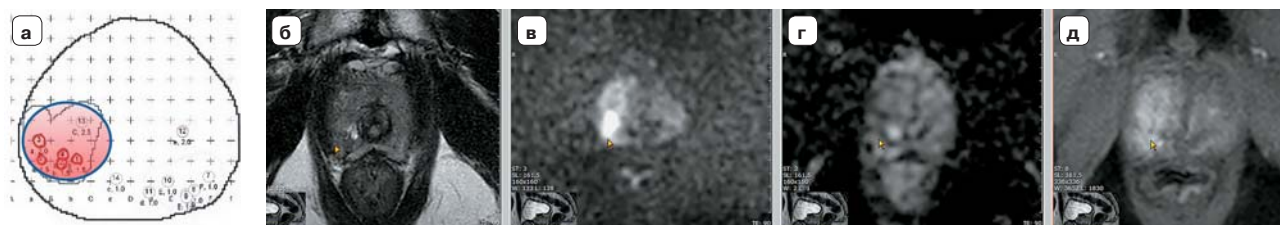


Рис. 4. Случай завышения категории PI-RADS. **а** – постбиопсийный отчет (красным цветом отмечено местоположение подозрительного участка по данным МРТ, из которого получали дополнительные таргетные биоптаты.); **б** – Т2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД; **д** – ДКУ. В PZ в правой доле определяется участок высокой интенсивности сигнала на ДВИ (b-фактор 1400) (стрелки) и признаками раннего накопления контрастного препарата при ДКУ, однако карта ИКД не подтверждает ограничение диффузии в данном участке.

Fig. 4. Case of PI-RADS category overestimation. **а** – Post-biopsy report (red indicates MRI-suspicious area for additional targeted cores); **б** – T2WI; **в** – High b-value DWI; **г** – ADC map; **д** – DCE. The PZ of the right lobe shows a hyperintense area on DWI ($b = 1400 \text{ s/mm}^2$, arrows) with early contrast enhancement on DCE, but the ADC map demonstrates no definitive diffusion restriction.

При установленной категории PI-RADS 3 биопсия подтвердила действительное наличие аденокарциномы только в 4 случаях из 30. Оценка по шкале Глисона была следующей: Глисон 6 (3+3) – 2; Глисон 8 (4+4) – 2.

Данные о распределении выявленных при МРТ очагов в зависимости от места положения и наличия морфологического подтверждения представлены в табл. 2.

Из представленных данных следует, что в 34 (63%) случаях имели место ложноположительные результаты при первичной оценке МРТ – морфо-

логическое исследование биоптатов из отмеченных участков ПЖ не показало наличия опухоли. В этих случаях оценка PI-RADS 3 была установлена в 26 случаях, PI-RADS 4 – в 4, PI-RADS 5 – в 4 случаях.

Для определения наличия различий значений простатспецифического антигена (ПСА) у пациентов с подтвержденным РПЖ и у пациентов, у которых он не подтвердился или был обнаружен только в одном участке при систематической пункции со значениями Глисон 6 (3+3), было проведено сопоставление таких данных (табл. 3).

Таблица 2. Распределение выявленных при МРТ очагов в зависимости от места положения и наличия морфологического подтверждения

Table 2. Distribution of MRI-detected lesions by anatomical location and histopathological confirmation status

Зона исследования Research area	Морфологически подтверждено Histologically confirmed	Морфологически не подтверждено Not histologically confirmed
Периферическая Peripheral zone (PZ)	13	16
Транзиторная Transition zone (TZ)	7	18
Всего Total	20	34

Таблица 3. Средние значения общего ПСА у пациентов с наличием и отсутствием морфологического подтверждения рака или его обнаружения в одном биоптате в зависимости от установленной категории PI-RADS

Table 3. Mean values of total PSA in patients with and without morphological confirmation of cancer or its detection in a single biopsy core depending on the established PI-RADS category

PI-RADS	Морфологически подтверждено Histologically confirmed	Морфологически не подтверждено Not histologically confirmed
PI-RADS 3	7,0	7,5
PI-RADS 4	6,6	6,5
PI-RADS 5	11,8	

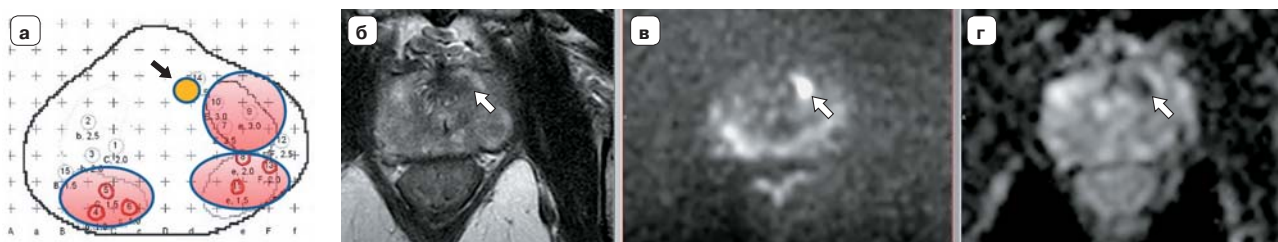
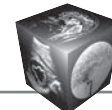


Рис. 5. Очаг аденокарциномы (стрелка), обнаруженный при морфологическом исследовании материала, полученного при систематической пункции, не отмеченный при первичном описании МРТ. **а** – постбиопсийный отчет (красным цветом отмечено местоположение подозрительных участков по данным МРТ, из которых целенаправленно получали дополнительные биоптаты. Желтым цветом отмечен участок, при систематической пункции которого была выявлена аденокарцинома, однако изменения при МРТ в этом отделе не отмечались); **б** – T2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД. В TZ в нижней трети железы имеется очаг сниженной интенсивности МР-сигнала на T2ВИ, в котором имеются признаки ограничения диффузии.

Fig. 5. Adenocarcinoma focus (arrow) detected on systematic biopsy but missed during initial MRI interpretation. **a** – Post-biopsy report (red indicates MRI-suspicious areas for targeted biopsies; yellow marks the systematic biopsy-proven adenocarcinoma site with no corresponding MRI findings); **б** – T2WI; **в** – High b-value DWI ($b = 1400 \text{ s/mm}^2$); **г** – ADC map. The TZ in the inferior third of the gland shows a hypointense T2WI lesion with diffusion restriction features.

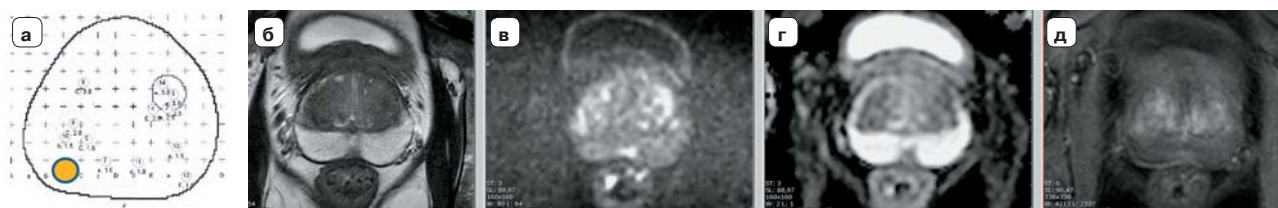


Рис. 6. Наблюдение пациента, у которого при морфологическом исследовании: “В одном из четырнадцати столбиков ткани предстательной железы (№8) определяется очаг, подозрительный на ацинарную аденокарциному”. №8 располагается в периферической зоне справа в PZ (д). **а** – постбиопсийный отчет (желтым цветом отмечено местоположение участка, из которого получено морфологическое подтверждение); **б** – T2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД; **д** – ДКУ. При МРТ данных о наличии РПЖ не получено.

Fig. 6. Case study of a patient with histopathological findings: “One of fourteen prostate tissue cores (Core 8) contained a focus suspicious for acinar adenocarcinoma”. Core 8 was located in the right peripheral zone (PZ) (panel д). **a** – Post-biopsy report (yellow indicates the biopsy-proven location); **б** – T2-weighted imaging (T2WI); **в** – High b-value diffusion-weighted imaging (DWI); **г** – Apparent diffusion coefficient (ADC) map; **д** – Dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI. No MRI findings suggestive of prostate cancer were identified in this case.

Таким образом, у пациентов, у которых РПЖ не был обнаружен при морфологическом исследовании или обнаружен единичный очаг при систематической пункции, значения ПСА не отличались от таковых у больных с подтвержденным раком ни в категории PI-RADS 3, ни в PI-RADS 4.

Ложноотрицательные результаты

В 24 биоптатах, полученных при систематической биопсии, была выявлена аденокарцинома в участках, которые не были отмечены при МРТ. Дополнительный анализ результатов МРТ позволил ретроспективно обнаружить изменения в таком участке только в 1 случае. В TZ в нижней трети железы имелся очаг сниженной интенсивности МР-сигнала на T2ВИ, в котором имелись признаки ограничения диффузии (рис. 5). Во всех остальных

23 случаях изменений на МР-томограмме в области, где был получен биоптат с положительным морфологическим заключением, обнаружено не было (рис. 6). Во всех случаях балл по Глисон составил 6 (3+3). В тех случаях, когда в протоколе морфологического исследования была отмечена площадь среза столбика, она составляла до 10% в 4 случаях и до 20% в 2 случаях.

Обсуждение

Вначале нужно отметить, что у данного исследования есть некоторые ограничения. Во-первых, было принято за истину, что таргетные биоптаты получены именно из того участка ПЖ, который был отмечен в протоколе МРТ. Во-вторых, повторную оценку результатов МРТ проводил единственный врач-рентгенолог, что, безусловно, вносит опре-



Таблица 4. Причины ложноположительных результатов
Table 4. Causes of false-positive results

Причина Cause	PI-RADS 3 (26)	PI-RADS 4 (4)	PI-RADS 5 (4)
Наличие полей снижения интенсивности МР-сигнала на Т2ВИ с признаками раннего контрастирования при ДКУ и умеренного ограничения диффузии, но имеющих диффузное распространение, в том числе двустороннее, что характерно для воспаления The presence of areas with reduced signal intensity on T2-weighted images showing early enhancement on DCE-MRI and moderate diffusion restriction, but demonstrating diffuse (including bilateral) distribution, which is characteristic of inflammatory changes	6	1	4
Не принято во внимание наличие капсулы, полностью окружающей узел в TZ, в том числе с признаками ограничения диффузии The presence of a capsule completely surrounding the nodule in the TZ (transition zone), including features of diffusion restriction, was not taken into account	6	1	
Наличие полей снижения интенсивности МР-сигнала на Т2ВИ с признаками раннего контрастирования при ДКУ и умеренного ограничения диффузии, но имеющих форму клина Presence of areas with reduced signal intensity on T2-weighted imaging (T2WI) demonstrating early enhancement on dynamic contrast-enhanced MRI (DCE-MRI) and moderate diffusion restriction, but exhibiting a wedge-shaped morphology	3	2	
Наличие отдельных участков, имеющих повышенную интенсивность сигнала на ДВИ с высоким b-фактором и низкой интенсивностью на карте ИКД, однако имеющих минимальный размер и отражающихся только на одном срезе Presence of focal areas showing high signal intensity on high b-value DWI with corresponding low signal intensity on ADC maps, though demonstrating minimal size and visibility on only a single slice	5		
Переоценка данных ДВИ при отсутствии изменений на карте ИКД Reassessment of DWI findings is warranted in the absence of ADC map changes	1		
Переоценка данных ДКУ, в том числе в TZ Reassessment of DCE-MRI findings, including in the transition zone (TZ)	1		
Нет объяснения. Изменения на МРТ не обнаружены No explanation. No MRI changes were detected	4		

деленный субъективизм. Кроме того, следует отметить, что низкие показатели диагностической ценности мпМРТ обусловлены тем, что большая часть пациентов получила значение PI-RADS 3.

Анализ полученных данных показал, что число очагов, подозрительных на РПЖ, располагающихся в TZ, превышал их число в PZ – 29 и 25 соответственно (см. табл. 1). Однако этот факт не опровергает распространенное мнение, что РПЖ возникает прежде всего в PZ. Вероятно, это обусловлено тем, что в настоящее время из-за сложности картины TZ на фоне различного рода узлов доброкачественной гиперплазии число участков, которые вызывают подозрение на опухолевые, велико. Безусловно, данный факт обусловлен, прежде всего, значительной субъективностью, которая присутствует при анализе МР-картины ПЖ.

Проведен анализ 34 случаев ложноположительных результатов МРТ. Попытка систематизи-

ровать причины данных ложных заключений с указанием, какую МР-картину имели подозрительные участки в ПЖ, представлена в табл. 4. Конечно, нужно отметить, что такая систематизация в значительной степени субъективна, так как основана на мнении одного рентгенолога, получившего впечатление от анализа имеющегося материала.

Представленные данные свидетельствуют о том, что подавляющее число ложноположительных заключений было в категории PI-RADS 3 (26 из 34), что совершенно объяснимо.

У 11 пациентов, у которых не было подтверждено наличие РПЖ, при ретроспективной оценке данных МРТ было обнаружено наличие больших полей сниженного МР-сигнала на Т2ВИ, при этом в этих же участках отмечались признаки ограничения диффузии и раннего накопления контрастного препарата при ДКУ (рис. 7, 8). Безусловно, совокупность таких признаков могла быть основанием

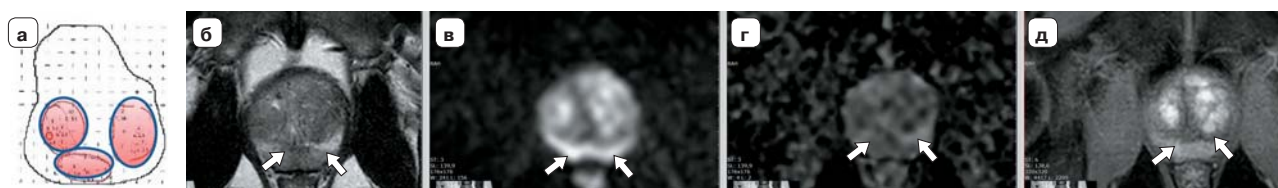
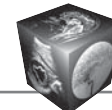


Рис. 7. Обширное поле в обеих половинах ПЗ, имеющее все признаки злокачественности (стрелки), не подтвержденное морфологическим исследованием, очевидно, обусловленное воспалением. **а** – постбиопсийный отчет (красным цветом отмечено местоположение подозрительных участков по данным МРТ, из которых целенаправленно получали дополнительные биоптаты); **б** – Т2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД; **д** – ДКУ. Снижение интенсивности МР-сигнала на Т2ВИ; повышение интенсивности МР-сигнала на ДВИ; снижение интенсивности на карте ИКД; диффузное интенсивное накопление контрастного препарата в раннюю фазу ДКУ.

Fig. 7. Extensive bilateral PZ involvement exhibiting all malignant features (arrows), ultimately confirmed as inflammation on histopathological examination. **a** – Post-biopsy report (red indicates MRI-suspicious areas selected for targeted biopsy); **б** – T2-weighted imaging (T2WI); **в** – High b-value diffusion-weighted imaging (DWI); **г** – Apparent diffusion coefficient (ADC) map; **д** – Dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI.

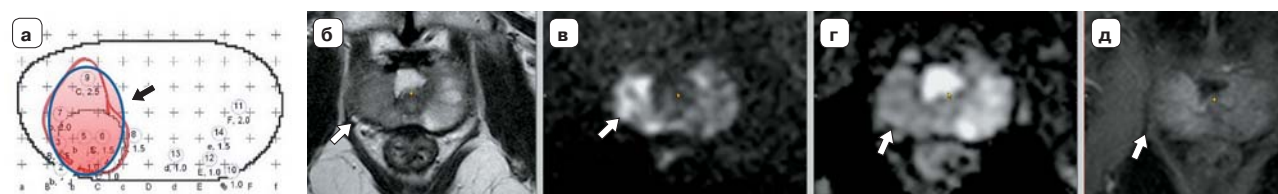


Рис. 8. Диффузная неоднородность ПЗ правой доли железы на фоне дефекта от трансуретральной резекции, очевидно, обусловленное воспалением. **а** – постбиопсийный отчет (цветом отмечено местоположение подозрительных участков по данным МРТ, из которых целенаправленно получали дополнительные биоптаты); **б** – Т2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД. Снижение интенсивности МР-сигнала на Т2ВИ; повышение интенсивности МР-сигнала на ДВИ; снижение интенсивности на карте ИКД; диффузное интенсивное накопление контрастного препарата в раннюю фазу ДКУ.

Fig. 8. Diffuse heterogeneity in the right PZ secondary to TUR defect, likely inflammatory in nature. **a** – Post-biopsy report (color-coded MRI-suspicious areas for targeted biopsy); **б** – T2-weighted imaging (T2WI); **в** – High b-value diffusion-weighted imaging (DWI); **г** – Apparent diffusion coefficient (ADC) map.

для подозрения наличия злокачественного поражения, причем в 4 случаях была установлена категория PI-RADS 5 и в одном PI-RADS 4. Объяснить такую МР-картину в ПЖ можно только наличием воспаления и, вероятно, в стадии обострения.

В 7 случаях в протоколе МРТ были отмечены как подозрительные участки в TZ, представляющие собой полностью инкапсулированные узлы. Сомнение в их доброкачественности вызвало наличие признаков ограничения диффузии в виде снижения интенсивности сигнала на карте ИКД и повышения интенсивности МР-сигнала на ДВИ с высоким b-фактором (рис. 9). Вероятно, чтобы избежать таких ошибок нужно оценивать наличие капсулы на нескольких срезах. Помощь в визуализации капсулы могут оказать контрастные изображения, при которых в некоторых случаях капсула прослеживается более отчетливо.

В 5 случаях ретроспективная оценка участков, которые были подозрительными, но морфологическое подтверждение РПЖ в них получено не

было, показала, что участки имели форму клина с выпрямленными контурами (рис. 10). Это можно было зафиксировать на Т2ВИ, на карте ИКД и в некоторых случаях наиболее отчетливо на изображениях после контрастирования (рис. 11). На ДВИ форма клина прослеживалась менее отчетливо. Нужно отметить, что впечатление о том, что участок клиновидный, могло создаться при просмотре нескольких рядом расположенных срезов. Данные участки показывали признаки ограничения диффузии и раннего накопления контрастного препарата, что и сделало их подозрительными на РПЖ.

В 5 наблюдениях на месте участка, который был отмечен как подозрительный на опухолевый, при повторном просмотре обнаруживались отдельные мелкие очаги, имеющие повышенную интенсивность сигнала на ДВИ с высоким b-фактором и низкой интенсивностью на карте ИКД, при этом отражались они только на одном единственном срезе (рис. 12).

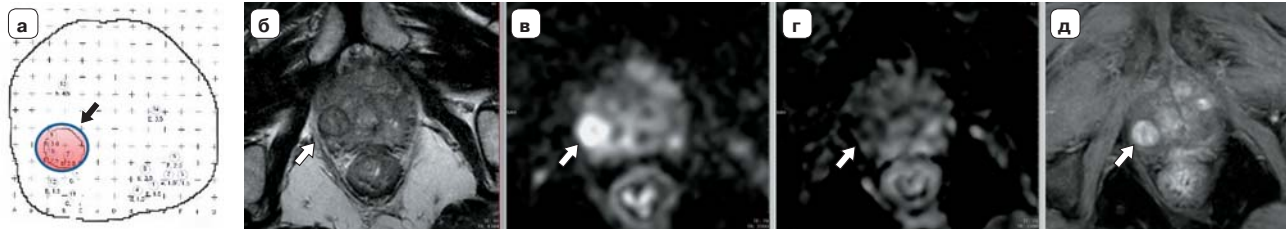
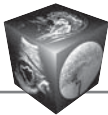


Рис. 9. Очаг в TZ правой доли предстательной железы, вызвавший подозрение на возможность злокачественности (стрелки). **а** – постбиопсийный отчет (красным цветом отмечено местоположение подозрительных участков по данным МРТ, из которых целенаправленно получали дополнительные биоптаты); **б** – Т2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД; **д** – ДКУ. Узел полностью инкапсулирован на Т2ВИ и при ДКУ.

Fig. 9. Suspicious focal lesion in the right TZ suggestive of potential malignancy (arrows). **a** – Post-biopsy report (red indicates MRI-suspicious locations for targeted biopsy sampling); **б** – T2-weighted imaging (T2WI); **в** – High b-value diffusion-weighted imaging (DWI); **г** – Apparent diffusion coefficient (ADC) map; **д** – Dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI. The nodule demonstrates complete encapsulation on both T2WI and DCE sequences.

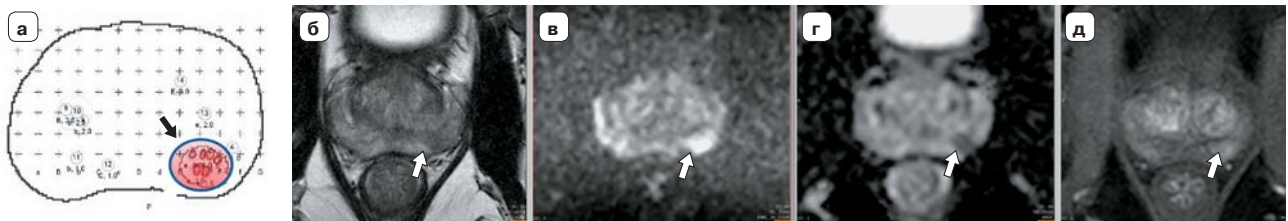


Рис. 10. Очаг в PZ левой доли предстательной железы, вызвавший подозрение на возможность злокачественности, имеющий форму клина (стрелки), не подтвержденный морфологическим исследованием. **а** – постбиопсийный отчет (красным цветом отмечено местоположение подозрительного участка по данным МРТ, из которого целенаправленно получали дополнительные биоптаты); **б** – Т2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД; **д** – ДКУ. Снижение интенсивности МР-сигнала в клиновидном участке с выпрямленными краями на Т2ВИ, с признаками ограничения диффузии и раннего накопления контрастного препарата при ДКУ.

Fig. 10. Wedge-shaped lesion in the left PZ with suspicious malignant features (arrows), not confirmed by histopathology. **a** – Post-biopsy report (red indicates MRI-suspicious area for targeted biopsy); **б** – T2-weighted imaging (T2WI); **в** – High b-value diffusion-weighted imaging (DWI); **г** – Apparent diffusion coefficient (ADC) map; **д** – Dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI.

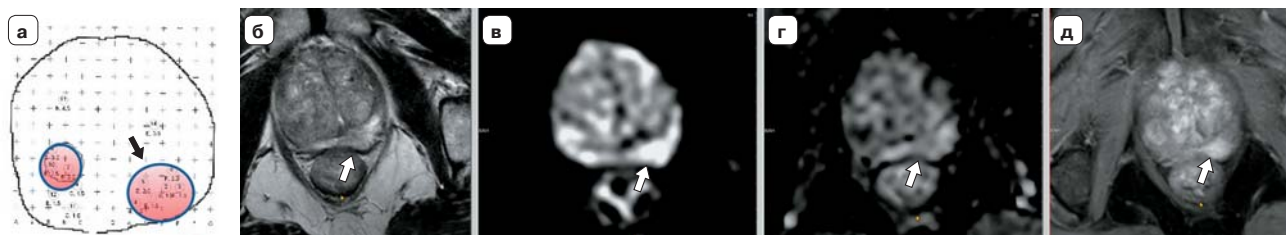


Рис. 11. Очаг в PZ левой доли предстательной железы, вызвавший подозрение на возможность злокачественности, имеющий форму клина (стрелки), не подтвержденный морфологическим исследованием. **а** – постбиопсийный отчет (красным цветом отмечено местоположение подозрительных участков по данным МРТ, из которых целенаправленно получали дополнительные биоптаты); **б** – Т2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД; **д** – ДКУ. Подозрительный очаг имеет сниженную интенсивность МР-сигнала на Т2ВИ, признаки ограничения диффузии и раннего накопления контрастного препарата при ДКУ. Наиболее отчетливо клиновидная форма участка и его выпрямленные контуры видны на контрастных изображениях.

Fig. 11. A wedge-shaped lesion (arrows) in the peripheral zone (PZ) of the left prostatic lobe, suggestive of malignancy but not confirmed by histopathological analysis. **a** – shows the post-biopsy report with MRI-suspicious areas marked in red, corresponding to sites of targeted biopsy sampling; **б** – T2-weighted imaging (T2WI); **в** – high b-value diffusion-weighted imaging (DWI); **г** – apparent diffusion coefficient (ADC) map; **д** – dynamic contrast-enhanced (DCE) imaging. The lesion exhibits hypointense signal on T2WI, restricted diffusion, and early contrast enhancement on DCE. Its wedge-shaped morphology and straight borders are most conspicuous on contrast-enhanced sequences.

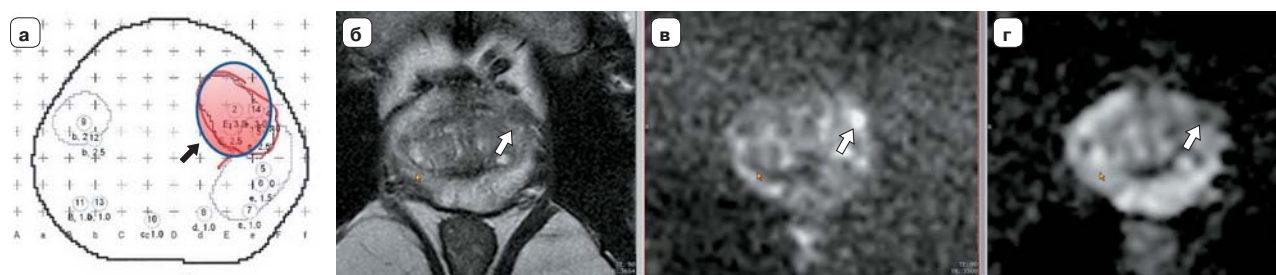
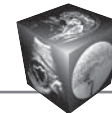


Рис. 12. Мелкий участок ограничения диффузии в левой доле, не подтвержденный морфологически. **а** – постбиопсийный отчет (красным цветом отмечено местоположение подозрительного участка по данным МРТ, из которого целенаправленно получали дополнительные биоптаты); **б** – Т2ВИ; **в** – ДВИ с высоким b-фактором; **г** – карта ИКД. Очаг в левой доле ПЖ, имеющий сниженную интенсивность сигнала на Т2ВИ, признаки ограничения диффузии. Однако он виден только на одном срезе.

Fig. 12. A small area of restricted diffusion in the left lobe not confirmed by pathological examination. The post-biopsy report (**a**) shows the MRI-suspicious location marked in red indicating the site of targeted additional biopsy sampling; **б** – T2-weighted imaging; **в** – high b-value diffusion-weighted imaging; **г** – apparent diffusion coefficient map. The lesion in the left lobe of the prostate gland demonstrates hypointense signal on T2-weighted imaging and features of restricted diffusion, though it is only visible on a single imaging slice.

В одном случае подозрение на злокачественность было основано на выявлении участка, имевшего высокую интенсивность сигнала на ДВИ, при этом на карте ИКД никакие изменения обнаружены не были (см. рис. 4).

В одном случае в участке, который был обозначен как подозрительный, кроме раннего контрастирования при ДКУ, никаких других признаков злокачественности обнаружено не было.

В 5 наблюдениях при повторном просмотре данных МРТ никаких изменений в участке, указанном в первичном протоколе как подозрительный, обнаружено не было. Это могло быть технической ошибкой или опiskой в протоколе.

Таким образом, проведенный анализ показал, что в большинстве случаев ложноположительная диагностика РПЖ при МРТ была обусловлена объективными причинами и, в первую очередь, трудностями дифференциальной диагностики опухолевых и воспалительных изменений, которые имеют однотипные изменения на всех соответствующих последовательностях мпМРТ. В то же время учет анамнестических, клинических и лабораторных данных, тщательная оценка распространенности выявленных изменений при МРТ, выявление разлитого и диффузного распространения в PZ или, наоборот, четко ограниченного участка клиновидной формы могут позволить отнести данные изменения к воспалительным.

Выводы

1. Чувствительность МРТ в выявлении очагов вероятного наличия рака предстательной железы составила 45%, прогностичность положительного результата – 37%.

2. Имеется значительная гипердиагностика рака предстательной железы при МРТ, при этом число ложноположительных результатов в очагах периферической зоны составило 55%, транзиторной зоны – 72%.

3. Наибольшее число ложных результатов МРТ имеется в категории PI-RADS 3. Из 34 ложноположительных результатов 26 (76%) оказались в этой категории.

4. Наиболее частой причиной ложноположительной диагностики рака явилось диффузное или локальное воспаление предстательной железы (32%). Локальные участки воспаления имеют все признаки опухоли: снижение МР-сигнала на Т2ВИ, ограничение диффузии и раннее накопление контрастного препарата при ДКУ.

5. В 21% случаев причиной ложноположительной диагностики рака явилась недооценка признака полной инкапсулированности подозрительных узлов TZ. Последовательный просмотр Т2ВИ на соседних срезах позволяет убедиться в наличии такой капсулы.

6. В 15% случаев причиной ложноположительной диагностики рака явилась недооценка признака клиновидной формы подозрительных участков PZ. Такие участки в предстательной железе могут иметь признаки ограничения диффузии и раннего накопления контрастного препарата. Это и делает их подозрительными на рак. Последовательный просмотр Т2ВИ на соседних срезах и оценка картины в позднюю фазу контрастирования позволяют убедиться именно в клиновидной форме подозрительного участка.



Участие авторов

Громов А.И. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, сбор данных, обработка материала, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Корякин А.В. – разработка методологии, сбор данных, валидация данных, статистический анализ, редактирование и доработка статьи.

Каприн А.Д. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Алексеев Б.Я. – интерпретация данных, критический пересмотр статьи на предмет важного интеллектуального содержания, утверждение окончательного варианта статьи.

Сивков А.В. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Толстов И.С. – проведение исследования, сбор данных, обработка материала, валидация данных, написание статьи.

Authors' participation

Gromov A.I. – concept and design of the study, concept and design of the study, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Koryakin A. V. – methodology development, Data collection, Data validation, Statistical analysis, Editing and revision of the manuscript.

Kaprin A.D. – conducting the research, analysis and interpretation of the data, participation in the study design, accountability for all aspects of the article, approval of the final version of the article.

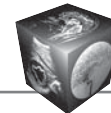
Alekseev B.Y. – interpretation of data, critical revision of the article for important intellectual content, approval of the final version of the article.

Sivkov A.V. – conducting the research, analysis and interpretation of the data, participation in the study design, accountability for all aspects of the article, approval of the final version of the article.

Tolstov I.S. – data collection, material processing, data validation.

Список литературы [References]

1. EAU - EANM - ESTRO - ESUR - ISUP - SIOG Guidelines on Prostate Cancer, 2024.
2. Prostate Imaging – Reporting and Data System 2019 Version 2.1. American College of Radiology, 2019.
3. Громов А.И., Капустин В.В. Практические подходы к использованию системы PI-RADS v2.1 при выполнении магнитно-резонансной томографии предстательной железы. *Медицинская визуализация*. 2019; 3: 107–125. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-3-107-125>
Gromov A.I., Kapustin V.V. Usage of PI-RADS v2.1 system for prostate MRI: a practical approach. *Medical Visualization*. 2019; 3: 107–125. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-3-107-125> (In Russian)
4. Громов А.И., Капустин В.В. Использование системы PI-RADS версии 2.1 при выполнении магнитно-резонансной томографии предстательной железы: Методическое пособие. М.: Стром фирма, 2019. 43 с.
Gromov A.I., Kapustin V.V. Using the PI-RADS system version 2.1 when performing magnetic resonance imaging of the prostate gland. Methodological guide. M.: LLC "Strom Firm", 2019. 44 p.: (In Russian)
5. Zhu L.Y., Ding X.F., Huang T.B. Correlation analysis between prostate imaging report and data system score and pathological results of prostate cancer. *Chinese J. Oncol.* 2020; 100 (34): 2663–2668. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112137-20200523-01626>
6. Arafa M.A., Rabah D.M., Khan F. et al. False-positive magnetic resonance imaging prostate cancer correlates and clinical implications. *Urol. Ann.* 2023; 15 (1): 54–59. https://doi.org/10.4103/ua.ua_22_22
7. Wang Y.M., Shang J.W., Dong L. Analysis of the relationship between PI-RADS scores and the pathological results of targeted biopsy based on MRI. *Chinese J. Oncol.* 2023; 45 (11): 942–947. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112152-20220805-00538>
8. Liu Y., Wang S., Xu G. Accuracy of MRI-Ultrasound Fusion Targeted Biopsy Based on PI-RADS v2.1 Category in Transition/Peripheral Zone of the Prostate. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2023; 58 (3): 709–717. <https://doi.org/10.1002/jmri.28614>
9. Drost F.J.H., Osses D.F., Nieboer D. Prostate MRI, with or without MRI-targeted biopsy, and systematic biopsy for detecting prostate cancer. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019; 2019 (4): CD012663. <https://doi.org/10.1002/14651858>
10. Klotz L., Chin J., Black P.C. Comparison of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging–Targeted Biopsy With Systematic Transrectal Ultrasonography Biopsy for Biopsy-Naïve Men at Risk for Prostate Cancer. *JAMA Oncol.* 2021; 7 (4): 534–542. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2020.7589>
11. Artrick C., Gallan A.J., Dianning A. Revisiting quantitative multi-parametric MRI of benign prostatic hyperplasia and its differentiation from transition zone cancer. *Abdom. Radiol.* 2019; 44 (6): 2233–2243. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-01936-1>
12. Kang H.C., Jo N., Bamashmos A.S. Accuracy of Prostate Magnetic Resonance Imaging: Reader Experience Matters. *Eur. Urol. Open. Sci.* 2021; 27: 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.euro.2021.03.004>
13. Quon J.S., Moosavi B., Khanna M. et al. False positive and false negative diagnoses of prostate cancer at multi-parametric prostate MRI in active surveillance. *Insights Imaging*. 2015; 6 (4): 449–463. <https://doi.org/10.1007/s13244-015-0411-3>
14. Lim C.S., Abreu-Gomez J., Carrion I. Prevalence of Prostate Cancer in PI-RADS Version 2.1 Transition Zone Atypical Nodules Upgraded by Abnormal DWI: Correlation With MRI-Directed TRUS-Guided Targeted Biopsy. *Am. J. Roentgenol.* 2021; 216 (3): 683–690. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.23932>
15. Rourke E., Sunnapwar A., Mais D., Inflammation appears as high Prostate Imaging–Reporting and Data System scores on prostate magnetic resonance imaging (MRI) leading to false positive MRI fusion biopsy. *Investig. Clin. Urol.* 2019; 60 (5): 388–395. <https://doi.org/10.4111/icu.2019.60.5.388>



Для корреспонденции*: Толстов Иван Сергеевич – ivan.tolstov2015@yandex.ru

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Корякин Андрей Викторович – канд. мед. наук, заведующий инновационным отделом НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6595-8234>

Каприн Андрей Дмитриевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач РФ, генеральный директор ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; директор МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Алексеев Борис Яковлевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой онкологии ФГБОУ ВО “Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>

Сивков Андрей Владимирович – канд. мед. наук, заместитель директора по науке НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-8852-6485>

Толстов Иван Сергеевич – младший научный сотрудник инновационного отдела НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-2123-4701>

Contact*: Ivan S. Tolstov – ivan.tolstov2015@yandex.ru

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiation Diagnostics and Treatment Group, N. A. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russian Federation; professor of the Department of Radiological Diagnostics, The Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Andrey V. Koryakin – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Innovation Department, N. A. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6595-8234>

Andrey D. Kaprin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honored Physician of the Russian Federation, Director General, National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Director, P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Head of the Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Boris Ya. Alekseev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director General for Scientific Work, National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Head of the Department of Oncology, Russian Biotechnological University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>

Andrey V. Sivkov – Cand. of Sci. (Med.), Deputy Director for Scientific Work, N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8852-6485>

Ivan S. Tolstov – junior researcher, Innovation Department, N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-2123-4701>