

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

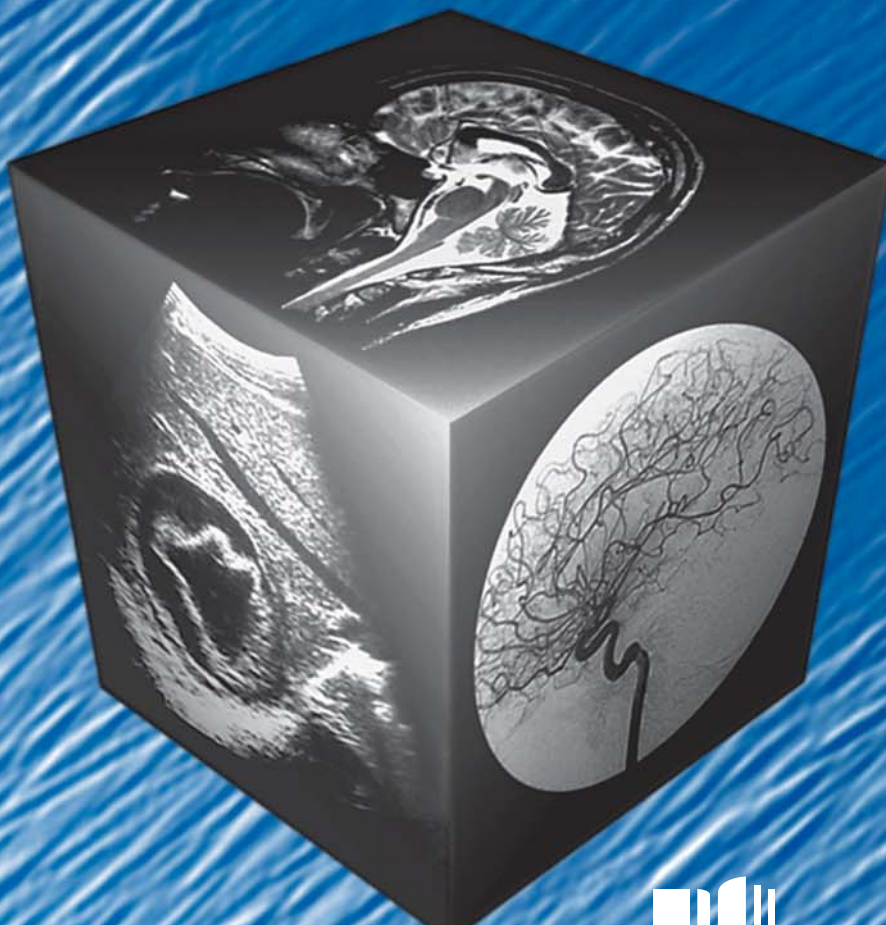
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 30 №2
Vol 30 N2

2026

MEDVIS.RDSMEDIA.RU



- Ультразвуковая диагностика в ЛОР-практике
- Точность спасает жизни: новая эра планирования операций при врожденных пороках сердца
- Эластография сдвиговой волной: новый взгляд на диагностику каротидных бляшек
- Невидимая угроза: как увидеть связь между пищеводом и трахеей?
- Прогнозирование ПИТ-синдрома: роль КТ-морфометрии
- Параметры сканирования и визуализация twinkling artifact
- Как прорыв эхинококковой кисты в плевральную полость поставил сложную диагностическую задачу
- КУУЗИ в нефрологии: от пилотного исследования к рутинной практике
- Диагностические ловушки МРТ органов малого таза
- Двойная роль артефакта реверберации в гинекологии
- Автоматизация диагностики синусита: от теории к практике
- Искусственный интеллект в спинальной МРТ: оценка диагностической точности

РДС-МЕДИА



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

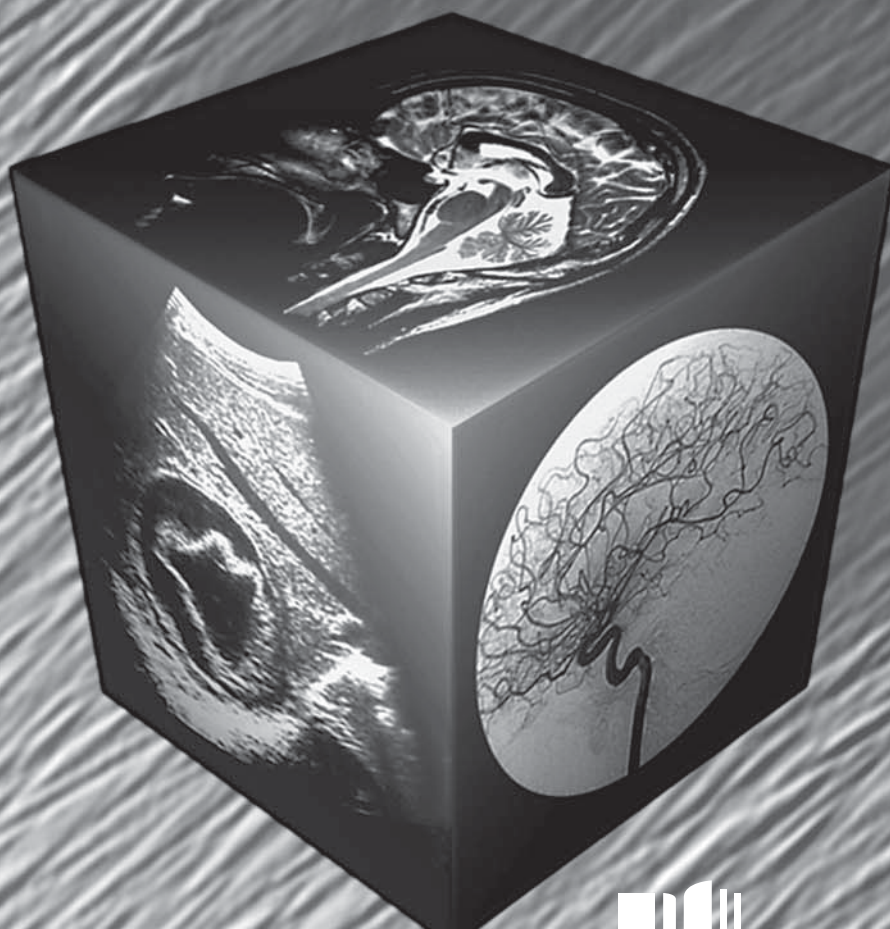
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 30 №2
Vol 30 N2

2026

MEDVIS.RDSMEDIA.RU



РДС-МЕДИА



- Ультразвуковая диагностика в ЛОР-практике
- Точность спасает жизни: новая эра планирования операций при врожденных пороках сердца
- Эластография сдвиговой волной: новый взгляд на диагностику каротидных бляшек
- Невидимая угроза: как увидеть связь между пищеводом и трахеей?
- Прогнозирование ПИТ-синдрома: роль КТ-морфометрии
- Параметры сканирования и визуализация twinkling artifact
- Как прорыв эхинококковой кисты в плевральную полость поставил сложную диагностическую задачу
- КУУЗИ в нефрологии: от пилотного исследования к рутинной практике
- Диагностические ловушки МРТ органов малого таза
- Двойная роль артефакта реверберации в гинекологии
- Автоматизация диагностики синусита: от теории к практике
- Искусственный интеллект в спинальной МРТ: оценка диагностической точности

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditsinskaya vizualizatsiya

2026 Том 30 №2

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

Официальный
печатный орган

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России (117997, Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27)
Российского общества рентгенологов и радиологов (129344, Москва, ул. Верхоянская, д. 18, корп. 2)
Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов (125040, Москва, ул. Расковой, д. 16/26, стр. 1)

Издатель

ООО «РДС-Медиа» (127083 Москва, ул. 8 марта, д. 1, стр. 12. 1 подъезд, а/я 5)

Главные редакторы

Ревивили Амиран Шотаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/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 рентгенорадиологии» Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Заместитель главного редактора

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, 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 Казахстанско-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 – доктор. 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. <http://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

Петряйкин Алексей Владимирович – доктор. 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, старший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики 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 (Ревизвили Амиран Шотаевич)

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

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

ООО “РДС-Медиа” 127083 Москва, ул. 8 марта, д. 1, стр. 12. 1 подъезд, а/я 5. <http://www.rdsmedia.ru>

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

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

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

“МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ”

© ООО “РДС-Медиа”, 2026.

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 20.06.2026 г.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditinskaya vizualizatsiya

2026 V. 30 N2



Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery (27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., 117997, Moscow, Russian Federation)

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

Moscow regional department of of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists

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

Is published by **RDS-Media Ltd.** (postbox 5, 1, bld. 12, 8 Marta str., Moscow 127083, 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 – Doct. of Sci. (Med.), Director of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation.

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

Natalia N. Vetsheva – Doct. of Sci. (Med.), 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 – Doct. 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.), Senior Researcher, Ultrasound Diagnostics Department 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.rdsmedia.ru/jour/index>

RDS-Media Ltd. 1, bld. 12, 8 Marta str., Moscow 127083, Russian Federation

<http://www.rdsmedia.ru>

You can subscribe to the journal at any post office
(Rospechat catalogue, section “Public Health. Medicine”)

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, Yu.A. Kushel
Prepress Yu.A. Kushel
“MEDICAL VISUALIZATION”
© RDS-Media Ltd., 2026
All rights reserved

Format 60 × 90 1/8. 18 printer's sheet. Circulation: 1500 ex. Free price.
Printed at Onebook.ru (OOO “SamPoligrafist”), www.onebook.ru
Signed for printing: 20.06.2026



Содержание

Голова и шея

- 10** Возможности ультразвуковых исследований в оценке кровоснабжения полости носа
Кормилина А.Р., Серова Н.С., Тухбатуллин М.Г., Пасынков Д.В., Гилялов М.Н.

Сердце и сосуды

- 20** Перспективы применения моделирования полости правого желудочка у детей с атрезией клапана легочной артерии и интактной межжелудочковой перегородкой по данным КТА
Кобелев Е., Войтов А.В., Фридман А.В., Сойнов И.А., Усов В.Ю.
- 26** Возможность использования эластографии сдвиговой волной для ультразвуковой оценки нестабильной каротидной атеросклеротической бляшки
Куликов В.П., Аткин С.С., Козлов А.В., Минаков И.В., Атякшин Д.А., Пацап О.И., Игнатюк М.А., Трегуб П.П., Мотин Ю.Г., Пролубников М.А.

Грудная клетка

- 35** Возможности компьютерной томографии в диагностике приобретенных трахеопищеводных свищей
Бармина Т.Г., Хамидова Л.Т., Забавская О.А., Шарифуллин Ф.А.-К., Николаева Е.Б., Черноусов Ф.А.
- 45** Синдром последствий интенсивной терапии: роль карт плотности легочной ткани при синдроме острого легочного повреждения
Бормышев А.В., Морозова Т.Г., Ковалёв А.В.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

- 56** Влияние настроек ультразвукового аппарата на визуализацию артефакта мерцания
Громов А.И., Леонов Д.В., Сивков А.В., Войтко Д.А., Каприн А.Д.
- 68** Прорыв эхинококковой кисты печени в плевральную полость (клиническое наблюдение)
Вишнякова М.В. (мл.), Санникова Л.А., Степанова Е.А., Румянцев В.Б.

Почки

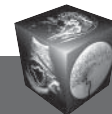
- 76** Контрастусиленное ультразвуковое исследование стабильно функционирующего почечного трансплантата. Пилотное исследование
Ларионова С.Н., Белавина Н.И., Ветшева Н.Н., Балтер Р.Б.

Малый таз

- 89** Ошибки при анализе данных МРТ органов малого таза: обзор
Кондаков И.В., Нечаев В.А.
- 97** Ультразвуковой артефакт реверберации: помощь или помеха при исследовании матки и эндометрия?
Обзор литературы и собственные наблюдения
Озерская И.А., Казарян Г.Г., Минашкина Е.В., Арбузов Ю.О.

Технологии лучевой диагностики

- 110** Качество автоматизированного выявления синусита по результатам рентгенографии в условиях практического здравоохранения (проспективное диагностическое исследование)
Бажин А.В., Владимирский А.В., Арзамасов К.М., Васильев Ю.А., Семенов С.С.
- 124** Диагностическая точность технологий искусственного интеллекта при анализе результатов магнитно-резонансной томографии для выявления дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела
Тхакахова Р.А., Владимирский А.В., Арзамасов К.М.



Contents

Head and neck

- 10 Possibilities of ultrasound examinations in assessing the blood supply to the nasal cavity**
 Alsu R. Kormilina, Natalia S. Serova, Munir G. Tukhbatullin,
 Dmitry V. Pasyukov, Marat N. Gilyalov

Heart and vessels

- 20 Prospects for the use of right ventricular cavity modeling in children with pulmonary artery valve atresia and intact interventricular septum according to CTA**
 Eugeni Kobelev, Alexey V. Voitov, Alexander V. Fridman,
 Ilya A. Soinov, Vladimir Yu. Usov
- 26 Potential of using shear wave elastography for ultrasound evaluation of unstable carotid atherosclerotic plaque**
 Vladimir P. Kulikov, Stanislav S. Atkin, Alexey V. Kozlov,
 Ilja V. Minakov, Dmitry A. Atjakshin, Olga I. Pacap,
 Michail A. Ignatjuk, Pavel P. Tregub, Yuri G. Motin,
 Mikhail A. Prolubnikov

Thorax

- 35 The role of computed tomography in the diagnosis of tracheoesophageal fistulas**
 Tatyana G. Barmina, Layla T. Hamidova,
 Olga A. Zabavskaya, Faat A.-K. Sharifullin,
 Elena B. Nikolaeva, Fedor A. Chernousov
- 45 Post-intensive care syndrome: the role of pulmonary tissue density maps in acute pulmonary injury**
 Aleksey V. Bormushev, Tat'jana G. Morozova,
 Aleksey V. Kovalev

Abdomen and retroperitoneum

- 56 Effect of ultrasound machine settings on twinkling artifact visualization**
 Alexander I. Gromov, Denis V. Leonov,
 Andrey V. Sivkov, Dmitry A. Voitko, Andrey D. Kaprin
- 68 A case of rupture of an echinococcal cyst of the liver into the pleural cavity**
 Marina V. Vishnyakova, Lyudmila A. Sannikova,
 Elena A. Stepanova, Vyacheslav B. Rummyantsev

Kidneys

- 76 Contrast-enhanced ultrasound examination of a stable functioning renal transplant. Pilot study**
 Svetlana N. Larionova, Natalya I. Belavina,
 Natalya N. Vetsheva, Regina B. Balter

Small pelvis

- 89 Errors in the radiology of the pelvis: a review**
 Igor V. Kondakov, Valentin A. Nechaev
- 97 Ultrasound reverberation artifact: help or hindrance in the examination of the uterus and endometrium?**
 Irina A. Ozerskaya, Gayane G. Kazaryan,
 Elena V. Minashkina, Yuri O. Arbuzov

Radiological technologies

- 110 The quality of automated detection of sinusitis based on radiography results in practical healthcare (prospective diagnostic study)**
 Alexander V. Bazhin, Anton V. Vladzimirsky,
 Kirill M. Arzamasov, Yuriy A. Vasilev,
 Serafim S. Semenov
- 124 Diagnostic accuracy of artificial intelligence technologies in analyzing magnetic resonance imaging results for detecting degenerative changes in the lumbosacral spine**
 Regina A. Tkachakhova, Anton V. Vladzimirsky,
 Kirill M. Arzamasov



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1600>



Возможности ультразвуковых исследований в оценке кровоснабжения полости носа

© Кормилина А.Р.^{1,3}, Серова Н.С.², Тухбатуллин М.Г.^{1*},
Пасынков Д.В.^{1,4}, Гилялов М.Н.³

¹ Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 420012 Казань, ул. Бутлерова, д. 36, Российская Федерация

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

³ ГАУЗ «Республиканская клиническая больница» Минздрава Республики Татарстан; 420064 Казань, Оренбургский тракт, д. 138, Российская Федерация

⁴ ГБУ «Республиканский онкологический диспансер Республики Марий Эл» Минздрава Республики Марий Эл; 424037 Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22, Российская Федерация

Цель исследования: изучение возможностей ультразвуковых исследований (УЗИ) в оценке кровоснабжения полости носа сравнительно с параметрами гемодинамических показателей сонных артерий.

Материал и методы. Проведены УЗИ перегородки носа (ПН) и зоны (сплетения) Киссельбаха–Литтла у 98 пациентов (57 женщин и 41 мужчина в возрасте от 18 до 55 лет), из них 30 пациентов (18 женщин и 12 мужчин) в контрольной группе, 68 пациентов (39 женщин и 29 мужчин) основной группы после вмешательств на ПН – септопластики по поводу перфораций (56 пациентов) и искривлений ПН (12 пациентов). УЗИ проведены до и после пластических операций на ПН. Исследования проводены на ультразвуковых аппаратах высокого и экспертного уровня линейными датчиками частотой в диапазоне 3–20 МГц в В-режиме и режиме дуплексного сканирования. Сопоставляли гемодинамические показатели сонных артерий с максимальными показателями артерии в зоне (сплетения) Киссельбаха–Литтла (АЗК) и изучали их взаимосвязь.

Результаты. Изучены связи параметров кровотока наружной сонной артерии (НСА) и внутренней сонной артерии (ВСА) с АЗК. При анализе корреляций между параметрами кровотока в НСА и АЗК достоверных зависимостей идентифицировано не было. Значения RI также не коррелировали со скоростными характеристиками. Не было обнаружено связи между скоростными характеристиками кровотока в ВСА и АЗК. Обнаружена корреляция средней силы между значениями RI в АЗК и $V_{\max}$ в ВСА ($r = 0,430$; $p = 0,05$). У обследуемых контрольной группы в АЗК диапазон максимальной скорости кровотока составлял 15–35 см/с, RI – от 0,5 до 0,59 ед. Снижение $V_{\max}$ менее 15 см/с и повышение RI более 0,59 ед. достоверно ассоциируется с повышением риска некроза перемещенного эндоназального лоскута и слизистой ПН в зоне вмешательства.

Заключение. Достоверных зависимостей между параметрами кровотока сонных артерий и АЗК не выявлено. В плане прогнозирования приживаемости перемещенных эндоназальных лоскутов из вышележащих отделов при пластике перфоративного отверстия ПН и септопластике при искривлениях ПН более важное значение имеют параметры кровотока АЗК. Параметры кровотока АЗК отражают состояние артериальных сосудов вышележащих отделов полости носа.

Ключевые слова: УЗИ; кровоснабжение полости носа; перегородка носа; сплетение Киссельбаха–Литтла

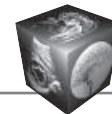
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов. Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

Для цитирования: Кормилина А.Р., Серова Н.С., Тухбатуллин М.Г., Пасынков Д.В., Гилялов М.Н. Возможности ультразвуковых исследований в оценке кровоснабжения полости носа. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 10–19. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1600>

Поступила в редакцию: 17.09.2025.

Принята к печати: 14.10.2025.

Опубликована online: 12.05.2025.



Possibilities of ultrasound examinations in assessing the blood supply to the nasal cavity

© Alsu R. Kormilina^{1, 3}, Natalia S. Serova², Munir G. Tukhbatullin^{1*}, Dmitry V. Pasyukov^{1, 4}, Marat N. Gilyalov³

¹ Kazan State Medical Academy – Branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 36, Butlerov str., Kazan 420012, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine; 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow 119991, Russian Federation

³ Republican Clinical Hospital of Ministry Health of Tatarstan Republic; 138, Orenburgsky tract, Kazan 420064, Russian Federation

⁴ Oncology Dispensary of Mari El Republic of Ministry Health of Mari El Republic; 22, Osipenko str., Yoshkar-Ola 424037, Russian Federation

The purpose of the study. Study of the possibilities of ultrasound examinations (ultrasound) in assessing the blood supply of the nasal cavity in comparison with the parameters of hemodynamic parameters of the carotid arteries.

Material and methods. Ultrasound of the nasal septum (NS) and the Kisselbach–Little area (plexus) was performed in 98 patients (57 women and 41 men aged 18 to 55 years). Of these, 30 patients (18 women and 12 men) in the control group, 68 patients (39 women and 29 men) of the study group after interventions on the NS – septoplasty for perforations (56 patients) and curvatures of the NS (12 patients). Ultrasound scans were performed before and after plastic surgery on the NS. The studies were carried out on high-level and expert-level ultrasound devices, linear transducers with a frequency of 3–20 MHz, in B-mode and duplex scanning mode. The hemodynamic parameters of the carotid arteries were compared with the maximum indicators of the artery in the Kisselbach–Little area (AKA) and their relationship was studied.

Results. The relationship between the parameters of blood flow of the external carotid artery (ECA) and the internal carotid artery (ICA) with the AKA was studied. The analysis of correlations between the parameters of blood flow in the ECA and the AKA did not reveal any significant dependencies. The RI values also did not correlate with the velocity characteristics. There was no correlation between the velocity characteristics of blood flow in the ICA and the AKA. A correlation of the average strength between the values of RI in the AKA and V_{max} in the ICA was found ($r = 0.430$; $p = 0.05$). In the control group, the range of maximum blood flow velocity in the AKA was 15–35 cm/s, RI was from 0.5 to 0.59 units. A decrease in V_{max} less than 15 cm/s and an increase in RI greater than 0.59 units are significantly associated with an increased risk of necrosis of the displaced endonasal flap and NS mucosa in the area of intervention.

Conclusion. No significant dependencies between the parameters of carotid artery blood flow and the AKA were revealed. In terms of predicting the survival rate of displaced endonasal flaps from the overlying parts during plastic surgery of the perforated opening of the NS and during septoplasty for NS curvatures, the parameters of the blood flow of the AKA are more important. The parameters of the blood flow of the AKA reflect the state of the arterial vessels of the overlying parts of the nasal cavity.

Keywords: ultrasound; blood supply to the nasal cavity; nasal septum; Kisselbach–Little plexus (area)

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

For citation: Kormilina A.R., Serova N.S., Tukhbatullin M.G., Pasyukov D.V., Gilyalov M.N. Possibilities of ultrasound examinations in assessing the blood supply to the nasal cavity. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 10–19. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1600>

Received: 17.09.2025.

Accepted for publication: 14.10.2025.

Published online: 12.05.2025.

Введение

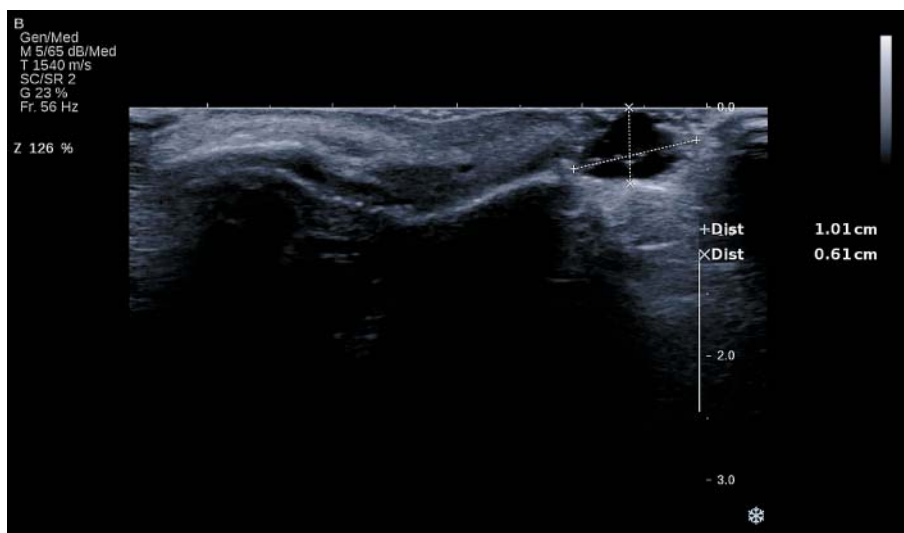
Кровоснабжение полости носа осуществляется за счет терминальных ветвей наружной (НКА) и внутренней сонных артерий (ВКА). От НКА отходит верхнечелюстная артерия, которая, проникая в полость носа, делится на несколько терминальных ветвей, главным из них является клиновидно-небная артерия (*a. sphenopalatina*), которая крово-

снабжает перегородку носа (ПН) и латеральную часть полости носа. От ВКА отходит глазничная артерия (*a. ophthalmica*), терминальные ветви которой, передняя и задняя решетчатые артерии (*a. ethmoidalis anterior*, *a. ethmoidalis posterior*), проникая в полость носа, кровоснабжают верхнюю часть полости носа. Нижняя часть ПН кровоснабжается за счет верхней губной артерии



Рис. 1. Эхограмма пациентки К., 40 лет. В-режим. Перфоративное отверстие перегородки носа размерами $10,1 \times 6,1$ мм.

Fig. 1. Echogram of patient K., 40 years old. B-mode. Perforated opening of the nasal septum with dimensions of 10.1×6.1 mm.



(*a. labialis superior*), которая является конечной ветвью лицевой артерии [1, 2]. Все перечисленные терминальные сосуды в нижней трети ПН формируют сосудистую сеть (зону), которая получила название сплетение Киссельбаха–Литтла. При пластических операциях на ПН сплетение Киссельбаха–Литтла частично или полностью вовлекается в процесс. При этом заживление раны после септопластики по поводу искривлений ПН и пластики ПН по поводу ее перфораций во многом зависит от параметров гемодинамики сосудов в зоне сплетения Киссельбаха–Литтла и в вышележащих отделах полости носа [3–5]. Известно, что искривления ПН часто являются причиной носовых кровотечений и воспалительных процессов полости носа [6–8]. Если сосуды сплетения Киссельбаха–Литтла доступны для ультразвукового исследования (УЗИ) – цветового дуплексного сканирования (ЦДС), то сосуды вышележащих отделов полости носа трудно доступны для исследований [9]. Известно несколько запатентованных исследований сосудов полости носа. Однако данные способы лишь косвенно определяют кровоснабжение полости носа [10], технически трудноосуществимы [11], не всегда имеют корректные значения, например когда перфоративное отверстие ПН более 5 мм (рис. 1). Не изучено наличие или отсутствие зависимости кровоснабжения полости носа от гемодинамических показателей сонных артерий. Отражают ли параметры показателей сонных артерий состояние кровеносных сосудов полости носа? Какова роль сосудов сплетения Киссельбаха–Литтла в изучении состояния кровоснабжения вышележащих отделов полости носа? Все вышеописанное и побудило к изучению возможностей УЗИ в оценке кровоснабжения полости носа.

Цель исследования: изучение возможностей ультразвуковых исследований в оценке кровоснабжения полости носа сравнительно с параметрами гемодинамических показателей сонных артерий.

Материал и методы

Проведены УЗИ ПН и сплетения Киссельбаха–Литтла у 98 пациентов (57 женщин и 41 мужчина в возрасте от 18 до 55 лет), из них 30 пациентов (18 женщин и 12 мужчин) в контрольной группе, 68 пациентов (39 женщин и 29 мужчин) основной группы после вмешательств на ПН – септопластики по поводу перфораций (56 пациентов) и искривлений ПН (12 пациентов). Исследования проведены на ультразвуковых аппаратах высокого и экспертного уровня SuperSonic Aixplorer (Франция), Resona 7 (КНР) линейными датчиками с частотой 3–20 МГц, секторными датчиками с частотой 1–5 МГц с применением В-режима, ЦДС (цветового доплеровского картирования) и энергетического доплеровского картирования. УЗИ сонных артерий субъектов контрольной группы проводили по известным методикам начиная от нижней части шеи до максимально высокого уровня с обеих сторон [12–14]. Из контрольной группы исключены пациенты с бляшками в сонных артериях, и анализ данных проводился только у пациентов без изменений в сонных артериях. У этих же пациентов параллельно изучали параметры артерий зоны Киссельбаха–Литтла (АЗК). Методика УЗИ зоны данного сплетения ПН заключалась в следующем. Линейный датчик частотой в диапазоне 3–20 МГц устанавливается на коже вдоль и ниже переносицы в хрящевой части ПН, на крыло носа, после предварительного нанесения ультразвукового геля на поверхность кожи

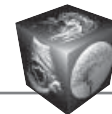


Рис. 2. Эхограмма пациента М., 29 лет, дуплексное сканирование перегородки носа. Сосуды сплетения Киссельбаха–Литтла.

Fig. 2. Echogram of patient M., 29 years old, duplex scanning of the nasal septum. Kisselbach–Little plexus vessels.

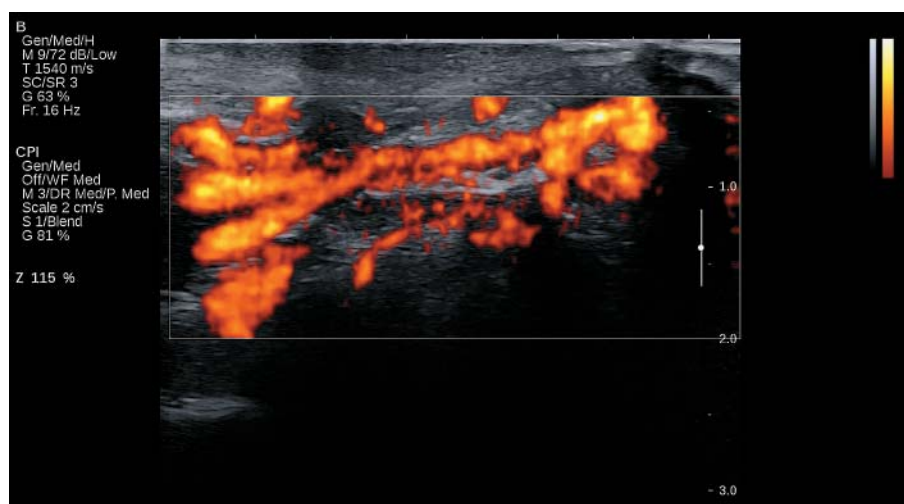
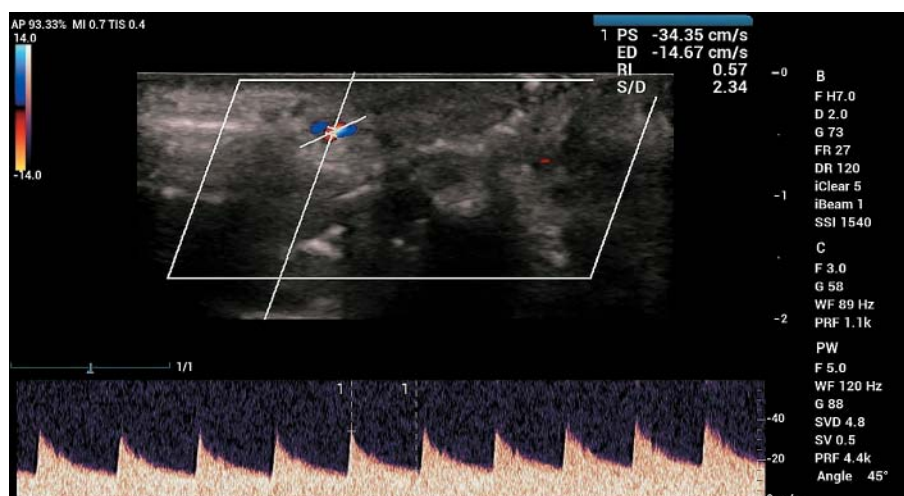


Рис. 3. Эхограмма пациента Т., 62 лет. Дуплексное сканирование. Артериальный сосуд в зоне сплетения Киссельбаха–Литтла (АЗК). Вариант нормы: $V_{\max} = 34,35$ см/с; $RI = 0,57$ ед.

Fig. 3. Echogram of patient T., 62 years old. Duplex scanning. Arterial vessel in the Kisselbach–Little plexus area (AKA). Normal variant: $V_{\max} = 34,35$ cm/s; $RI = 0,57$ units.



и введения 1–2 мл стерильного ультразвукового геля в полости носа поочередно, в зависимости от того, с какой стороны проводится исследование. Дыхание при этом проводилось через рот и частично через свободный носовой ход. Крыло носа прижимают датчиком к ПН, сканируют сплетение Киссельбаха–Литтла (рис.2).

В сплетении выделяется наиболее выраженный артериальный сосуд (рис. 3) с максимальными показателями линейной скорости кровотока и индекса резистентности (RI). Местоположение АЗК непостоянное, зависит от разветвлений ветвей клиновидно-нёбной и решетчатых артерий. Для получения максимальных систолических скоростей кровотока в АЗК корректор доплеровского угла устанавливали параллельно оси сосуда и угол при этом был не более 60° . Для определения корректного угла из-за ограниченной по размерам зоны сканирования (ПН) и извитости артерии приходилось менять положение датчика таким обра-

зом, чтобы на спектрограмме были корректные показатели. При этом на мониторе может быть видна только часть сосуда, а не на протяжении.

У части обследуемых контрольной группы и основной группы (всего 12 пациентов) удалось провести УЗИ решетчатых артерий через костные швы, ввиду малого количества эти исследования в статистику не вошли. У пациентов с патологией ПН до операции изучали гемодинамические показатели в сосудах ПН в зоне Киссельбаха–Литтла, в послеоперационном периоде изучали гемодинамические показатели сосудов в зоне вмешательства.

Статистический анализ проводили в программном пакете SPSS версии 21.0. Оценку нормальности распределения выборок проводили с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. В качестве параметров описательной статистики для нормально распределенных непрерывных показателей рассчитывали среднее арифметическое (стан-



дартное отклонение), для ненормально распределенных – медиану и размах вариации. Статистическая значимость различия средних значений показателей в двух группах при нормальном распределении показателей оценивалась путем использования критерия Стьюдента, между тремя или более группами – путем однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). При ненормальном распределении сравниваемых переменных использовали критерий Уилкоксона. Оценку корреляций нормально распределенных выборок производили с использованием коэффициента Пирсона, ненормально – коэффициентов Спирмена или Кендалла.

Результаты и их обсуждение

Все анализировавшиеся переменные имели ненормальное распределение. Определены абсолютные значения показателей и параметры кровотока в НСА и ВСА. Значения параметров кровотока ($V_{\max}$, $V_{\min}$ и RI) в правой и левой НСА достоверно не различались ($p = 0,487$, $0,435$ и $0,181$ соответственно). Средние значения $V_{\max}$ составили $80,00$ ($48,00$ – $101,00$) см/с, $V_{\min}$ – $20,00$ ($9,00$ – $31,00$) см/с, RI – $0,75$ ($0,63$ – $0,81$). Значения параметров кровотока ($V_{\max}$, $V_{\min}$ и RI) в правой и левой ВСА достоверно не различались ($p = 0,796$, $0,911$ и $1,000$ соответственно). Средние значения $V_{\max}$ составили $71,50$ ($38,00$ – $101,00$) см/с (в отсутствие достоверного различия по сравнению с аналогичным показателем в НСА; $p = 0,086$). Значение $V_{\min}$ в ВСА составило $24,00$ ($13,00$ – $36,00$) см/с, при этом данный показатель был достоверно выше аналогичного в НСА ($p < 0,001$). Средние значения RI составили $0,66$ ($0,50$ – $0,73$) и были достоверно ниже аналогичного показателя в НСА ($p < 0,001$).

Изучены параметры кровотока АЗК. Значения $V_{\max}$ и RI с обеих сторон достоверно не различались ($p = 0,103$ и $0,982$ соответственно). Средние значения $V_{\max}$ составили $26,000$ ($14,000$ – $38,000$) см/с и были достоверно ниже таковых в НСА и ВСА ($p < 0,001$ в обоих случаях). Медиана RI в АЗК составляла $0,5650$ ($0,3500$ – $0,6900$) и была достоверно ниже данных показателей в НСА и ВСА ($p < 0,001$ в обоих случаях). Однако значения $V_{\min}$ справа были достоверно меньше, чем слева ($11,000$ [$7,000$ – $17,000$]) и $11,000$ [$9,000$ – $17,000$] см/с соответственно, $p = 0,041$). При этом значения $V_{\min}$ в АЗК также были достоверно ниже таковых в НСА и ВСА ($p < 0,001$ в обоих случаях).

Проведен анализ корреляций между параметрами кровотока в различных сосудах. Изучена связь параметров кровотока в НСА и ВСА. Скоростные параметры кровотока ($V_{\max}$ и $V_{\min}$)

в НСА и ВСА достоверно ($p = 0,01$) коррелировали между собой, характеризуясь корреляцией средней силы ($r = 0,583$ – $0,631$). В то же время значения RI в НСА и ВСА не были связаны между собой и не коррелировали со скоростными характеристиками кровотока в этих сосудах (табл. 1). Все переменные имеют ненормальное распределение, поэтому использовался непараметрический коэффициент корреляции Спирмена. Имеется достоверная корреляция скоростных характеристик кровотока ($V_{\max}$ и $V_{\min}$) в НСА и ВСА средней силы ($r = 0,382$ – $0,631$). Однако RI не коррелирует со скоростными характеристиками.

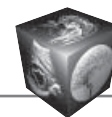
Изучены связи параметров кровотока в НСА, ВСА и АЗК. При анализе корреляций между параметрами кровотока в НСА и АЗК достоверных зависимостей идентифицировано не было. Значения RI также не коррелировали со скоростными характеристиками (табл. 2). Не было обнаружено связи между скоростными характеристиками кровотока в ВСА и АЗК (табл. 3). Была обнаружена корреляция средней силы между значениями RI в АЗК и $V_{\max}$ в ВСА ($r = 0,430$; $p = 0,05$). Зависимость между этими переменными наиболее точно описывалась следующим уравнением регрессии: $RI_{\text{АЗК}} = 0,340 + 0,005 V_{\max \text{ ВСА}} - 3 \cdot 10^{-5} (V_{\max \text{ ВСА}})^2$ ($r^2 = 0,104$) в диапазоне значений $V_{\max \text{ ВСА}}$ [$40,00$; $100,00$] (рис. 4).

У обследуемых контрольной группы в АЗК диапазон максимальной скорости кровотока составлял 15 – 35 см/с, RI – от $0,5$ до $0,59$ ед. Результаты гемодинамических показателей АЗК основной группы до вмешательств на ПН представлены в табл. 4 в сравнении с показателями кровотока у группы с неудовлетворительными результатами хирургических вмешательств.

В послеоперационном периоде у 3 пациентов наблюдали следующие осложнения: после закрытия перфораций ПН перемещенными эндоназальными лоскутами – частичный односторонний краевой некроз данных лоскутов у 2 пациентов и частичный односторонний некроз слизистой ПН после септопластики по поводу искривления ПН. Снижение $V_{\max}$ менее 15 см/с и повышение RI более $0,59$ ед. достоверно ассоциируется с повышением риска некроза перемещенного лоскута и слизистой ПН в зоне вмешательств (рис. 5).

На основе логистического регрессионного анализа рассчитано уравнение вероятности неудовлетворительного приживления (некроза) перемещенного эндоназального лоскута и слизистой ПН после вмешательств:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(10,214 V_{\max} - 1997,332 RI - 930,08)}}$$

**Таблица 1.** Корреляция параметров кровотока в НСА (Ex) и ВСА (In)**Table 1.** Correlation of blood flow parameters in the external carotid artery (Ex) and the internal carotid artery (In)

			InMaxR	InMaxL	InMinR	InMinL	InRIR	InRIL
Spearman's rho	ExMaxR	Corr. Cf.	0.469(**)	0.583(**)	0.587(**)	0.631(**)	-0.204	-0.148
		Sig. (2-tailed)	0.009	0.001	0.001	0.000	0.280	0.436
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMaxL	Corr. Cf.	0.382(*)	0.495(**)	0.515(**)	0.556(**)	-0.236	-0.185
		Sig. (2-tailed)	0.037	0.005	0.004	0.001	0.210	0.327
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMinR	Corr. Cf.	0.316	0.430(*)	0.424(*)	0.465(**)	-0.237	-0.144
		Sig. (2-tailed)	0.089	0.018	0.019	0.010	0.208	0.449
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMinL	Corr. Cf.	0.352	0.479(**)	0.514(**)	0.545(**)	-0.307	-0.203
		Sig. (2-tailed)	0.057	0.007	0.004	0.002	0.099	0.283
		N	30	30	30	30	30	30
	ExRIR	Corr. Cf.	-0.013	-0.034	-0.004	-0.032	0.254	0.153
		Sig. (2-tailed)	0.944	0.858	0.984	0.868	0.176	0.420
		N	30	30	30	30	30	30
	ExRIL	Corr. Cf.	-0.140	-0.135	-0.172	-0.213	0.194	0.161
		Sig. (2-tailed)	0.461	0.478	0.363	0.258	0.305	0.396
		N	30	30	30	30	30	30

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: R – сосуды правосторонние; L – сосуды левосторонние; Max – максимальная линейная скорость кровотока; Min – минимальная линейная скорость кровотока; RI – индекс резистентности; Corr. Cf. – Correlation Coefficient.

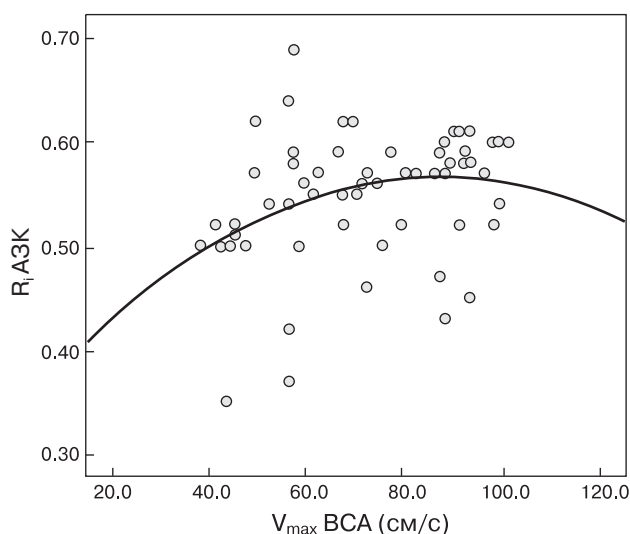
Note. Here and in table 2, 3: R – right-sided vessels; L – left-sided vessels; Max – is the maximum linear velocity of blood flow; Min – is the minimum linear velocity of blood flow; Ri – is the resistance index; Corr. Cf. – Correlation Coefficient.

Таблица 2. Корреляция параметров кровотока в НСА (Ex) и АЗК (Kis)**Table 2.** Correlation of blood flow parameters in the external carotid artery (Ex) and the artery of the Kisselbach area (Kis)

			KisMaxR	KisMaxL	KisMinR	KisMinL	KisRIR	KisRIL
Spearman's rho	ExMaxR	Corr. Cf.	-0.007	-0.002	-0.083	-0.005	0.014	0.034
		Sig. (2-tailed)	0.972	0.992	0.663	0.981	0.943	0.860
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMaxL	Corr. Cf.	0.022	0.022	-0.010	0.066	-0.065	-0.008
		Sig. (2-tailed)	0.910	0.906	0.957	0.728	0.734	0.968
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMinR	Corr. Cf.	-0.138	-0.147	-0.187	-0.077	-0.105	-0.072
		Sig. (2-tailed)	0.468	0.437	0.322	0.687	0.580	0.705
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMinL	Corr. Cf.	-0.025	-0.053	-0.081	0.062	-0.097	-0.066
		Sig. (2-tailed)	0.894	0.781	0.672	0.746	0.609	0.729
		N	30	30	30	30	30	30
	ExRIR	Corr. Cf.	0.155	0.158	0.181	0.081	0.071	0.075
		Sig. (2-tailed)	0.414	0.404	0.338	0.670	0.708	0.692
		N	30	30	30	30	30	30
	ExRIL	Corr. Cf.	0.199	0.298	0.311	0.153	-0.027	0.157
		Sig. (2-tailed)	0.293	0.110	0.094	0.421	0.887	0.406
		N	30	30	30	30	30	30

**Таблица 3.** Корреляция параметров кровотока в ВСА (In) и АЗК (Kis)**Table 3.** Correlation of blood flow parameters of the internal carotid artery (In) and the artery of the Kisselbach area (Kis)

			KisMaxR	KisMaxL	KisMinR	KisMinL	KisRIR	KisRIL
Spearman's rho	ExMaxR	Corr. Cf.	0.082	0.138	-0.171	-0.008	0.430(*)	0.390(*)
		Sig. (2-tailed)	0.667	0.466	0.367	0.966	0.018	0.033
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMaxL	Corr. Cf.	0.080	0.104	-0.139	0.022	0.395(*)	0.300
		Sig. (2-tailed)	0.672	0.586	0.464	0.909	0.031	0.108
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMinR	Corr. Cf.	-0.019	0.079	-0.208	0.004	0.203	0.226
		Sig. (2-tailed)	0.922	0.679	0.271	0.985	0.282	0.230
		N	30	30	30	30	30	30
	ExMinL	Corr. Cf.	-0.018	0.034	-0.213	-0.103	0.230	0.236
		Sig. (2-tailed)	0.926	0.859	0.259	0.588	0.222	0.210
		N	30	30	30	30	30	30
	ExRIR	Corr. Cf.	0.192	0.109	0.168	0.030	0.308	0.230
		Sig. (2-tailed)	0.309	0.566	0.374	0.875	0.098	0.222
		N	30	30	30	30	30	30
	ExRIL	Corr. Cf.	0.100	0.006	0.128	0.119	0.224	0.021
		Sig. (2-tailed)	0.599	0.974	0.502	0.533	0.234	0.912
		N	30	30	30	30	30	30

**Рис. 4.** Зависимость между значениями $V_{\max}$ в ВСА и RI в АЗК, описанная уравнением кубической регрессии: $RI\ A3K = 0,340 + 0,005 V_{\max}\ BCA - 3 \cdot 10^{-5} (V_{\max}\ BCA)^2$.**Fig. 4.** The relationship between the values of the $V_{\max}$ of the internal carotid artery and the RI of the artery of the Kisselbach area, described by the equation of cubic regression: $RI\ of\ the\ arteries\ of\ the\ Kisselbach\ area = 0.340 + 0.005 V_{\max}\ of\ the\ ICA - 3 \cdot 10^{-5} (V_{\max}\ of\ the\ ICA)^2$.**Таблица 4.** Гемодинамические показатели АЗК основной группы**Table 4.** Hemodynamic parameters of the arteries of the Kisselbach area of the main group

Пациенты Patients	$V_{\max}$, см/с			RI, ед.		
	Me	min	max	Me	min	max
С нормальным приживлением перемещенных лоскутов и слизистой ПН With normal engraftment of displaced flaps and nasal septal mucosa	26.0	14.0	35.0	0.54	0.50	0.59
С некрозом перемещенных лоскутов и слизистой ПН With necrosis of the displaced flaps and nasal septal mucosa	10.0	8.0	15.0	0.56	0.52	0.62

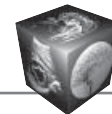
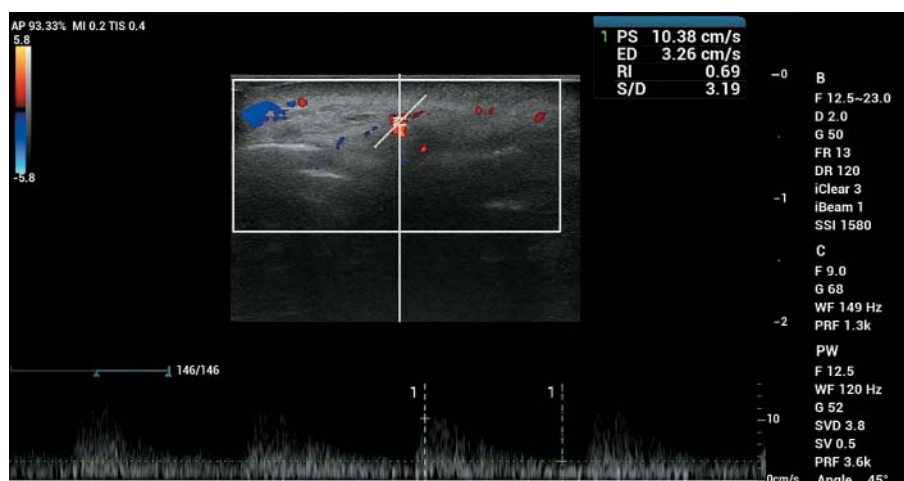


Рис. 5. Эхограмма пациентки С., 36 лет, дуплексное сканирование перегородки носа. Артериальный сосуд сплетения Киссельбаха–Литтла выше перфоративного отверстия. $V_{\max} = 10,38$ см/с; $RI = 0,69$ ед.

Fig. 5. Echogram of patient S., 36 years old, duplex scanning of the nasal septum. Arterial vessel of the Kisselbach–Little plexus above the perforatory foramen. $V_{\max} = 10.38$ cm/s; $RI = 0.69$ units.



Согласно данному уравнению, значения $p < 0,5$ свидетельствуют о неудовлетворительном прогнозе приживления перемещенного эндоназального лоскута при перфорации ПН и слизистой после септопластики. Данное значение уравнения обеспечило точность прогнозирования на 100%.

Заключение

Кровеносная сеть полости носа имеет сложное строение. Терминальные ветви наружной и внутренней сонных артерий, проникая в полость носа, в нижней трети ПН с двух сторон образуют сосудистую сеть, которая получила название сплетения или зона Киссельбаха–Литтла. При этом важно было изучить влияние параметров кровотока сонных артерий на данное сосудистое сплетение. Если бы данное влияние было очевидным и доказанным, то можно было бы прогнозировать состояние перемещаемых эндоназальных лоскутов из вышележащих отделов полости носа и слизистой ПН после пластических операций на ПН. Однако при анализе корреляций между параметрами кровотока в НСА и АЗК достоверных зависимостей идентифицировано не было. Значения RI также не коррелировали со скоростными характеристиками. Не было обнаружено связи между скоростными характеристиками кровотока в ВСА и АЗК. Была обнаружена корреляция средней силы между значениями RI в АЗК и $V_{\max}$ в ВСА ($r = 0,430$; $p = 0,05$). Таким образом, выяснилось слабое влияние параметров кровотока сонных артерий на параметры кровотока в сплетении Киссельбаха–Литтла, где для сопоставления параметров был выбран наиболее выраженный артериальный сосуд ПН (АЗК) с двух сторон с максимальными показателями линейной скорости кровотока и индекса резистентности. Достоверных зависимостей

между параметрами кровотока сонных артерий и сплетения Киссельбаха–Литтла не выявлено. Это означает, что показатели кровотока сонных артерий не влияют на прогнозирование приживления перемещаемых лоскутов слизистой полости носа. В плане прогнозирования приживаемости перемещенных эндоназальных лоскутов из вышележащих отделов при пластике перфоративного отверстия ПН и слизистой при септопластике по поводу искривлений ПН более важное значение имеют параметры кровотока АЗК [15]. Артерии сплетения Киссельбаха–Литтла отражают состояние артериальных сосудов вышележащих отделов полости носа. Снижение $V_{\max}$ менее 15 см/с и повышение RI более 0,59 ед. в АЗК достоверно ассоциируется с повышением риска неудовлетворительного приживления перемещенного эндоназального лоскута и слизистой ПН в зоне вмешательства.

Участие авторов

Кормилина А.Р. – концепция и дизайн исследования, проведение исследований, обзор публикаций по теме исследования, анализ полученных данных, написание текста.

Серова Н.С. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Тухбатуллин М.Г. – концепция и дизайн исследования, проведение исследований, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Пасынков Д.В. – анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных.

Гилялов М.Н. – проведение исследований, сбор и обработка данных.



Authors' participation

Kormilina A.R. – concept and design of the study, conducting research, review of publications on the topic of the study, analysis of the data obtained, writing the text.

Serova N.S. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the data obtained, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Tukhbatullin M.G. – the concept and design of the study, conducting research, collecting and processing data, analyzing and interpreting the data obtained, approving the final version of the article.

Pasynkov D.V. – analysis and interpretation of the data obtained, statistical processing of data.

Gilyalov M.N. – conducting research, collecting and processing data.

Список литературы

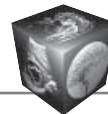
1. Аведисян В.Э. К вопросу клинической анатомии сосудистого русла полости носа. *Современные наукоемкие технологии*. 2007; 5: 58–59. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=24926>.
2. Харченко В.В. Морфология сосудов притока различных зон слизистой оболочки носа. *Российская ринология*. 2003; 2: 19. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=10312>
3. Елизарьев В.В., Савельева Е.Е. Сравнительная оценка кровоснабжения слизистой перегородки носа после септопластики с использованием двух видов интраназальных сплинтов. *Уральский медицинский журнал*. 2020; 1: 101–104. <http://elib.usma.ru/handle/usma/18868>
4. Sapmaz E., Toplu Y., Somuk B.T. A new classification for septal perforation and effect softreatment methods on quality of life. *Braz. J. Otorhinolaryngol*. 2019; 85 (6): 716–723. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.06.003>
5. Valsamidis K., Titelis K., Karkos P. et al. Predictive factors of patients' general quality of life after nasal septoplasty. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol*. 2019; 276 (2): 429–438. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-5229-4>
6. Ивойлов А.Ю., Яновский В.В., Чумаков П.Л., Товмасын А.С., Кишиневский А.Е., Шведов Н.В. Современные методы остановки носовых кровотечений у детей. *Практика педиатра*. 2023; 3: 19–26.
7. Муртузова А.Б., Серова Н.С., Коробкин А.С., Ларина О.М. Протокол компьютерной томографии в оценке воспалительных заболеваний околоносовых синусов. *REJR*. 2025; 15 (2): 29–39. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2025-15-2-29-39>
8. Hussein A.A., Hassan M.A., Abdaljabbar A.H. Effect of Septoplasty on Headache among Patients with Septal Deviation in Karbala, Iraq 2023. *Int. Tinnitus J*. 2024; 28 (1): 145–150. <https://doi.org/10.5935/0946-5448.20240021>
9. Кормилина А.Р., Серова Н.С., Тухбатуллин М.Г., Гилялов М.Н. Ультразвуковое исследование зоны Киссельбаха–Литтла. *Acta Medica Eurasica*. 2025; 2: 24–30. <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2025-2-24-30>
10. Сыроежкин Ф.А., Шелиховская М.А., Типикин В.П. и др. Способ оценки состояния местных лоскутов в полости носа с помощью аутофлуоресцентной эндоскопии после внутриносовых хирургических вмешательств.

Патент 2772543 РФ, МПК С1 А61В 5/00. *Бюллетень. Изобретения. Полезные модели*. 2022; 15: 1–2.

11. Мосихин С.Б., Баранова Е.А. Способ диагностики гемодинамики полости носа. Патент 2299686 РФ, МПК С2 А61В 8/00. *Бюллетень. Изобретения. Полезные модели*. 2007; 15:1–6.
12. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.: Реальное время, 2003: 83–252.
13. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний / Под ред. В.П. Куликова. М.: ООО Фирма «СТРОМ», 2007: 122–184.
14. Головин Д.А., Бердалин А.Б., Кудрявцев Ю.С., Федосенко М.Б., Ростовцева Т.М., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Удлинения сонных артерий (каротидная долохоартериопатия): некоторые особенности структуры и гемодинамики. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 33–46. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1396>
15. Тухбатуллин М.Г., Гилялов М.Н., Кормилина А.Р. и др. Способ определения состоятельности перемещаемого лоскута слизистой оболочки перегородки носа. Патент 2807147 РФ, МПК С1 А61В 8/00. *Бюллетень. Изобретения. Полезные модели*. 2022; 31:13.

References

1. Avedisyan V.E. On the Issue of Clinical Anatomy of the Vascular Bed of the Nasal Cavity. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii = Modern high-tech technologies*. 2007; 5: 58–59. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=24926> (In Russian)
2. Kharchenko V.V. Morphology of inflow vessels of various zones of nasal mucosa. *Rossiyskaya rinologia = Russian rhinology*. 2003; 2: 19. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=10312> (In Russian)
3. Elizarev V.V., Saveleva E.E. Comparative evaluation of blood supply to the septum after septoplasty using two types of intranasal splints. *Ural Medical Journal*. 2020; 1: 101–104. <http://elib.usma.ru/handle/usma/18868> (In Russian)
4. Sapmaz E., Toplu Y., Somuk B.T. A new classification for septal perforation and effect softreatment methods on quality of life. *Braz. J. Otorhinolaryngol*. 2019; 85 (6): 716–723. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.06.003>
5. Valsamidis K., Titelis K., Karkos P. et al. Predictive factors of patients' general quality of life after nasal septoplasty. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol*. 2019; 276 (2): 429–438. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-5229-4>
6. Ivoilov A.Yu., Yanovsky V.V., Chumakov P.L. et al. Modern methods of stopping nosebleeds in children. *Pediatrician's practice*. 2023; 3: 19–26. (In Russian)
7. Murtuzova A.B., Serova N.S., Korobkin A.S., Larina O.M. Computed tomography protocol in the assessment of inflammatory diseases of the paranasal sinuses. *REJR*. 2025; 15 (2): 29–39. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2025-15-2-29-39> (In Russian)
8. Hussein A.A., Hassan M.A., Abdaljabbar A.H. Effect of Septoplasty on Headache among Patients with Septal Deviation in Karbala, Iraq 2023. *Int. Tinnitus J*. 2024; 28 (1): 145–150. <https://doi.org/10.5935/0946-5448.20240021>
9. Kormilina A.R., Serova N.S., Tukhbatullin M.G., Gilyalov M.N. Ultrasound Examination of the Kisselbach-Little area. *Acta Medica Eurasica*. 2025; 2: 24–30. <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2025-2-24-30> (In Russian)



10. Syroezhkin F.A., Shelikhovskaya M.A., Tipikin V.P. et al. Method for assessing the state of local flaps in the nasal cavity using autofluorescence endoscopy after intranasal surgical interventions. Patent 2772543 the Russian Federation. *Bull. Izobreteniya. Poleznyue modeli = Bulletin. Inventions. Utility models.* 2022; 15: 1–2. (In Russian)
11. Mosikhin S.B., Baranova E.A. Method of diagnosing hemodynamics of the nasal cavity. Patent 2299686 the Russian Federation. *Bull. Izobreteniya. Poleznyue modeli = Bulletin. Inventions. Utility models.* 2007; 15: 1–6. (In Russian)
12. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Ultrasonic angiology. M.: Real Time, 2003: 83–252. (In Russian)
13. Ultrasound diagnostics of vascular diseases / Ed. V.P. Kulikov. M.: OOO Firma STROM Publ., 2007: 122–184. (In Russian)
14. Golovin D.A., Berdalin A.B., Kudryavtsev Yu.S. et al. Carotid artery elongation (carotid dolichoarteriopathy): some features of the structure and hemodynamics. *Medical Visualization.* 2024; 28 (4): 33–46. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1396> (In Russian)
15. Tukhbatullin M.G., Gilyalov M.N., Kormilina A.R., et al. Method for determining the consistency of the relocated flap of the nasal septal mucosa. Patent 2807147 the Russian Federation. *Bull. Izobreteniya. Poleznyue modeli = Bulletin. Inventions. Utility models.* 2022; 31: 13. (In Russian)

Для корреспонденции*: Тухбатуллин Мунир Габдулфатович – e-mail: munir.tukhbatullin@tatar.ru

Кормилина Алсу Рифкатовна – канд. мед. наук, доцент кафедры ультразвуковой диагностики Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; врач ультразвуковой диагностики ГАУЗ “Республиканская клиническая больница” Минздрава Республики Татарстан, Казань. <https://orcid.org/0000-0002-3549-4421>

Серова Наталья Сергеевна – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6697-7824>

Тухбатуллин Мунир Габдулфатович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Казань. <https://orcid.org/0000-0002-0055-4746>

Пасынков Дмитрий Валерьевич – доктор мед. наук, ассистент кафедры ультразвуковой диагностики Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Казань; заведующий отделением лучевой диагностики ГБУ “Республиканский онкологический диспансер Республики Марий Эл” Минздрава Республики Марий Эл, Йошкар-Ола. <https://orcid.org/0000-0003-1888-2307>

Гиялов Марат Наилевич – заведующий отделением оториноларингологии ГАУЗ “Республиканская клиническая больница” Минздрава Республики Татарстан, Казань. <https://orcid.org/0000-0003-0903-5843>

Contact*: Munir G. Tukhbatullin – e-mail: munir.tukhbatullin@tatar.ru

Alsu R. Kormilina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Ultrasound Diagnosis, Kazan State Medical Academy – Branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Ultrasound doctor, Republican Clinical Hospital of Ministry Health of Tatarstan Republic, Kazan. <https://orcid.org/0000-0002-3549-4421>

Natalia S. Serova – Academician of Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6697-7824>

Munir G. Tukhbatullin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Ultrasound Diagnosis, Kazan State Medical Academy – Branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Kazan. <https://orcid.org/0000-0002-0055-4746>

Dmitry V. Pasyнков – Doct. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Ultrasound Diagnosis, Kazan State Medical Academy – Branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Head of the Department of Radiology, Oncology Dispensary of Mari El Republic of Ministry Health of Mari El Republic, Yoshkar-Ola. <https://orcid.org/0000-0003-1888-2307>

Marat N. Gilyalov – Head of Department of Otorhinolaryngology, Republican Clinical Hospital of Ministry Health of Tatarstan Republic, Kazan. <https://orcid.org/0000-0003-0903-5843>



Перспективы применения моделирования полости правого желудочка у детей с атрезией клапана легочной артерии и интактной межжелудочковой перегородкой по данным КТА

© Кобелев Е. *, Войтов А.В., Фридман А.В., Сойнов И.А., Усов В.Ю.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; 630055 Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15, Российская Федерация

Цель исследования: изучить возможности трехмерного динамического представления анатомической формы и сократимости у пациентов с атрезией легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой (АЛА ИМЖП) на основе сравнения показателей конечно-диастолического объема (КДО) правого желудочка и его фракции выброса (ФВ), измеряемых методами эхокардиографии (ЭхоКГ) и компьютерно-томографической ангиографии (КТА) с применением 3D-моделирования камер сердца.

Материал и методы. Проведен ретроспективный анализ данных КТА и ЭхоКГ у 12 пациентов с диагнозом АЛА ИМЖП, проходивших лечение с января 2019 г. по март 2025 г. В анализ были включены данные всех исследований, проводимых на разных этапах коррекции врожденного порока сердца.

Результаты. КДО правого желудочка по результатам 3D-моделирования на основе данных КТА у всех пациентов в среднем составил 9,9 [2,7; 12,9] мл, конечно-систолический объем – 4,7 [1,7; 6,6] мл, ФВ – 42 [18; 70]%. При сопоставлении данных 3D-моделирования и ЭхоКГ установлено, что результаты объемных измерений и функционального анализа значительно отличались. При сравнении КДО правого желудочка по данным КТА и его линейных измерений по данным ЭхоКГ была установлена сильная корреляционная связь, где $r = 0,86$ у конечно-диастолического размера (КДР) в базальном отделе, $r = 0,84$ у КДР в среднем отделе, $r = 0,80$ у КДР по длинной оси. При этом необходимо отметить, что при сравнении ФВ, рассчитанной по данным КТА, и фракции изменения площади правого желудочка была установлена умеренная положительная корреляционная связь, где $r = 0,31$.

Заключение. Применение 3D-моделирования и 3D-печати у детей с АЛА ИМЖП дает возможность персонализированно планировать хирургические вмешательства на сердце у конкретного пациента, позволяя анализировать анатомические особенности порока, более точно оценивать КДО и ФВ желудочков сердца в течение периода наблюдения за пациентом.

Ключевые слова: 3D-реконструкция камер сердца; компьютерная томография; КТ-ангиография; атрезия легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кобелев Е., Войтов А.В., Фридман А.В., Сойнов И.А., Усов В.Ю. Перспективы применения моделирования полости правого желудочка у детей с атрезией клапана легочной артерии и интактной межжелудочковой перегородкой по данным КТА. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 20–25.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1603>

Поступила в редакцию: 27.09.2025.

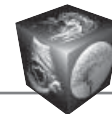
Принята к печати: 12.03.2026.

Опубликована online: 12.05.2026.

Prospects for the use of right ventricular cavity modeling in children with pulmonary artery valve atresia and intact interventricular septum according to CTA

© Eugenio Koblelev*, Alexey V. Voitov, Alexander V. Fridman, Ilya A. Soinov, Vladimir Yu. Usov

E.N. Meshalkin National Research Medical Center of the Ministry of Health of the Russian Federation; 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk 630055, Russian Federation



Purpose. The purpose of this study is to compare the values obtained from echocardiography (echoCG) and computed tomography angiography (CTA) for measuring the end-diastolic volume (EDV) of the right ventricle (RV) and its ejection fraction (EF). This comparison will be done using 3D modeling of the heart chambers.

Materials and Methods. A retrospective analysis of CTA and echoCG data will be performed on 12 patients diagnosed with pulmonary artery atresia and an intact interventricular septum. These patients have been undergoing treatment from January 2014 to March 2025, and their data from various stages of correction for congenital heart disease will be included in the analysis.

Results. According to the results of 3D modeling based on CTA, the average end-diastolic volume of the right ventricle was 9.9 [2.7–12.9] ml, the end-systolic volume was 4.7 [1.7–6.6] ml, and the ejection fraction was 42 [18–70]%. When comparing the results of the 3D modeling with EchoCG data, there was a discrepancy in volumetric measurements and functional analysis. However, when comparing EDV of the right ventricle based on CTA with its linear measurements based on EchoCG, a strong correlation was found, with $r = 0.86$ for end-diastolic size in the basal region, $r = 0.84$ in the middle region, and $r = 0.80$ along the long axis. Additionally, when comparing the ejection fraction calculated from CT data with the fraction of change in area of the right ventricle, a moderate positive correlation of $r = 0.31$ was observed.

Conclusion. The use of 3D modeling and 3D printing for children with pulmonary artery atresia and intact interventricular septum allows for personalized planning of surgical interventions on the heart, enabling a more accurate analysis of the anatomical features of the defect and more precise assessment of end-diastolic volumes and ventricular ejection fractions during patient follow-up.

Keywords: 3D-analysis of CT angiography data; computed tomography; CT-angiography; pulmonary artery atresia, interventricular septum

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

For citation: Kobelev E., Voitov A.V., Fridman A.V., Soinov I.A., Usov V.Yu. Prospects for the use of right ventricular cavity modeling in children with pulmonary artery valve atresia and intact interventricular septum according to CTA. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 20–25. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1603>

Received: 27.09.2025.

Accepted for publication: 12.03.2026.

Published online: 12.05.2026.

Введение

Атрезия легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой (АЛА ИМЖП) является редкой формой врожденного порока сердца и составляет менее 1% от общего числа врожденных пороков сердца, однако практически в каждом случае представляет собой сложную хирургическую проблему, требующую детального анатомического и функционально-гемодинамического анализа [1]. Патоморфологически выделяют две формы атрезии клапана легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой: первая (мембранозная) характеризуется сращением створок клапана, в результате чего кровь из правого желудочка (ПЖ) перестает поступать в легочное русло, вторая (мышечная) характеризуется стенозом пути оттока из ПЖ и отсутствием клапана легочной артерии без какого-либо сообщения между желудочками. Часто подобный врожденный порок сердца сопровождается гипоплазией ПЖ и трикуспидального клапана. Вариабельность размеров ПЖ и трикуспидального клапана, а также особенности коронарного кровообращения, зависящего от ПЖ, в значительной степени может повлиять на послеоперационное течение заболевания у конкретного пациента и на индивидуальные и групповые результаты операции [2].

Выявление и постановка диагноза данного врожденного порока в основном осуществляются

с помощью эхокардиографии (ЭхоКГ), причем примерно в 86% случаев уже пренатально [2]. Этот метод лучевой диагностики позволяет оценить межпредсердную перегородку, трикуспидальный клапан, ПЖ и ветви легочных артерий. Однако ЭхоКГ имеет ряд ограничений при оценке объема и фракции выброса (ФВ) ПЖ [3]. КТ-ангиография (КТА) позволяет проводить комплексную оценку анатомии сердца и магистральных сосудов, в частности, визуализация формы и размеров открытого артериального протока является одним из наиболее прогностически важных критериев в тактике ведения таких пациентов. Внедрение в практическую деятельность методик измерения объемов (волюмометрии) камер сердца в разные фазы сердечного цикла позволяет получать более точные значения конечно-диастолического объема (КДО) и конечно-систолического объема (КСО) правого и левого желудочков сердца, проводить расчет ФВ, что также может иметь клиническое значение при выборе тактики ведения пациентов [4].

Цель исследования: изучить возможности трехмерного компьютерного представления и анализа анатомических и функциональных показателей у пациентов с атрезией легочной артерии путем сравнения размеров ПЖ и его ФВ, измеряемых методами ЭхоКГ и КТА с применением 3D-моделирования камер сердца.



Материал и методы

С января 2019 г. по март 2025 г. 12 пациентов в нашем Центре проходили обследование и лечение с диагнозом АЛА ИМЖП, так что данное исследование является целиком ретроспективным. Все данные вводились и анализировались ретроспективно из базы данных клиники. У 7 пациентов перед радикальной коррекцией врожденного порока осуществлялся динамический контроль по данным КТА и ЭхоКГ. Летальный исход заболевания в послеоперационном периоде во время госпитализации был только у 1 пациента.

Оценка данных дооперационных ЭхоКГ и КТА пациентов

КТА выполняли на аппаратах Aquilion 64 и Aquilion One 320 (Toshiba, Япония) с толщиной реконструируемого слоя не более 1 мм, с реконструкцией в диастолическую и систолическую фазы сердечного цикла. 3D-моделирование и анализ объемных структур осуществлялись в программном обеспечении Materialise Medical (Materialise HQ, Бельгия).

Трансторакальную 3D-ЭхоКГ проводили на аппарате Vivid E95 (GE Healthcare, Франция) с обязательной ЭКГ-синхронизацией в положении пациента на левом боку. Исследование выполняли в стандартных позициях: апикальная 4, 2 и 3-камерная, парастернальная по короткой и длинной оси, надгрудинная, субкостальная.

Статистический анализ

Анализ был выполнен с использованием программного пакета Microsoft Excel. Непрерывные данные отличались от нормального распределения и представлены как медиана [25-й и 75-й процентиля]. Качественные данные представлены как частоты и соответствующие им проценты представленности в группах. Коэффициент корреляции Пирсона (r) применяли для оценки силы связи между сравниваемыми показателями.

Результаты исследования

Средний возраст пациентов на момент первичного обследования составил 99 [3; 126] дней. У всех пациентов были выявлены признаки открытого овального окна или вторичного дефекта межпредсердной перегородки, открытого артериального протока. У 6 пациентов имелась гипоплазия ПЖ – тип В по Bull [50%], и только у 5 были выявлены признаки недостаточности трикуспидального клапана. У 2 пациентов порок сочетался с гипоплазией центрального легочного русла. КДО ПЖ по результатам 3D-моделирования на основе данных КТА у всех пациентов в среднем составил 9,9 [2,7; 12,9] мл, КСО – 4,7 [1,7; 6,6] мл, ФВ – 42 [18; 70]%. При сопоставлении данных 3D-моделирования и ЭхоКГ установлено, что результаты объемных измерений и функционального анализа не имели совпадений. При сравнении КДО ПЖ по данным КТА и его линейных измерений по данным ЭхоКГ была установлена сильная корреляционная связь, где $r = 0,86$ у конечно-диастолического размера (КДР) в базальном отделе, $r = 0,84$ у КДР в среднем отделе, $r = 0,80$ у КДР по длинной оси. При этом стоит отметить, что при сравнении ФВ, рассчитанной по данным КТА, и фракции изменения площади ПЖ (RVFAC) была установлена умеренная положительная корреляционная связь, где $r = 0,31$ (рис. 1).

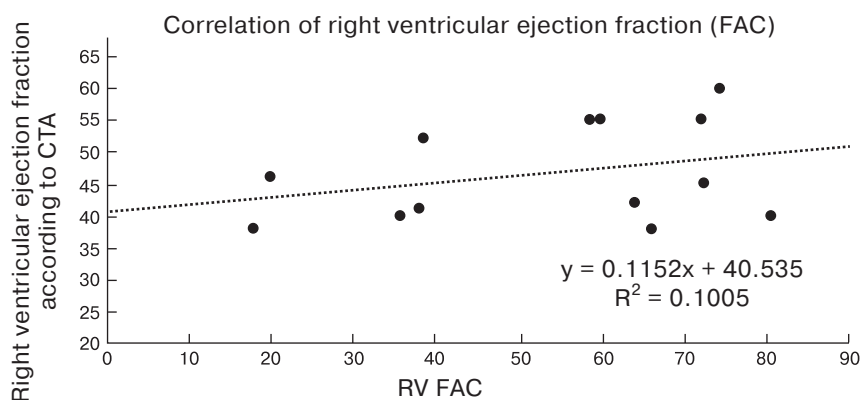
Обсуждение

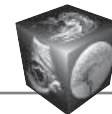
Эхокардиографическая оценка функции и размеров ПЖ при заболеваниях сердца у детей представляет собой сложную задачу из-за большой вариабельности как морфологии, так и его физиологии [5]. Несмотря на то что существуют нормальные референсные данные о размерах и функциях ПЖ у детей, их использование при различных врожденных пороках является сложной задачей.

В настоящее время отсутствуют какие-либо стандарты выполнения ЭхоКГ у детей с врожденными пороками сердца, а все используемые измерения размеров ПЖ включены в рекомендации

Рис. 1. Диаграмма корреляции фракции выброса правого желудочка, рассчитанной по данным КТА, и RVFAC, рассчитанной по данным ЭхоКГ.

Fig. 1. Correlation between the right ventricular ejection fraction calculated from computed tomography angiography and the RVFAC calculated from echocardiographic data.





для взрослых. Считается, что измерение площади ПЖ хорошо отражает его объем, а ее изменение от конечной диастолы до конечной систолы можно использовать в качестве замены объемной ФВ [6–8]. RVFAC, определяемая по апикальным 4-камерным плоскостям, должна хорошо коррелировать с ФВ ПЖ. К сожалению, в случаях гипоплазии ПЖ у детей с врожденными пороками сердца оценка данного параметра затруднена из-за измененной формы, в частности при выраженной гипертрофии миокарда.

В 2003 г. N. Yoshimura и соавт. опубликовали статью, в которой предложили прогностически эффективную стратегию лечения пациентов с АЛА ИМЖП, основываясь на морфологии и размерах полости ПЖ. Для расчета КДО ПЖ авторы использовали изображения, полученные при зондировании полостей сердца в двух проекциях: прямой и боковой, после чего проводили измерение длины и поперечного размера ПЖ на разных уровнях и на одинаковом расстоянии друг от друга, и по предложенной ими же формуле рассчитывали объем. Такой пример демонстрирует необходимость применения дополнительных методов лучевой диагностики для уточнения анатомии камер сердца, расчетов их объемов и оценки функции. На современном этапе развития КТ-аппаратов, усовершенствования протоколов сканирования уже достигнуты значительные успехи в уменьшении лучевой нагрузки на пациентов без снижения качества и информативности получаемых изображений [9].

Современные пакеты программного обеспечения, работающие с форматами DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), позволяют в процессе формирования 3D-моделей полостей сердца и магистральных сосудов проводить сегментацию на основе разности плотности контрастированной крови, миокарда и окружающей клетчатки. Это позволяет получать значения объема полости желудочков без учета папиллярных мышц и трабекул, что в значительной степени является более предпочтительным методом в сравнении с измерениями полостей, когда оператор самостоятельно обводит контур по внутренней границе эндокарда.

Получаемые значения объемов ПЖ в конечно-диастолическую и конечно-систолическую фазы, как можно видеть на представленных иллюстрациях, позволяют рассчитывать значения ФВ вне зависимости от сложности анатомической структуры желудочка (рис. 2). Стоит отметить, что расчеты КДО и ФВ по магнитно-резонансной томограмме в ЭКГ-синхронизированном исследовании сердца также, весьма вероятно, будут уступать

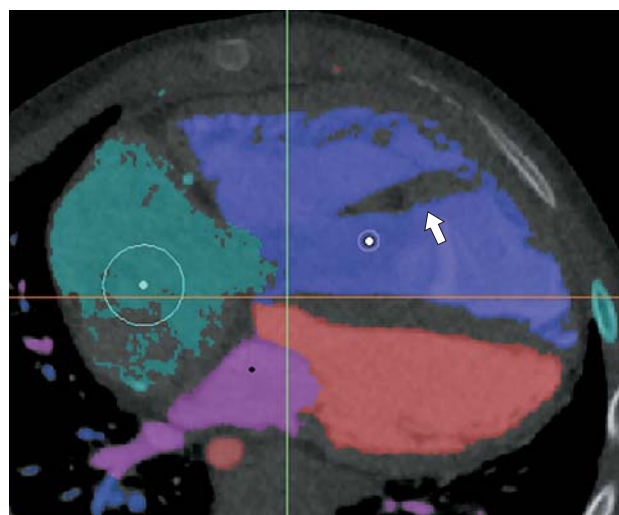


Рис. 2. КТ-ангиограмма сердца, аксиальный срез. Этап сегментации полостей правого (фиолетовый) и левого (коралловый) желудочков сердца, желтая стрелка демонстрирует папиллярную мышцу, исключенную из расчета объемной фигуры.

Fig. 2. Computed tomographic angiography of the heart, axial slice. The stage of segmentation of the cavities of the right (purple) and left (coral) ventricles of the heart, the yellow arrow shows the papillary muscle, excluded from the calculation of the volumetric figure.

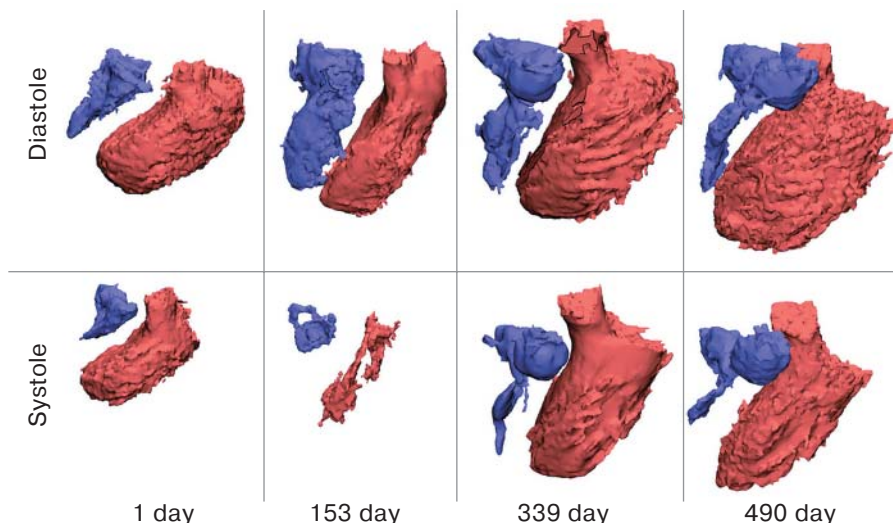
предлагаемой методике, поскольку имеют ряд ограничений, связанных со значительно большей толщиной среза получаемых изображений, деформацией полости желудочка относительно межжелудочковой перегородки и плоскости фиброзного кольца атриовентрикулярного клапана. Помимо этого, воспроизводимость данного метода позволяет сравнивать размеры полостей сердца в динамике, как с использованием программного обеспечения для просмотра 3D-моделей, поскольку сохраняются их пространственные значения, так и после 3D-печати, что может быть полезным при планировании радикальных вмешательств для коррекции врожденного порока сердца (рис. 3).

Необходимо отметить здесь и ограничения 3D-моделирования, основанные на постобработке данных КТА. Во-первых, для успешной сегментации полостей сердца и исключения папиллярных мышц и трабекул при проведении сканирования необходимо добиться гомогенного контрастирования всех камер сердца с плотностью более +200 HU. В противном случае статистические шумы, неизбежно возникающие при реконструкции, могут создавать артефакты критического характера. Во-вторых, из-за высокой частоты сердечных сокращений и вариабельности пульса у детей



Рис. 3. 3D-модели полостей правого (фиолетовый) и левого (коралловый) желудочков сердца, соотношение моделей 1:1. Демонстрируются размеры желудочков сердца в фазы систолы и диастолы у одного пациента в течение нескольких последовательных исследований.

Fig. 3. 3D models of the cavities of the right (purple) and left (coral) ventricles of the heart, the ratio of the models is 1:1. The sizes of the ventricles of the heart in the systole and diastole phases in one patient are demonstrated over several consecutive studies.



фазы систолы и диастолы могут быть неправильно определены программным обеспечением томографа, поэтому их рекомендуется реконструировать вручную под контролем врача, непосредственно после исследования. В-третьих, при низком соотношении сигнал/шум для изображений постобработка визуальных данных может быть затруднена, а получаемые результаты анализа трехмерных структур могут иметь значительные погрешности.

Закключение

Применение 3D-моделирования и его вывод на материальный носитель в виде 3D-печати у детей с атрезией легочной артерии с интактной межжелудочковой перегородкой дает возможность персонализированно планировать хирургические вмешательства на сердце у конкретного пациента, позволяя сердечно-сосудистому хирургу анализировать анатомические особенности порока еще на дооперационном этапе. Однако результаты анализа трехмерных моделей сердца с реконструкцией в различные фазы сердечного цикла позволяют также получать точные данные об объемах полостей, тем самым предоставляя возможность оценивать конечно-диастолические объемы и фракции выброса желудочков сердца в течение периода наблюдения за пациентом. Такой подход может иметь значение как инструмент прогноза для принятия решения о необходимости и сроках коррекции порока, а также объемах хирургического вмешательства в период наблюдения за такими пациентами с атрезией легочной артерии, неизбежно требующей ранней хирургической коррекции.

Участие авторов

Кобелев Е. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор и обработка данных, подготовка, подготовка и редактирование текста, создание опубликованной работы.

Войтов А.В. – статистическая обработка данных, написание текста.

Фридман А.В. – сбор и обработка данных.

Сойнов И.А. – подготовка и редактирование текста.

Усов В.Ю. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Kobelev E. – concept and design of the study, writing text, collection and analysis of data, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Voitov A.V. – concept and design of the study, writing text.

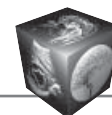
Fridman A.V. – collection and analysis of data.

Soinov I.A. – text preparation and editing.

Usov V.Yu. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Котов С.А., Соболев А.В., Чвамания А.А., Бутрим Ю.В. Трансвентрикулярная баллонная вальвулопластика клапанного стеноза легочной артерии у новорожденного ребенка с атрезией легочной артерии I типа с интактной межжелудочковой перегородкой. *Детские болезни сердца и сосудов*. 2019; 16 (4): 282–286. <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2019-16-4-282-286>
Kotov S.A., Sobolev A.V., Chvamanian A.A., Butrim Yu.V. Transventricular balloon valvuloplasty of valvular pulmonary stenosis in newborn with type 1 pulmonary atresia with intact ventricular septum. *Children's Heart and Vascular Diseases*. 2019; 16 (4): 282–286. <https://doi.org/10.24022/1810-0686-2019-16-4-282-286> (In Russian)



2. Gorla S.R., Thomas A., Singh A.P. Pulmonary Atresia With Intact Ventricular Septum. [Updated 2025 May 5]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546666/>
3. Пичкуре Ж., Калинин А., Лейниекс А., Алехин М.Н. Современные методы эхокардиографии в оценке функции правого желудочка. *Кардиология*. 2017; 57 (9): 54–64.
Pickure Z., Kalinin A., Lejnicks A., Alekhin M.N. Current Echocardiographic Techniques for Evaluation of the Right Ventricle. *Kardiologija*. 2017; 57 (9): 54–64. <https://doi.org/10.18087/cardio.2017.9.10019> (In Russian)
4. Ярошук Н.А., Кочмашева В.В., Дитятев В.П. Сравнительный анализ значений объемов левого желудочка у пациентов с инфарктом миокарда в зависимости от метода визуализации. *Российский кардиологический журнал*. 2012; 5: 30–33.
Yaroshchuk N.A., Kochmasheva V.V., Dityatev V.P. Comparative analysis of left ventricular volume parameters by visualisation method in patients with myocardial infarction. *Russian Journal of Cardiology*. 2012; 5: 30–33. (In Russian)
5. Mah K., Mertens L. Echocardiographic Assessment of Right Ventricular Function in Paediatric Heart Disease: A Practical Clinical Approach. *CJC Pediatr. Congenit. Heart Dis.* 2022; 1 (3): 136–157. <https://doi.org/10.1016/j.cjpcp.2022.05.002>
6. Lopez L., Colan S.D., Frommelt P.C. et al. Recommendations for quantification methods during the performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23: 465–495. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.03.019>
7. Rothstein E.S., Palac R.T., O'Rourke D.J. et al. Evaluation of echocardiographic derived parameters for right ventricular size and function using cardiac magnetic resonance imaging. *Echocardiography*. 2021; 38: 1336–1344. <https://doi.org/10.1111/echo.15162>
8. Lai W.W., Gauvreau K., Rivera E.S. et al. Accuracy of guideline recommendations for two-dimensional quantification of the right ventricle by echocardiography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2008; 7: 691–698. <https://doi.org/10.1007/s10554-008-9314-4>
9. Yoshimura N., Yamaguchi M., Ohashi H. et al. Pulmonary atresia with intact ventricular septum: strategy based on right ventricular morphology. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2003; 126 (5): 1417–1426. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(03\)01035-3](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(03)01035-3)

Для корреспонденции*: Кобелев Евгений – e-mail: kobelev_e@meshalkin.ru

Кобелев Евгений – канд. мед. наук, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела лучевой и инструментальной диагностики ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-5901-2271>

Войтов Алексей Викторович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела врожденных пороков сердца Института патологии кровообращения ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0003-3797-4899>

Фридман Александр Владимирович – врач-рентгенолог рентгеновского отделения ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-2300-2418>

Сойнов Илья Александрович – доктор мед. наук, заведующий научно-исследовательским отделом врожденных пороков сердца Института патологии кровообращения ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела лучевой и инструментальной диагностики ФГБУ “НМИЦ им. академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>

Contact*: Kobelev Eugenii – e-mail: kobelev_e@meshalkin.ru

Eugenii Kobelev – Cand. of Sci. (Med.), junior researcher, Scientific Research Department of Radiation and Instrumental Diagnostics, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-5901-2271>

Alexey V. Voitov – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, Scientific Research Department of Congenital Heart Defects, Institute of Circulatory Pathology, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0003-3797-4899>

Alexander V. Fridman – radiologist at the X-ray Department, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-2300-2418>

Ilya A. Soinov – Doct. Sci. (Med.), Head of the Research Department of Congenital Heart Defects, Institute of Circulatory Pathology, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

Vladimir Yu. Usov – Doct. Sci. (Med.), Professor, Scientific Research Department of Radiation and Instrumental Diagnostics, E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>



Возможность использования эластографии сдвиговой волной для ультразвуковой оценки нестабильной каротидной атеросклеротической бляшки

© Куликов В.П.^{1*}, Аткин С.С.^{1,2}, Козлов А.В.², Минаков И.В.²,
Атякшин Д.А.³, Пацап О.И.³, Игнатюк М.А.³, Трегуб П.П.³,
Мотин Ю.Г.^{1,2}, Пролубников М.А.⁴

¹ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России; 656038 Барнаул, пр. Ленина, 40, Российская Федерация

² КГБУЗ «Краевая клиническая больница»; 656045 Барнаул, ул. Ляпидевского, 1, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»; 656038 Барнаул, пр. Ленина, 46, Российская Федерация

Цель исследования: проверка гипотезы о возможности использования ультразвуковой эластографии сдвиговой волной для оценки нестабильности атеросклеротической бляшки (АСБ) сонной артерии.

Материал и методы. Методом дуплексного сканирования на сканере Samsung V7 было обследовано 26 пациентов в возрасте $69,1 \pm 6,1$ года со стенозом сонных артерий – кандидатов на реваскуляризацию. Эластографию сдвиговой волной (SWE) АСБ проводили линейным датчиком LA2-14A. Использовали множественные круговые зоны интереса различного размера для максимального захвата бляшки. После каротидной эндартерэктомии проводили гистологическое исследование АСБ, окрашенных гематоксилином. Использовали дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты. Модуль Юнга (E) АСБ сонной артерии был связан со степенью стеноза внутренней сонной артерии, наличием в бляшке богатого липидами некротического ядра (LRNC) и с ультразвуковой характеристикой типа бляшки по Geroulakos. Медианное значение показателя жесткости бляшки (E, МКР) было связано с гистологической оценкой толщины фиброзной покрышки.

Заключение. SWE может быть использована и перспективна для количественной оценки нестабильности каротидных атеросклеротических бляшек.

Ключевые слова: эластография сдвиговой волной; SWE; атеросклеротическая бляшка; нестабильная бляшка; сонная артерия

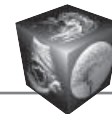
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Куликов В.П., Аткин С.С., Козлов А.В., Минаков И.В., Атякшин Д.А., Пацап О.И., Игнатюк М.А., Трегуб П.П., Мотин Ю.Г., Пролубников М.А. Возможность использования эластографии сдвиговой волной для ультразвуковой оценки нестабильной каротидной атеросклеротической бляшки. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 26–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1595>

Поступила в редакцию: 27.08.2025.

Принята к печати: 06.10.2025.

Опубликована online: 16.02.2026.



Potential of using shear wave elastography for ultrasound evaluation of unstable carotid atherosclerotic plaque

© Vladimir P. Kulikov^{1*}, Stanislav S. Atkin^{1, 2}, Alexey V. Kozlov², Ilja V. Minakov², Dmitry A. Atjakshin³, Olga I. Pacap³, Michail A. Ignatjuk³, Pavel P. Tregub³, Yuri G. Motin^{1, 2}, Mikhail A. Prolubnikov⁴

¹ Altai State Medical University; 40, Lenin prosp., Barnaul 656038, Russian Federation

² Altai Regional Hospital; 1, Lyapidevsky str. Barnaul 656045, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

⁴ Polzunov Altai State Technical University; 46, Lenina prosp., Barnaul 656038, Russian Federation

Objective. Testing the hypothesis about the possibility of using shear wave ultrasound elastography to assess the instability of atherosclerotic plaque in the carotid artery.

Material and methods. Twenty-six patients aged 69.1 ± 6.1 years with carotid artery stenosis were examined using Duplex (DS) on a Samsung V7 scanner. SWE of the atherosclerotic plaque was performed with a linear LA2-14A probe. Multiple circular regions of interest (ROI) of different sizes were used to maximize plaque capture. After carotid endarterectomy (CEA), histological examination of hematoxylin-stained atherosclerotic plaques was performed. Analysis of variance (ANOVA) was used.

Results. Young's modulus (E) of carotid atherosclerotic plaques was associated with the degree of ICA stenosis, the presence of a lipid-rich necrotic core (LRNC) in the plaque and the ultrasound characterization of the Geroulakos plaque type. The median value of the plaque stiffness index (E, IQR) were associated with the histological assessment of the thickness of the fibrous cap.

Conclusion. SWE can be used and is promising for the quantitative assessment of instability of carotid atherosclerotic plaques.

Keywords: shear wave ultrasound elastography; SWE; atherosclerotic plaque; vulnerable plaque; carotid artery

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

For citation: Kulikov V.P., Atkin S.S., Kozlov A.V., Minakov I.V., Atjakshin D.A., Pacap O.I., Ignatjuk M.A., Tregub P.P., Motin Y.G., Prolubnikov M.A. Potential of using shear wave elastography for ultrasound evaluation of unstable carotid atherosclerotic plaque. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 26–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1595>

Received: 27.08.2025.

Accepted for publication: 06.10.2025.

Published online: 16.02.2026.

Введение

Ультразвуковая оценка нестабильности каротидной атеросклеротической бляшки (АСБ) широко используется для стратификации риска инсульта. Традиционно с этой целью применяют методы ультразвуковой диагностики, основанные на субъективной оценке эхоструктуры АСБ [1, 2]. В последние годы были предприняты попытки усовершенствования этих методов путем включения количественных параметров АСБ. В 2020 г. American Society of Echocardiography рекомендовало для прогнозирования риска сердечно-сосудистых событий шкалу GRADE, основанную на количественном параметре – толщине АСБ [3]. В 2023 г. была опубликована универсальная для ультразвукового исследования (УЗИ), компьютерно-томографиче-

ской и магнитно-резонансной ангиографии шкала оценки нестабильности каротидной бляшки и риска ипсилатерального инсульта Carotid Plaque-RADS [4], которая объединила толщину бляшки, как основной количественный критерий ее нестабильности с множеством качественных ультразвуковых признаков уязвимости бляшки (анэхогенные зоны, истончение покрывки, ее изъязвление, разрыв и др.).

Общепризнано, что информативность ультразвуковой оценки нестабильной каротидной бляшки можно повысить за счет использования количественных критериев. Так, в приведенных выше рекомендациях American Society of Echocardiography [3] предлагается использовать количественные методы оценки эхогенности бляшки – GSM



(gray scale median) [5] и PDA (pixel distribution analysis) [6]. В последние годы появились публикации об использовании для количественной оценки нестабильности АСБ эластографии сдвиговой волной (Shear Wave Elastography (SWE)). Количество публикаций в PubMed по этой теме возрастает год от года и исчисляется несколькими десятками (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=SHEAR+WAVE+ELASTOGRAPHY+ARTERY+PLAQUE>). Этого количества исследований пока недостаточно для рекомендаций по практическому применению SWE. Однако первые сопоставления SWE и гистологической оценки нестабильности каротидной АСБ выглядят оптимистично [7]. Авторы этого систематического обзора высказали предположение о том, что эластография в перспективе может быть самым точным и объективным методом для оценки нестабильности каротидной АСБ и стратификации риска инсульта.

Цель исследования: установить возможность использования эластографии сдвиговой волной для ультразвуковой оценки уязвимости каротидной атеросклеротической бляшки.

Материал и методы

Пациенты с установленным атеросклеротическим стенозом сонных артерий – кандидаты на реваскуляризацию находились на госпитализации в отделении сосудистой хирургии в период с июля по декабрь 2024 г. и проходили предоперационное УЗИ брахиоцефальных артерий. Всего было обследовано 38 пациентов, из них 33 прооперировано, у 26 из них были получены пригодные для гистологического исследования бляшки и проведено их гистологическое исследование. Средний возраст пациентов этой группы составил $69,1 \pm 6,1$ года.

Пациентам, отобранном для вмешательства, проводилась операция эверсионной каротидной эндартерэктомии. Материал в виде удаленной АСБ помещался хирургами *ex tempore* во флакон с раствором формалина и передавался в гистологическую лабораторию.

Всем пациентам выполнялось стандартное УЗИ экстракраниальных и интракраниальных брахиоцефальных артерий [8] на ультразвуковом сканере Samsung V7-RUS. Дуплексное сканирование экстракраниальных сосудов шеи и глазных артерий проводили мультимодальным линейным датчиком LA2-14A, транскраниальное дуплексное сканирование – секторным фазированным датчиком PA1-5A.

Степень стеноза внутренней сонной артерии (BCA) устанавливали гемодинамическим методом

(доплерографически) по критериям DEGUM и морфологическим методом (планиметрическим) по способу NASCET и ECST [9]. Эхоструктуру каротидных АСБ оценивали в В-режиме, распределяя их на 5 типов по модифицированной G. Geroulakos классификации Gray-Weale [1, 2].

Эластографию сдвиговой волной АСБ проводили в продольном сечении по протоколу, составленному в соответствии с рекомендациями [7, 10–12]. Использовали множественные круговые зоны интереса (ROI) различного размера для максимального захвата бляшки без расположения ROI в зоне акустических теней от кальция (рис. 1). Размеры ROI варьировали от 1 до 5 мм в зависимости от гетерогенности АСБ по эхогенности. У гомогенных бляшек использовался максимальный диаметр ROI, а у гетерогенных – минимальный для исключения попадания участков различной эхогенности в одну зону интереса. Число ROI, использованных для оценки одной бляшки, варьировало от 4 до 8 для захвата максимальной площади АСБ. У неровных и больших по площади бляшек использовалось максимальное количество круговых зон интереса, а у ровных и небольших – минимальное. Выбирали проекцию с оптимальной визуализацией АСБ в В-режиме. Затем в реальном времени включали режим SWE. После замораживания изображения включали функцию контроля качества выбранной зоны RMI (Reliable Measurement Index, индекс надежности измерения) и при помощи трекбола подбирали кадр с максимальным заполнением зоны SWE зеленым цветом на левой половине удвоенного изображения. В меню выбирали тип измерения “круг” и размещали ROI в проекции бляшки, как описано выше (рис. 1г). Затем активировали в меню “измерение эластичности” и переходили в раздел “профиль” с графическим отображением разброса измерений эластичности между выбранными ROI, а также численным выражением среднего (сред.) и медианного (МКР) значений модуля Юнга в кПа и значением разброса измерений среднего (интерквартильный размах (IQR)) в % (рис. 1д).

Все УЗИ проводил один специалист, прошедший дополнительное обучение работе на использованной модели сканера. Все протоколы экспертировались другим специалистом на предмет соответствия исследования требованиям протокола.

Гистологическое исследование каротидных АСБ, фиксированных 10% раствором формалина с буфером, проводили по стандартной методике (гистопроцессинг с использованием раствора для гистологической проводки на основе изопропилового спирта), далее парафиновые блоки

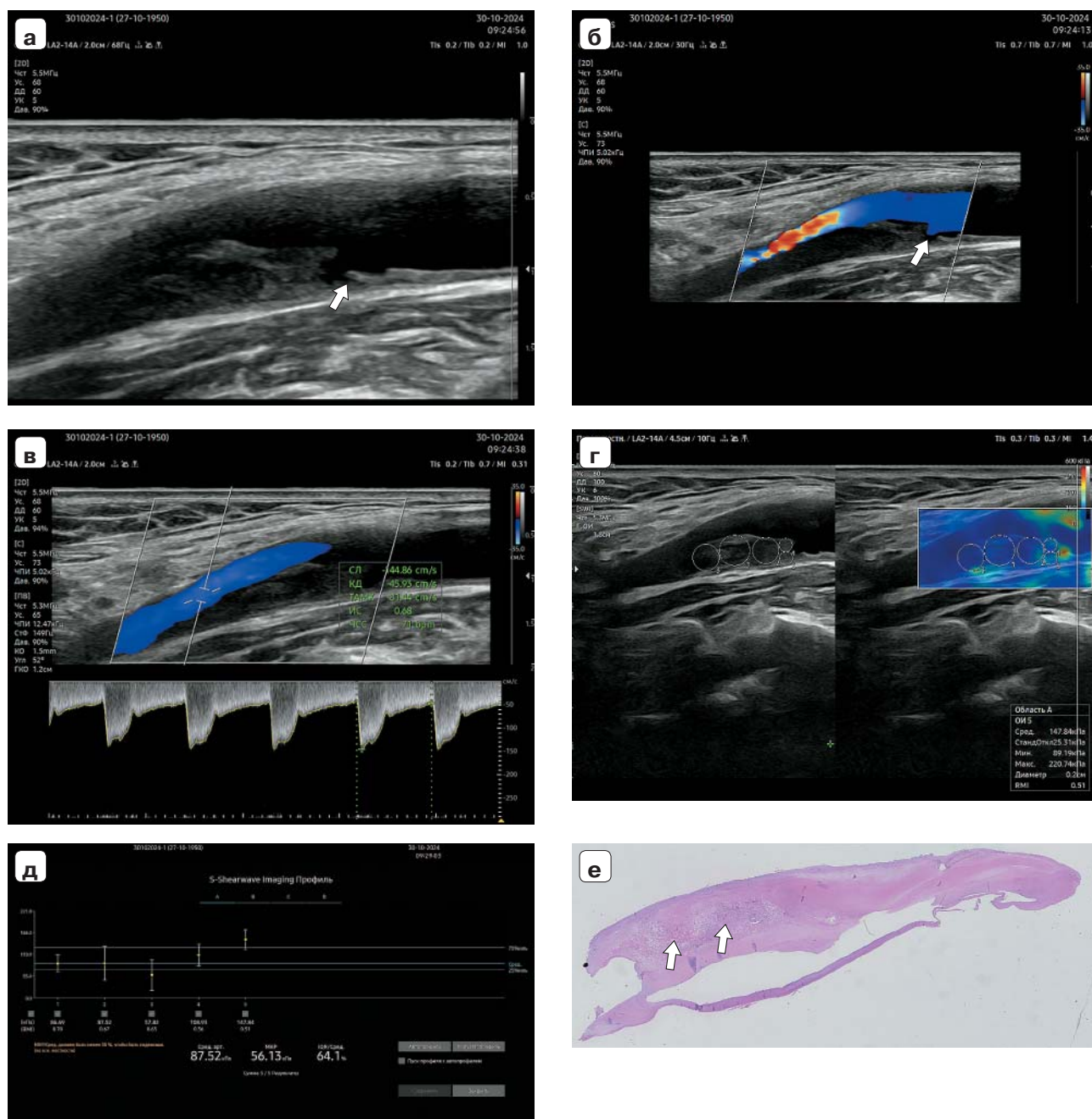
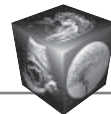


Рис. 1. Ультразвуковая и гистологическая характеристика АСБ в синусе левой ВСА пациента Т., 73 года.

а – В-режим: гомогенная гипоехогенная АСБ, толщина 4,9 мм, протяженность 29,1 мм, покрышка тонкая, разрыв фиброзной капсулы более 1 мм (стрелка), тип 1 по Geroulakos, Plaque-RADS 4в; **б** – режим ЦДК: элайзинг в зоне стеноза и затекание крови в область разрыва фиброзной капсулы (стрелка); **в** – доплерограмма в зоне стеноза, ПСС 145 см/с, КО 2, стеноз по гемодинамике 50–59%; **г** – эластография АСБ; **д** – количественные результаты эластографии АСБ; **е** – гистология, окраска гематоксилином и эозином, $\times 200$: фиброзная покрышка толщина 20% от толщины бляшки, липидное ядро 70% от площади бляшки, скопления фибриноидного колликативного некроза (стрелки).

Fig. 1. Ultrasound and histological characteristics of atherosclerotic plaque in the sinus of the left internal carotid artery of patient T., 73 years old.

а – B-mode: homogeneous hypoechoic atherosclerotic plaque, thickness 4.9 mm, length 29.1 mm, thin cap, fibrous capsule rupture more than 1 mm (arrow), type 1 according to Geroulakos, Plaque-RADS 4b; **б** – color Doppler mode: elating in the stenosis area and blood leakage into the area of fibrous capsule rupture (arrow); **в** – dopplerogram in the stenosis area, PSS 145 cm/s, KO 2, hemodynamic stenosis 50–59%; **г** – atherosclerotic plaque elastography; **д** – quantitative results of atherosclerotic plaque elastography; **е** – histology, hematoxylin and eosin staining, $\times 200$: fibrous cap thickness 20% of plaque thickness, lipid core 70% of plaque area, accumulations of fibrinoid colluvative necrosis (arrows).

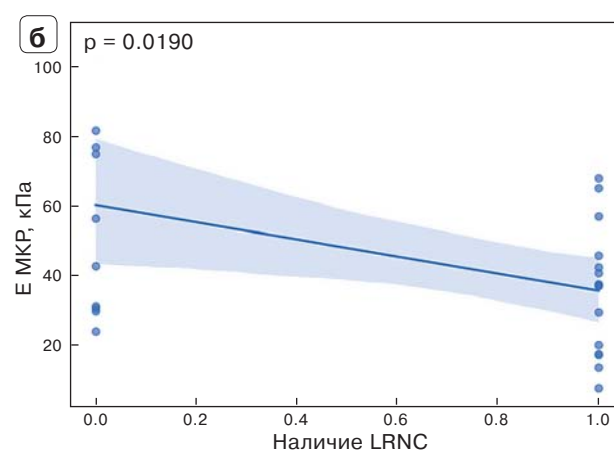
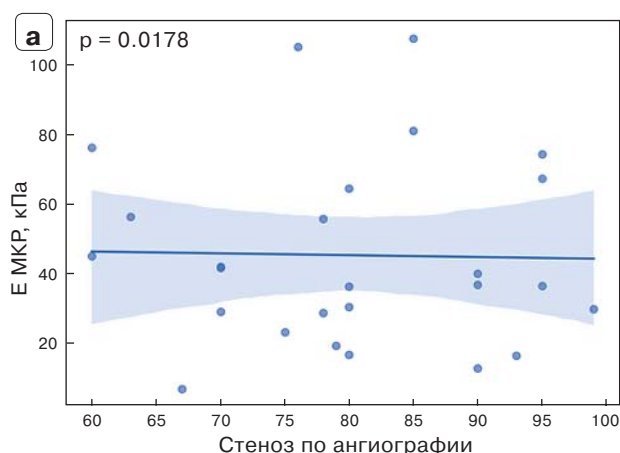


Рис. 2. Связи эластографической оценки жесткости (модуль Юнга, E) с основными характеристиками каротидных АСБ.

Медианное значение модуля Юнга (E, МКР) по данным SWE и степень стеноза ВСА (%) по данным ангиографии (а); наличие в бляшке богатого липидами некротического ядра (LRNC) по данным УЗИ (б); тип бляшки по ультразвуковой классификации Geroulakos (в).

Fig. 2. Relationships between elastographic assessment of stiffness (Young's modulus, E) and the main characteristics of carotid atherosclerotic plaques.

Median value of Young's Modulus (E, ICR) according to SWE data and the degree of ICA stenosis (%) according to angiography data (a); presence of lipid-rich necrotic core (LRNC) in the plaque according to ultrasound data (б); plaque type according to Geroulakos ultrasound classification (в).

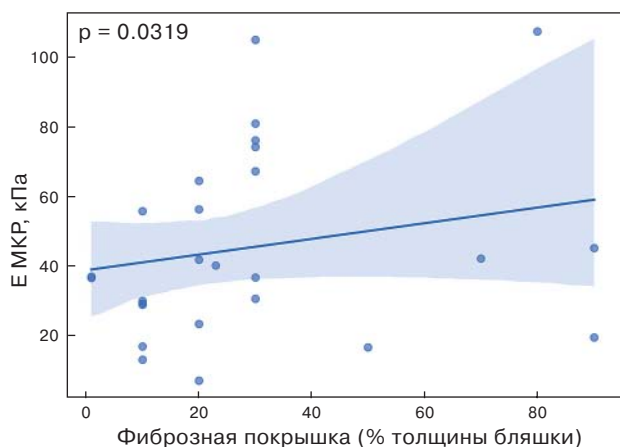
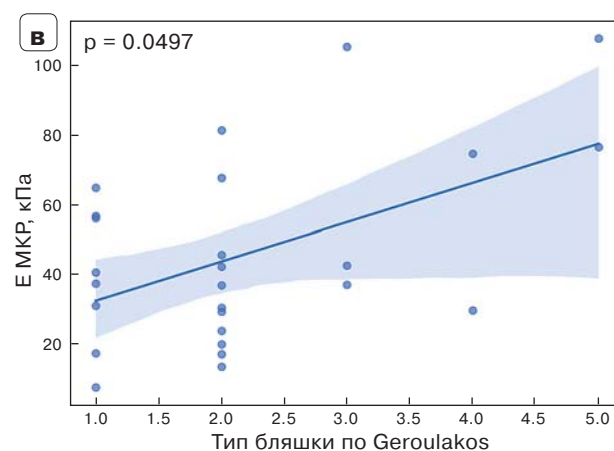


Рис. 3. Связь эластографической оценки жесткости (модуль Юнга, E) с гистологической оценкой фиброзной покрышки каротидных АСБ.

Fig. 3. Relationship between elastographic assessment of stiffness (Young's modulus, E) and histological assessment of the fibrous cap of carotid atherosclerotic plaques.

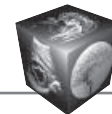
подвергали микротомии со срезами толщиной 3 мкм, окрашивали гематоксилином Джилла и эозином водно-спиртовым, 1%, $\times 200$.

Статистический анализ данных проводили с помощью Statistica 10 (StatSoft, США). Для установления статистически значимых различий между средними значениями использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Статистическая значимость определялась при $p < 0,05$.

Результаты исследования

По данным дисперсионного анализа модуль Юнга (E) АСБ сонной артерии, измеренный методом SWE, был связан со степенью стеноза ВСА, наличием в бляшке богатого липидами некротического ядра (LRNC) и с ультразвуковой характеристикой типа бляшки по Geroulakos (рис. 2).

Медианное значение жесткости бляшки (E, МКР) было связано с гистологической оценкой толщины фиброзной покрышки бляшки (рис. 3).



Обсуждение

Целью этого исследования была проверка гипотезы о возможности использования ультразвуковой эластографии сдвиговой волной для оценки нестабильности АСБ сонной артерии. Все больше данных свидетельствует о важности неинвазивной оценки уязвимости (нестабильности) каротидной АСБ для стратификации риска ипсилатерального атеротромботического ишемического инсульта [4, 7, 13]. Однако ультразвуковая оценка нестабильной АСБ, как правило, проводится качественно по эхогенности на основе субъективной оценки интенсивности и равномерности отражения бляшкой ультразвука в соответствии с классификацией Gray-Weale [1] в модификации Geroulakos [2]. В опубликованном недавно систематическом обзоре [13], посвященном гистологической верификации ультразвуковой характеристики каротидных бляшек, на основании анализа 63 статей был сделан вывод об отсутствии тенденции к увеличению точности традиционных методов УЗИ за последние 40 лет (1982–2021). Перспективы повышения точности УЗИ для оценки нестабильности каротидной бляшки связывают с новыми количественными методами, среди которых SWE рассматривается как один из наиболее перспективных [7].

В SWE силовой импульс акустического излучения (acoustic radiation force impulse, ARFI) используется для создания сдвиговой волны [14]. Эта сдвиговая волна распространяется перпендикулярно силовому импульсу, а ее скорость напрямую связана с эластичностью ткани, выражаемой модулем Юнга [15]. Чем жестче ткань, тем выше модуль Юнга. Поскольку он значительно ниже для липидной ткани, чем для фиброзной [16], SWE может быть потенциально пригодной для обнаружения уязвимых бляшек. Опубликованные к настоящему времени результаты исследований подтвердили это предположение. Индексы SWE, в основном модуль Юнга, были надежны для оценки структуры каротидной бляшки по сравнению с любыми референсными методами, включая гистологию [7, 13, 17].

Наше исследование также показало наличие значимых связей модуля Юнга каротидной АСБ, измеренного методом SWE, с важными количественными ангиографическими, ультразвуковыми и гистологическими критериями ее нестабильности. Прежде всего, речь идет о связи жесткости бляшки со степенью стеноза ВСА, так как степень стеноза ВСА остается основным количественным критерием риска атеротромботического ишемического инсульта [4]. Аналогичные результаты были получены в исследовании K. Ramnarine и соавт. [18], обнаруживших более низкий модуль Юнга

в бляшках у пациентов с более высокой степенью стеноза. Эти результаты подчеркивают значимость размера бляшки и соответственно степени стеноза ВСА для прогрессирования ее уязвимости и увеличения риска атеротромбоза.

Важно, что результаты ANOVA показали значимую связь модуля Юнга SWE и ультразвукового типирования бляшки по Geroulakos. Несмотря на очевидную низкую мощность выборки по типам бляшки 3–5, модуль Юнга нестабильных бляшек (типы 1, 2) был значимо меньше, чем модуль Юнга более стабильных бляшек (типы 3–5). С одной стороны, более чем 30-летнее использование этой субъективной шкалы вряд ли было бы возможно без ее реальной связи с объективной реализацией прогноза по нестабильной бляшке. С другой стороны, эта связь вселяет надежду на увеличение диагностической информативности УЗИ за счет внедрения количественной характеристики жесткости бляшки по SWE.

Аналогично можно трактовать связь модуля Юнга с выявлением при УЗИ скопления липидов в бляшке (LRNC). Модуль Юнга был ниже в бляшках, содержащих LRNC, по сравнению с бляшками без ультразвуковых признаков LRNC. Эти данные согласуются с результатами исследования, показавшего, что модуль Юнга значительно ниже для липидной ткани, чем для фиброзной [16]. Известно, что ультразвук хорошо выявляет скопления липидов и кровоизлияние в бляшку, но не может дифференцировать эти разные по природе и значимости для прогноза патологические процессы [4]. Наши результаты позволяют надеяться, что использование SWE может улучшить возможности УЗИ для такой дифференцировки.

Модуль Юнга был связан с гистологической оценкой толщины фиброзной покрышки бляшки, возрастая с увеличением ее толщины. Учитывая жесткость фиброзной ткани, именно толщина фиброзной покрышки существенно влияет на жесткость бляшки и лимитирует ее разрыв с выбросом в кровоток тромбогенного содержимого и атеротромбоз мозговых артерий. T. Czernuszcwicz и соавт. [19] показали, что ультразвуковая эластография сдвиговой волной способна различать мягкие и жесткие компоненты АСБ, верифицированные гистологически, а точность диагностики возрастает с включением в оценку толщины фиброзной капсулы.

Пока немногочисленные исследования, включающие всего несколько десятков оригинальных работ, из которых примерно 15 работ использовали гистологическую верификацию уязвимой бляшки, однозначно свидетельствуют о перспективности использования ультразвуковой SWE для



количественной оценки нестабильности каротидных АСБ, превосходящей ее традиционную оценку по эхогенности. Помимо малого числа исследований, существенным ограничением для практического применения SWE каротидных бляшек является отсутствие стандартизации методики. Наиболее часто используется оценка модуля Юнга методом K. Ramnarine и соавт. [18] с круговыми ROI, как было и в нашей работе (см. рис. 1г). Однако область анализа в исследованиях варьировала от нескольких ROI в 1–2 мм до оконтуривания всей бляшки, что может быть одной из причин различий в измеренных значениях жесткости бляшки [7]. Кроме того, использование круговых ROI различается в клиническом применении от прицельного размещения в отдельных участках бляшки до заполнения максимального размера бляшки, как в нашей работе. Существуют противоречия в рекомендациях по проведению SWE в продольном или поперечном сечении бляшки, хотя большинство, как и в нашей работе, использует продольное сечение [7]. Подчеркивается, что, с одной стороны, SWE наиболее чувствительна к кальцификации бляшки, но, с другой стороны, кальций затрудняет проведение исследования [7]. Учитывая это, мы не размещали ROI на участках бляшки, которые находились в зоне затенения от кальция. Безусловно, нужны исследования, которые бы обосновали и стандартизовали методику применения SWE для оценки уязвимости каротидной бляшки. Также для практического использования SWE пока недостаточно данных для выработки разграничительных количественных критериев оценки нестабильной бляшки. Однако результаты, в том числе и нашего исследования, позволяют надеяться на скорое устранение препятствий для клинического применения SWE.

Ограничением настоящей работы является небольшой размер выборки. Это ограничение преодолимо по мере увеличения соответствующих исследований, число которых прогрессивно возрастает. Еще одно важное ограничение – отсутствие стандартизованного протокола SWE. К сожалению, это трудно преодолимое ограничение для всех новых методов или новых областей применения даже стандартизованных методик. Преодолеть это ограничение без проведения специальных сравнительных методических исследований невозможно. И на их проведение понадобится достаточно много времени.

Заключение

Ультразвуковая оценка жесткости атеросклеротических бляшек сонной артерии методом эластографии сдвиговой волной (SWE) связана со степе-

нью стеноза внутренней сонной артерии и гистологической оценкой толщины фиброзной покрышки бляшки.

Модуль Юнга, измеренный методом SWE, связан с ультразвуковой оценкой наличия в бляшке богатого липидами некротического ядра (LRNC) и ультразвуковым типированием каротидных бляшек по эхогенности и риску инсульта по Geroulakos.

Эластография сдвиговой волной может быть использована и перспективна для количественной оценки нестабильности каротидных атеросклеротических бляшек.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке компании ЗАО Медиэйс по договору НИР № 1-2024МБ от 19.07.2024 с Алтайским государственным медицинским университетом.

Funding

This work was supported by Mediays CJSC under R&D contract No. 1-2024MB dated July 19, 2024, with the Altai State Medical University.

Участие авторов

Куликов В.П. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

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

Козлов А.В. – проведение исследования.

Минаков И.В. – проведение исследования.

Атякшин Д.А. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Пацап О.И. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Игнатюк М.А. – проведение исследования.

Трегуб П.П. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

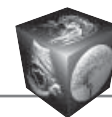
Мотин Ю.Г. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Пролубников М.А. – статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Authors' participation

Kulikov V.P. – concept and design of the study, conducting research, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

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



Kozlov A.V. – conducting research.

Minakov I.V. – conducting research.

Atjakshin D.A. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

Pacap O.I. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Ignatjuk M.A. – conducting research.

Tregub P.P. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

Motin Y.G. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

Prolubnikov M.A. – statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data.

Список литературы [References]

- Gray-Weale A.C., Graham J.C., Burnett J.R. et al. Carotid artery atheroma: comparison of preoperative B-mode ultrasound appearance with carotid endarterectomy specimen pathology. *J. Cardiovasc. Surg.* 1988; 29 (6): 676–681.
- Geroulakos G., Ramaswami G., Nicolaides A. et al. Characterisation of symptomatic and asymptomatic carotid plaque using high-resolution real-time ultrasonography. *Br. J. Surg.* 1993; 80 (10): 1274–1277. <https://doi.org/10.1002/bjs.1800801016>
- Johri A.M., Nambi V., Naqvi T.Z. et al. Recommendations for the Assessment of Carotid Arterial Plaque by Ultrasound for the Characterization of Atherosclerosis and Evaluation of Cardiovascular Risk: From the American Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33 (8): 917–933. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.04.021>
- Saba L., Cau R., Murgia A. et al. Carotid Plaque-RADS. A Novel Stroke Risk Classification System. *Cardiovasc. Imaging.* 2024; 17 (1): 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2023.09.005>
- El-Barghouty N., Geroulakos G., Nicolaides A. et al. Computer-Assisted Carotid Plaque Characterisation. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 1995; 9: 389–393. [https://doi.org/10.1016/s1078-5884\(05\)80005-x](https://doi.org/10.1016/s1078-5884(05)80005-x)
- Lal B.K., Hobson R.W., Pappas P.J., Kubicka R. Pixel distribution analysis of B-mode ultrasound scan images predicts histologic features of atherosclerotic carotid plaques. *J. Vasc. Surg.* 2002; 35 (6): 1210–1217. <https://doi.org/10.1067/mva.2002.122888>
- Pruijssen J.N., de Korte C., Voss I., Hansen H. Vascular Shear Wave Elastography in Atherosclerotic Arteries: A Systematic Review. *Ultrasound Med. Biol.* 2020; 46 (9): 2145–2163. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.05.013>
- IAC Standards and Guidelines for Vascular Testing Accreditation (Published June 1, 2023). 2023. Intersocietal Accreditation Commission. 70 p.
- Naylor R., Rantner B., Ancetti S. et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2023 Clinical Practice Guidelines on the Management of Atherosclerotic Carotid and Vertebral Artery Disease. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2023; 65 (1): 7–111. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2022.04.011>
- Filho P., Bertanha M., Jaldin R. et al. Shear wave elastography for extracranial carotid atherosclerotic plaques: technical principles and how to do it Elastografia por cisalhamento (shear wave) para placas ateroscleróticas carotídeas extracranianas: princípios técnicos e como realizar. *J. Vasc. Bras.* 2023; 22: e20220082. <https://doi.org/10.1590/1677-5449.202200822>
- Goudot G., Sitruk J., Jimenez A. et al. Carotid Plaque Vulnerability Assessed by Combined Shear Wave Elastography and Ultrafast Doppler Compared to Histology. *Transl. Stroke Res.* 2022; 13 (1): 100–111. <https://doi.org/10.1007/s12975-021-00920-6>
- Skoloudik D., Kesnerova P., Vomacka J. et al. Shear-Wave Elastography Enables Identification of Unstable Carotid Plaque. *Ultrasound Med. Biol.* 2021; 47 (7): 1704–1710. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.03.026>
- Pakizer D., Kozel J., Elmers J. et al. Histologically Verified Carotid Plaque Characteristics by Ultrasound: A Diagnostic Accuracy Systematic Review. *Ultrasound Med. Biol.* 2025; 51 (10): 1646–1659. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2025.07.001>
- Sarvazyan A.P., Rudenko O.V., Swanson S.D. et al. Shear wave elasticity imaging: A new ultrasonic technology of medical diagnostics. *Ultrasound Med. Biol.* 1998; 24 (9): 1419–1435. [https://doi.org/10.1016/s0301-5629\(98\)00110-0](https://doi.org/10.1016/s0301-5629(98)00110-0)
- Bamber J., Cosgrove D., Dietrich C. et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography: Part 1. Basic principles and technology. *Ultraschall Med.* 2013; 34 (2): 169–184. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1335205>
- Chai C., Akyildiz A., Speelman L. et al. Local axial compressive mechanical properties of human carotid atherosclerotic plaques – Characterisation by indentation test and inverse finite element analysis. *J. Biomech.* 2013; 46 (10): 1759–1766. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.03.017>
- Davidhi A., Rafailidis V., Destanis E. et al. Ultrasound Elastography: another piece in the puzzle of carotid plaque vulnerability? *Med. Ultrason.* 2022; 24 (3): 356–363. <https://doi.org/10.11152/mu-3190>
- Ramnarine K.V., Garrard J.W., Kanber B. et al. Shear wave elastography imaging of carotid plaques: Feasible, reproducible and of clinical potential. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2014; 12: 49. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-12-49>
- Czernuszewicz T., Homeister J., Caughey M. et al. Performance of acoustic radiation force impulse ultrasound imaging for carotid plaque characterization with histologic validation. *J. Vasc. Surg.* 2017; 66 (6): 1749–1757.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.04.043>



Для корреспонденции*: Куликов Владимир Павлович – e-mail: kulikov57@mail.ru

Куликов Владимир Павлович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ультразвуковой и функциональной диагностики ФГБОУ ВПО “Алтайский государственный медицинский университет” Минздрава России, Барнаул. <https://orcid.org/0000-0003-4869-5465>

Аткин Станислав Сергеевич – заведующий отделением функциональной диагностики КГБУЗ “Краевая клиническая больница”; ассистент кафедры ультразвуковой и функциональной диагностики с курсом ДПО ФГБОУ ВПО “Алтайский государственный медицинский университет” Минздрава России, Барнаул. <https://orcid.org/0009-0000-6744-7307>

Козлов Алексей Витальевич – канд. мед. наук, врач сердечно-сосудистый хирург, заведующий отделением сосудистой хирургии КГБУЗ “Краевая клиническая больница”, Барнаул. <https://orcid.org/0009-0005-9712-7650>

Минаков Илья Викторович – врач сердечно-сосудистый хирург отделения сосудистой хирургии КГБУЗ “Краевая клиническая больница”, Барнаул. <https://orcid.org/0009-0007-4888-9004>

Атякшин Дмитрий Андреевич – доктор мед. наук, директор научно-образовательного ресурсного центра “Инновационные технологии иммунофенотипирования, цифрового пространственного профилирования и ультраструктурного анализа” ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8347-4556>

Пацап Ольга Игоревна – канд. мед. наук, младший научный сотрудник научно-образовательного ресурсного центра “Инновационные технологии иммунофенотипирования, цифрового пространственного профилирования и ультраструктурного анализа” ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4620-3922>

Игнатюк Михаил Александрович – младший научный сотрудник научно-образовательного ресурсного центра “Инновационные технологии иммунофенотипирования, цифрового пространственного профилирования и ультраструктурного анализа” ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0009-0007-3552-5551>

Трегуб Павел Павлович – доктор мед. наук, старший научный сотрудник ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3650-6121>

Мотин Юрий Григорьевич – доктор мед. наук, врач-патологоанатом КГБУЗ “Краевая клиническая больница”; профессор ФГБОУ ВО “Алтайский государственный медицинский университет” Минздрава России, Барнаул. <https://orcid.org/0000-0003-4282-6401>

Пролубников Михаил Александрович – аспирант ФГБОУ ВО “Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова”, Барнаул. <https://orcid.org/0009-0004-4370-4961>

Contact*: Vladimir P. Kulikov – e-mail: kulikov57@mail.ru

Vladimir P. Kulikov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Ultrasound and Functional Diagnostic Department, Altai State Medical University, Barnaul. <https://orcid.org/0000-0003-4869-5465>

Stanislav S. Atkin – Head of the Functional Diagnostics Department, Altai Regional Hospital; Assistant Professor of Ultrasound and Functional Diagnostic Department, Altai State Medical University, Barnaul. <https://orcid.org/0009-0000-6744-7307>

Alexey V. Kozlov – Cand. of Sci. (Med.), Head of Vascular Surgery Department, Altai Regional Hospital, Barnaul. <https://orcid.org/0009-0005-9712-7650>

Ilya V. Minakov – cardiovascular surgeon of the vascular surgery department, Altai Regional Hospital, Barnaul. <https://orcid.org/0009-0007-4888-9004>

Dmitry A. Atjakshin – Doct. of Sci. (Med.), Director of the Scientific and Educational Resource Center “Innovative Technologies of Immunophenotyping, Digital Spatial Profiling and Ultrastructural Analysis”, Peoples’ Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8347-4556>

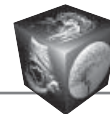
Olga I. Pacap – Cand. of Sci. (Med.), Junior research fellow, Scientific and Educational Resource Center “Innovative Technologies of Immunophenotyping, Digital Spatial Profiling and Ultrastructural Analysis”, Peoples’ Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4620-3922>

Michail A. Ignatjuk – Junior research fellow, Scientific and Educational Resource Center “Innovative Technologies of Immunophenotyping, Digital Spatial Profiling and Ultrastructural Analysis”, Peoples’ Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-3552-5551>

Pavel P. Tregub – Doct. of Sci. (Med.), Senior research fellow, Peoples’ Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3650-6121>

Yuri G. Motin – Doct. of Sci. (Med.), pathologist, Pathomorphology Department, Altai Regional Hospital; Professor of Altai State Medical University, Barnaul. <https://orcid.org/0000-0003-4282-6401>

Mikhail A. Prolubnikov – Graduate Student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul. <https://orcid.org/0009-0004-4370-4961>



Возможности компьютерной томографии в диагностике приобретенных трахеопищеводных свищей

© Бармина Т.Г.*, Хамидова Л.Т., Забавская О.А.,
Шарифуллин Ф.А.-К., Николаева Е.Б., Черноусов Ф.А.

ГБУЗ города Москвы "Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В. Склифосовского департамента здравоохранения города Москвы"; 129090 Москва, Большая Сухареvская площадь, д. 3, Российская Федерация

Цель исследования: уточнить возможности компьютерной томографии (КТ) в рамках комплексной диагностики приобретенных трахеопищеводных свищей (ТПС).

Материал и методы. Проведен анализ КТ-исследований 36 пациентов (17 мужчин, 19 женщин, средний возраст 53 ± 18 лет) с ТПС, находившихся на лечении в НИИ СП им. Н.В. Склифосовского. Всем пациентам была выполнена КТ шеи и грудной клетки, в том числе в динамике – 23 (64%) пациентам.

Результаты. ТПС методом КТ был определен у 33 пациентов из 36 обследованных (чувствительность метода КТ составила 92%). КТ позволила дать полную характеристику ТПС, а именно: оценить его локализацию, ширину и длину трахеального дефекта, вид и протяженность свищевого канала. У 6 (18%) пациентов из 33 ТПС сочетался с рубцовым стенозом трахеи.

При обследовании пациентов с нетравматическими ТПС (10 (30%) наблюдений из 33), помимо данных о самом свище, при первичном КТ-исследовании был проанализирован характер этиологических факторов, таких как опухоль пищевода и воспалительные изменения в средостении.

При оценке окружающих органов и тканей у 25 (69%) из 36 обследованных пациентов были выявлены воспалительные изменения в легких различной степени выраженности.

На всех этапах лечения пациентов с ТПС проводился КТ-мониторинг с целью оценки состояния как самого свища, так и окружающих органов и тканей, в том числе для оценки динамики воспалительного процесса в средостении и легких, оценки эффективности хирургического лечения.

Заключение. КТ является необходимой составляющей современного диагностического комплекса обследования пациентов с ТПС: позволяет диагностировать ТПС с чувствительностью 92% и дать его полную характеристику. Одним из преимуществ метода КТ является возможность оценки состояния окружающих органов и тканей. КТ, в том числе при динамическом контроле, у пациентов с ТПС помогает в выборе тактики лечения и оценке его эффективности.

Ключевые слова: трахеопищеводный свищ; свищевой ход; компьютерная томография

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Бармина Т.Г., Хамидова Л.Т., Забавская О.А., Шарифуллин Ф.А.-К., Николаева Е.Б., Черноусов Ф.А. Возможности компьютерной томографии в диагностике приобретенных трахеопищеводных свищей. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 35–44. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1599>

Поступила в редакцию: 17.09.2025. **Принята к печати:** 05.11.2025. **Опубликована online:** 12.05.2026.

The role of computed tomography in the diagnosis of tracheoesophageal fistulas

© Tatyana G. Barmina*, Layla T. Hamidova, Olga A. Zabavskaya,
Faat A.-K. Sharifullin, Elena B. Nikolaeva, Fedor A. Chernousov

Sklifosovsky Research Institute for Emergency Care of Moscow Healthcare Department; 3, Bolshaya Suharevskaya pl., Moscow 129090, Russian Federation



Objective. To specify the role of computed tomography (CT) in complex diagnostic of the acquired type of TracheoEsophageal Fistulas (TEFs).

Methods. CT results of 36 (17 men, 19 women, mean age – 53 ± 18) consecutive patients with TEF, presented to N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, were analyzed retrospectively. Multiple screening CT-scans were held in 23 patients (64%) throughout the treatment process.

Results. The sensibility of CT was as high as 92 % with correctly depicted TEFs in 33 of 36 patients. CT imaging demonstrated precise and accurate assessment of TEFs: localization, diameter and length of tracheal defect, type and length of fistulous tract. In 6 observations (18%) the TEF was associated with tracheal stenosis.

In patients with non-traumatic TEFs ($n = 10$; 30%) CT was of use not only in delineating fistulous tract, but also in detecting possible etiologies, such as esophageal cancer or inflammatory lesions of the mediastinum.

The results of adjacent soft tissues assessment showed various stages of pulmonary inflammation in the majority of patients ($n = 25$; 69%).

Multiple CT examinations were performed to monitor fistulas, surrounding soft tissues, including evaluation of lung and mediastinal inflammatory changes, and effectiveness of surgical management.

Conclusion. CT is an integral aspect of complex diagnostic in patients with TEFs, that allows to detect fistulas (92% sensitivity) along with the detailed anatomical information upon them. One of the major advantages of the modality is the ability to visualize surrounding structures. Preoperative CT is particularly helpful in deciding the surgical approach, and multiple CT benefits in validation of treatment efficacy.

Keywords: tracheoesophageal fistula; fistula tract; computed tomography

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

For citation: Barmina T.G., Hamidova L.T., Zabavskaya O.A., Sharifullin F.A-K., Nikolaeva E.B., Chernousov F.A. The role of computed tomography in the diagnosis of tracheoesophageal fistulas. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 35–44. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1599>

Received: 17.09.2025.

Accepted for publication: 05.11.2025.

Published online: 12.05.2026.

Актуальность

Приобретенный трахеопищеводный свищ (ТПС) является весьма тяжелым состоянием, при котором образуется патологическое сообщение между просветами трахеи и пищевода. Такой свищ может иметь самое различное происхождение, в том числе опухолевое, воспалительное, травматическое, ятрогенное. ТПС характеризуются тяжелым клиническим течением, постепенным ухудшением соматического состояния, высокой частотой развития гнойно-септических осложнений вследствие аспирации, что обуславливает значительный уровень инвалидизации и летальности, достигающей, по данным разных авторов, 20–75% [1–6].

На сегодняшний день у большинства пациентов развитие ТПС связано с осложнениями после проведения эндотрахеального наркоза или длительной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) [1–6]. В результате сдавления тканей трахеи перерастянутой манжетой трубки или канюли сначала повреждается слизистая оболочка мембранозной части трахеи, затем изменения распространяются на все слои трахеи и на окружающие ткани, вовлекая прилегающую стенку пищевода, с формированием патологического сообщения между трахеей и пищеводом. Повышенное внутриманжеточное давление может также способствовать развитию сложных сочетанных патологий – например, ТПС в комбинации с рубцовым стенозом трахеи [1, 5–9].

Иными причинами развития ТПС неопухолевого характера являются травмы шеи и средостения, а также гнойно-воспалительные процессы в этих областях различного генеза [1, 2, 5, 8–11]. Опухолевые ТПС возникают вследствие инвазии и распада злокачественных образований пищевода, трахеи, средостения, в том числе при лимфопролиферативных заболеваниях [2, 12, 13].

Ранняя и точная диагностика свищей и оценка патологического процесса, лежащего в основе их формирования, позволяет выбрать оптимальную тактику лечения и положительно повлиять на прогноз заболевания. В настоящее время значимое место в диагностическом алгоритме занимают рентгенологические методы исследования, включая компьютерную томографию (КТ) [1, 6–8, 12, 13].

Цель исследования: уточнить возможности компьютерной томографии в рамках комплексной диагностики приобретенных ТПС.

Материал и методы

Проанализированы результаты КТ-исследований 36 пациентов с ТПС, находившихся на лечении в НИИ СП им. Н.В. Склифосовского в период 2019–2025 гг. Критерием включения в исследование были пациенты с ТПС, выявленными эндоскопическим методом. В анализируемой группе было 19 женщин и 17 мужчин, средний возраст пациентов составил 53 ± 18 лет (вариации возраста от 20 до 80 лет).

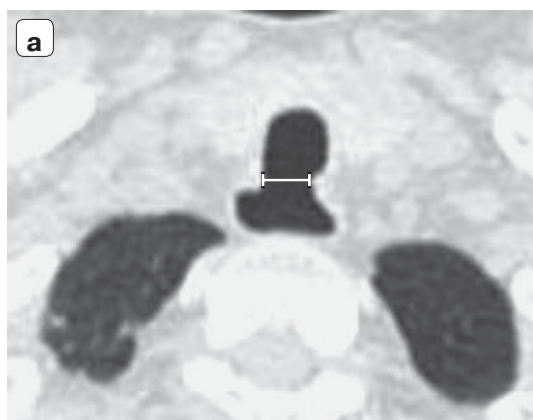
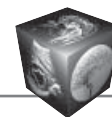


Рис. 1. КТ шеи и грудной клетки, нативное исследование, измерения. **а** (аксиальный срез) – ширина трахеального дефекта; **б** (сагиттальная реформация) – длина дефекта; **в** (сагиттальная реформация) – длина прямолинейного свищевого хода.

Fig. 1. Native CT scans of the neck and chest, measurements. **a** (axial plane) – diameter of the tracheal defect; **б** (sagittal plane) – length of the defect; **в** (sagittal plane) – length fistulous tract.



Причинами развития ТПС были: ИВЛ – у 26 (72%) пациентов, опухоль пищевода – у 6 (17%), медиастинит – у 4 (11%) пациентов.

Всем пациентам была выполнена КТ шеи и грудной клетки, в том числе в динамике – 23 (64%) пациентам.

При КТ-исследовании область сканирования включала в себя две анатомические зоны (шея и грудь) – от уровня основания черепа до задних реберно-диафрагмальных синусов. Коллимация слоя составляла 0,5 мм, интервал реконструкции – 1–5 мм. Сканирование проводили на высоте спокойного вдоха при полностью задержанном дыхании. ИВЛ не являлась противопоказанием к проведению КТ (7 наблюдений), в этих случаях при исследовании присутствовал врач-реаниматолог. После нативного сканирования при необхо-

димости выполняли болюсное контрастное усиление (КУ) с проведением артериальной, венозной и отсроченной фаз сканирования.

Постпроцессорная обработка данных включала в себя построение мультипланарных реконструкций.

При оценке полученных данных по ширине трахеального дефекта выделяли узкие (<10 мм) и широкие ($\geq$ 10 мм) свищи; по длине дефекта – малые ($\leq$ 10 мм), большие (>10–<30 мм) и гигантские (>30 мм) свищи; по протяженности свищевого канала – короткие (<10 мм) и длинные ($\geq$ 10 мм) [1]. Оценку ТПС проводили в легочном режиме. Ширину трахеального дефекта измеряли на аксиальном изображении, длину – на сагиттальной реформации. Вид и длину свищевого хода оценивали в сагиттальной и аксиальной плоскостях (рис. 1).



Результаты исследования

ТПС методом КТ был определен у 33 пациентов из 36 обследованных (чувствительность метода КТ составила 92%). Во всех ложноотрицательных случаях ТПС имел щелевидную форму и малые размеры, что и послужило причиной невозможности его выявления методом КТ.

При КТ ТПС определялся в виде дефектов стенки трахеи и пищевода с наличием свищевого хода, соединяющего их. В большинстве случаев свищ локализовался в шейном и верхнегрудном отделах трахеи (31 (94%) наблюдение из 33), в нижне-грудном отделе свищ определялся у 2 (6%) пациентов.

Ширина дефекта стенки трахеи по данным КТ варьировала от 2 до 20 мм. Преобладали узкие свищи, ширина дефекта которых не превышала 10 мм, у 30 (91%) пациентов, широкие свищи (≥ 10 мм), занимающие практически всю заднюю мембранозную стенку трахеи, были выявлены у 3 (9%) пациентов (рис. 2).

При оценке протяженности свища ориентировались на длину трахеального дефекта, которая по данным КТ составляла 2–24 мм. Малые ТПС, длина дефекта которых была ≤ 10 мм, выявлены у 19 (58%) пациентов, большие свищи, длиной 11–30 мм, диагностированы у 14 (42%) пациентов (рис. 3). Гигантские свищи (более 30 мм) в анализируемой группе не встречались.

У 7 пациентов КТ-исследование было выполнено на фоне проведения ИВЛ с наличием трахеостомической трубки в просвете трахеи. Следует отметить, что раздутая манжета трубки улучшала визуализацию свищей, особенно узких и малых, расположенных на этом уровне (рис. 4).

Свищевой ход у большинства больных имел прямолинейное направление у 27 (82%) пациентов, извитое – у 6 (18%) (рис. 5).

В зависимости от протяженности свищевого хода свищи были разделены на короткие (< 10 мм) и длинные (≥ 10 мм). Преобладали короткие свищи (27 (82%) больных) (рис. 6).

У 6 (18%) из 33 пациентов ТПС сочетался с рубцовым стенозом трахеи. Стеноз трахеи визуализировался в виде деформации и сужения просвета трахеи (рис. 7). Во всех случаях стеноз локализовался в шейном и в верхнегрудном отделах. По анатомической форме преобладали циркулярные стенозы (4 наблюдения). Сужение просвета трахеи на $1/3$ диаметра дыхательного пути было выявлено у одного пациента, сужение от $1/3$ до $1/2$ диаметра – у 3, от $1/2$ до $2/3$ – у 2 пациентов. Протяженность стеноза составила 10–40 мм.

При обследовании пациентов с нетравматическими ТПС (10 (30%) из 33 наблюдений), помимо данных о самом свище, при первичном КТ-исследовании был проанализирован характер этиологических факторов. У 6 пациентов была выявлена опухоль пищевода в виде циркулярного утолщения стенки пищевода, активно неравномерно накапливающей контрастное вещество в артериальную фазу КУ, с инвазией в стенку трахеи (рис. 8а). У 4 пациентов были диагностированы инфильтративно-воспалительные изменения клетчатки шеи и средостения в виде неоднородного повышения ее плотности с наличием в одном случае (при тонзиллогенной флегмоне) гнойной полости, через которую трахея сообщалась с пищеводом (рис. 8б).

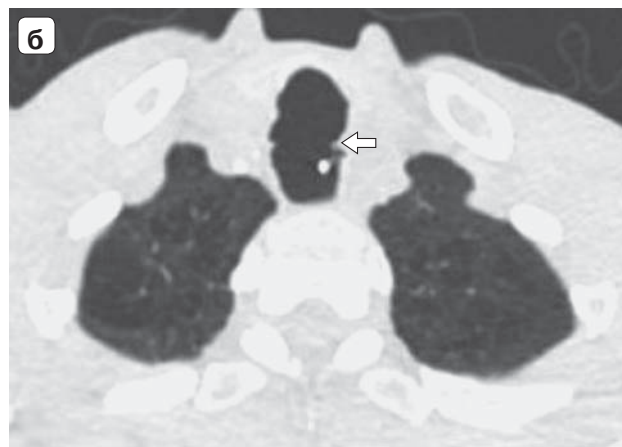


Рис. 2. КТ грудной клетки, нативные исследования, аксиальные срезы. **а** – узкий ТПС; **б** – широкий ТПС.

Fig. 2. Native chest CT, axial scans. **a** – narrow TEF; **b** – wide TEF.

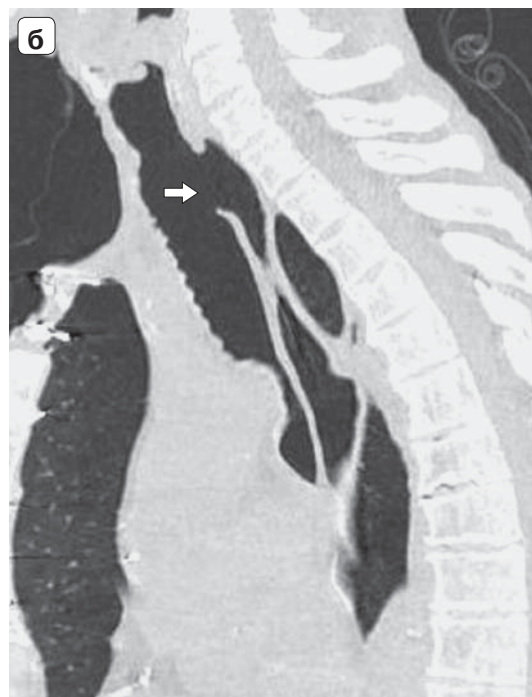
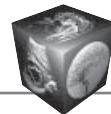


Рис. 3. КТ грудной клетки, нативные исследования, сагиттальные реформации. **а** – малый ТПС; **б** – большой ТПС.
Fig. 3. Native chest CT, sagittal plane. **a** – small TEF; **б** – large TEF.

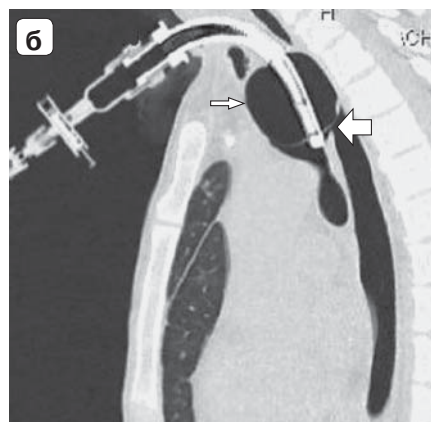
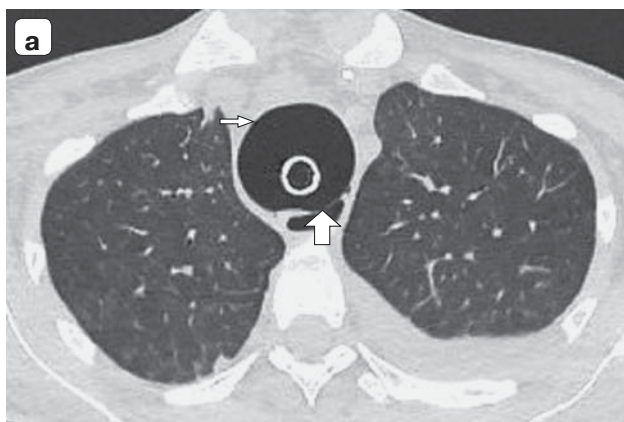


Рис. 4. КТ грудной клетки, нативное исследование. **а** – аксиальный срез; **б** – сагиттальная реформация. ТПС (толстая стрелка) на фоне раздутой манжетки трахеостомической трубки (тонкая стрелка).

Fig. 4. Native chest CT. **a** – axial plane; **б** – sagittal plane. TEF (thick arrow) against the inflated cuff of a tracheostomy tube (thin arrow).

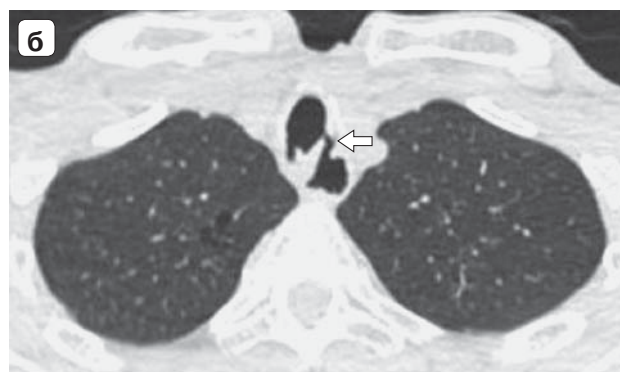


Рис. 5. КТ грудной клетки, нативные исследования, аксиальные срезы. **а** – прямолинейный свищевой ход; **б** – извитой свищевой ход.

Fig. 5. Native chest CT, axial plane. **a** – straight fistulous tract; **b** – convoluted fistulous tract.

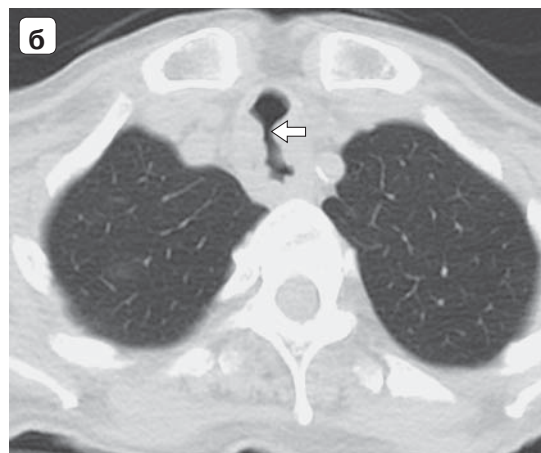
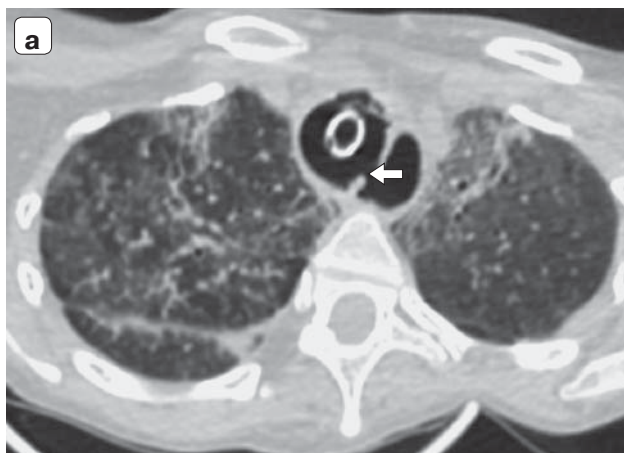


Рис. 6. КТ грудной клетки, нативные исследования, аксиальные срезы. **а** – короткий свищевой ход; **б** – длинный свищевой ход.

Fig. 6. Native chest CT, axial plane. **a** – short fistulous tract; **b** – long fistulous tract.

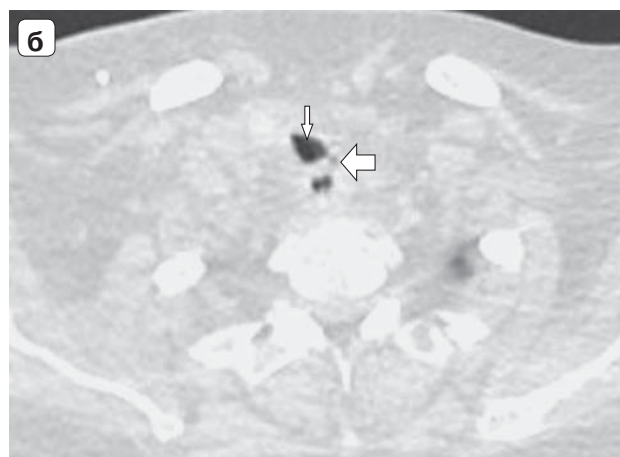


Рис. 7. КТ грудной клетки, нативные исследования. **а** – сагиттальная реформация; **б** – аксиальный срез. Сочетание ТПС (толстая стрелка) с рубцовым стенозом трахеи (тонкая стрелка).

Fig. 7. Native chest CT. **a** – sagittal plane; **b** – axial plane. TEF (thick arrow) along with tracheal stenosis (thin arrow).

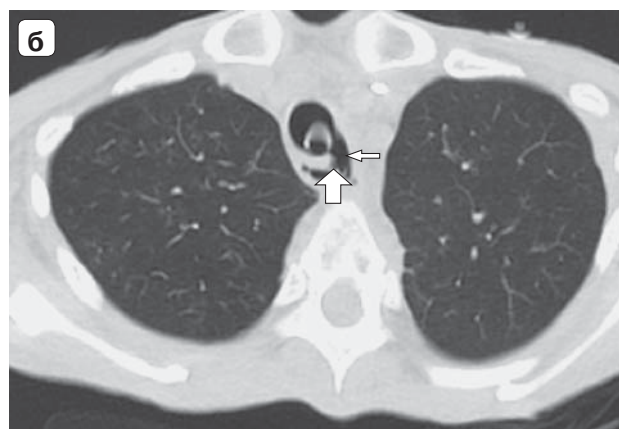
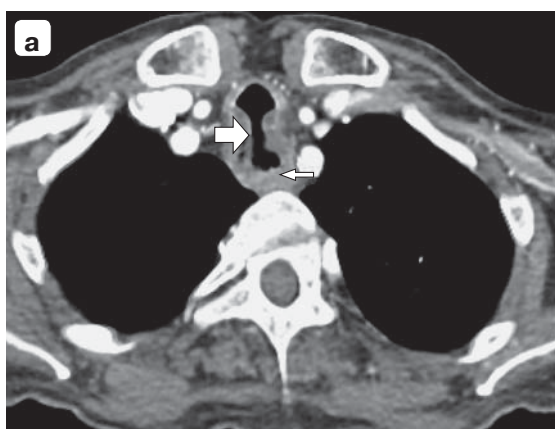
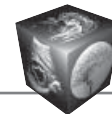


Рис. 8. КТ грудной клетки, аксиальные срезы. **а** (с болюсным КУ, артериальная фаза) – опухоль пищевода (тонкая стрелка) с инвазией в стенку трахеи и формированием ТПС (толстая стрелка); **б** (нативное исследование) – ТПС (толстая стрелка), сообщающийся через полость (тонкая стрелка).

Fig. 8. Chest CT, axial plane. **a** (contrast enhanced, arterial phase) – esophageal tumor (thin arrow) with tracheal wall invasion followed by TEF (thick arrow); **б** (native scan) – TEF (thick arrow) connected to the cavity (thin arrow).

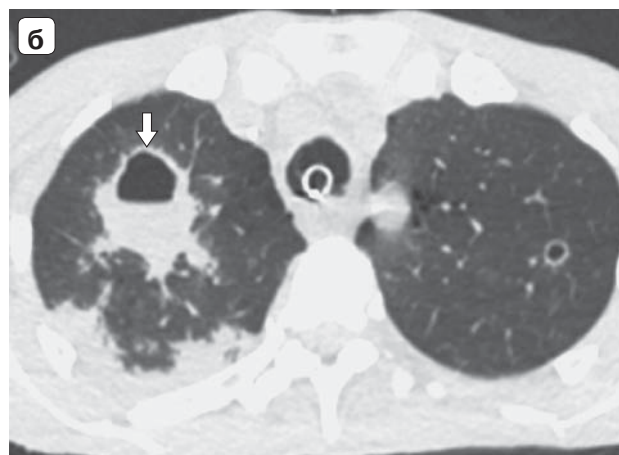
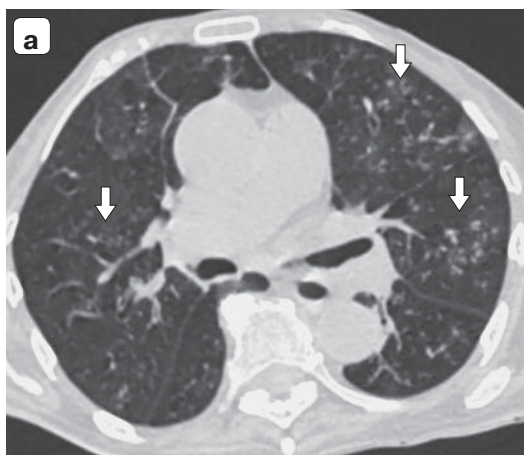


Рис. 9. КТ грудной клетки, нативные исследования, аксиальные срезы. **а** – двусторонний бронхиолит; **б** – абсцесс правого легкого.

Fig. 9. Native chest CT, axial plane. **a** – bilateral bronchiolitis; **б** – right lung abscess.

При оценке окружающих органов и тканей у 25 (69%) из всех 36 обследованных пациентов были выявлены воспалительные изменения в легких различной степени выраженности (рис. 9). Аспирационный бронхиолит диагностирован у 8 пациентов в виде множественных мелких центрилобулярных очажков, связанных с Y- и V-образными линейными структурами – по типу “дерево в почках”. Изменения в большинстве случаев носили двусторонний характер с максимальной выраженностью в заднебазальных отделах легких. Пневмония выявлена у 13 пациентов: бронхопневмонический тип инфильтрации – у 6, плевропневмонический – у 4 и их сочетание – у 3 пациентов.

Абсцедирующая пневмония и абсцессы легких были диагностированы у 4 пациентов.

У 5 (14%) из 36 пациентов был выявлен гидроторакс небольшого объема (от 130 до 450 см³), у 4 (11%) – минимальный гидроперикард.

После комплексного обследования всем 36 пациентам проведено этапное хирургическое лечение различного вида: ликвидация свища с разобщением просветов трахеи и пищевода и миопластикой грудино-ключично-сосцевидной мышцей (13), гастростомия (9), гастростомия и трахеостомия (11), стентирование пищевода (1), эндоскопическая ликвидация свища с применением биотехнологического метода (2).

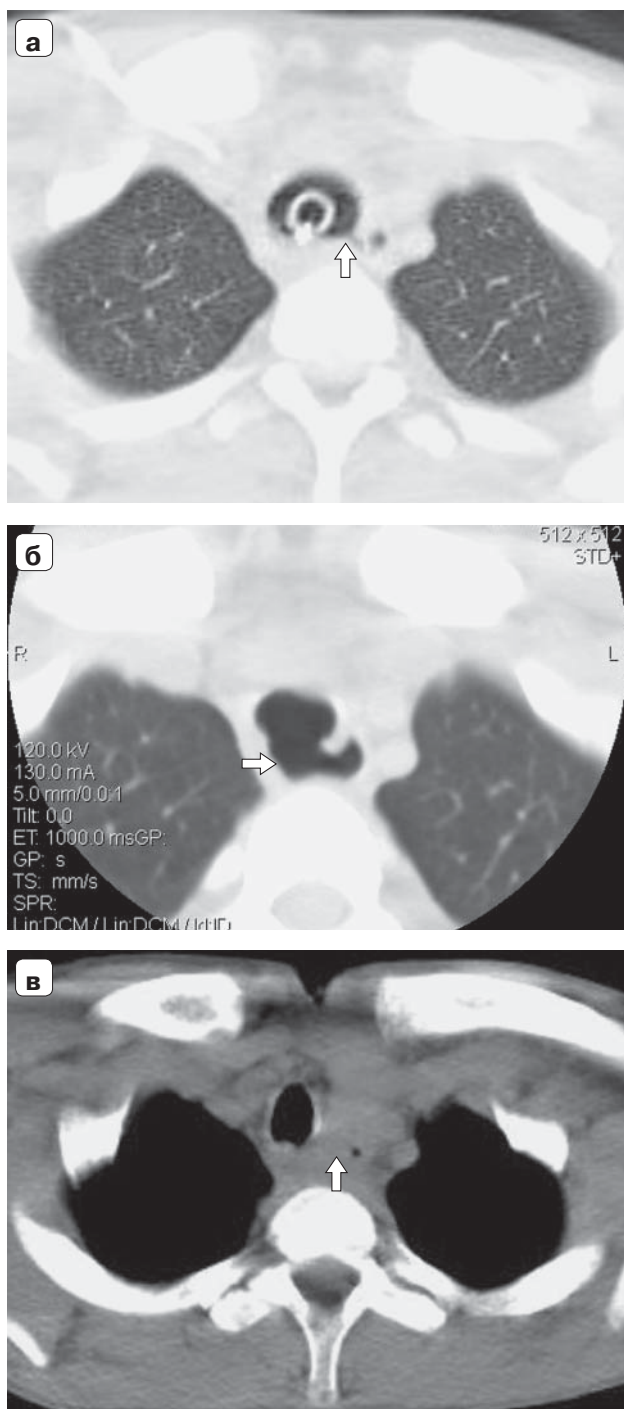


Рис. 10. КТ грудной клетки, нативные исследования, аксиальные срезы. ТПС в динамике. **а** – узкий малый ТПС (стрелка); **б** – увеличение свища в размерах (стрелка); **в** – состояние после ликвидации свища с разобщением трахеи и пищевода грудино-ключично-сосцевидной мышцей (стрелка) – свищ не определяется.

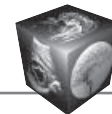
Fig. 10. Native chest CT, axial plane. Consequent CTs depicting TEFs of various stages. **a** – narrow small TEFs (arrow); **b** – enlarged fistula diameter (arrow); **v** – after closure of TEF with interposition of sternocleidomastoid muscle (arrow) – the fistula is not detected.

На всех этапах лечения пациентов с ТПС проводился КТ-мониторинг с целью оценки состояния как самого свища, так и окружающих органов и тканей, в том числе для оценки динамики воспалительного процесса в средостении и легких. КТ в послеоперационном периоде после ликвидации свища выполнена 13 пациентам с целью оценки эффективности хирургического лечения. Во всех случаях свищ не определялся, осложнений не выявлено (рис. 10).

Обсуждение

В настоящее время, по данным литературы [1, 2, 4–6, 13], основной причиной формирования ТПС является повреждение трахеи и пищевода вследствие воздействия трахеостомической или интубационной трубки при проведении ИВЛ. Это подтверждается и нашими данными – постинтубационный генез ТПС был выявлен у 72% пациентов. Основными методами диагностики ТПС были и остаются эндоскопические [1–8, 12], что и послужило выбором критерия включения в наше исследование – пациенты с эндоскопически выявленными ТПС. Несмотря на это, отечественные и зарубежные авторы в своих работах подчеркивают необходимость использования диагностического комплекса, включающего рентгенологические методы, в том числе и КТ [1, 4–6, 12, 13]. Однако многие авторы считают ее использование необходимым только при подготовке к оперативному вмешательству [8, 12, 13], в то время как КТ, по нашим данным, имеет свои преимущества перед другими методами исследования на всех этапах лечения этих пациентов. В отличие от эндоскопического метода, КТ позволяет установить вид и протяженность свищевых ходов. Рентгеноконтрастное исследование пищевода, выполняемое преимущественно при опухолевом генезе ТПС, также позволяет получить подробную характеристику свищевых ходов, однако его выполнение сопряжено с различными сложностями: невозможностью выполнения у пациентов на ИВЛ и опасностью аспирации контрастного вещества, вызывающей кашель, а в тяжелых случаях – асфиксию [1, 2, 14]. Надо отметить, что при КТ проведение ИВЛ не только не является затрудняющим фактором выявления и описания ТПС, а даже, напротив, в некоторых случаях облегчает его визуализацию (например, когда ТПС расположен на уровне раздутой манжеты).

В нашей работе также показано, что при обследовании пациентов с ТПС опухолевого и воспалительного генеза КТ позволяет дать всестороннюю оценку не только самого свища, но и причины его образования.



По данным многих авторов [1, 2, 7, 9], постинтубационный ТПС может сочетаться со стенозом трахеи. В нашей работе таких пациентов было 18%. В этих случаях для выбора тактики лечения необходима информация о локализации, степени выраженности и протяженности стеноза, которую в полном объеме предоставляет КТ, что и было показано в нашем исследовании.

Поскольку ТПС характеризуются высокой частотой развития гнойно-септических осложнений, еще одним преимуществом метода КТ является возможность оценки окружающих органов и тканей, что отмечено во многих литературных источниках [1, 2, 4–6, 11]. КТ позволяет выявить и оценить воспалительные изменения в легких, средостении, наличие выпота в плевральных полостях и перикарде, что нашло отражение и в нашей работе.

Лечение ТПС является сложным и многоэтапным процессом, который требует динамического контроля, в том числе с применением КТ. В литературе роль КТ-мониторинга у пациентов с ТПС освещена недостаточно, в то время как в нашей работе продемонстрированы возможности КТ в оценке динамики как самого свища, так и его осложнений.

Заключение

КТ является необходимым компонентом современного диагностического комплекса обследования пациентов с ТПС: позволяет диагностировать ТПС с чувствительностью 92%, определить его локализацию и размеры, вид и протяженность свищевого хода. Одним из преимуществ метода КТ является возможность оценки состояния окружающих органов и тканей. КТ, в том числе при динамическом контроле, у пациентов с ТПС помогает в выборе тактики лечения и оценке его эффективности.

Участие авторов

Бармина Т.Г. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Хамидова Л.Т. – концепция и дизайн исследования, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Забавская О.А. – проведение исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Шарифуллин Ф.А.-К. – участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста.

Николаева Е.Б. – сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Чернусов Ф.А. – участие в научном дизайне, анализ и интерпретация полученных данных.

Authors' participation

Barmina T.G. – concept and design of the study, collection and analysis of data, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article, preparation and creation of the published work.

Hamidova L.T. – concept and design of the study, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

Zabavskaya O.A. – conducting research, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Sharifullin F.A.-K. – participation in scientific design, text preparation and editing.

Nikolaeva E.B. – collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Chernousov F.A. – participation in scientific design, analysis and interpretation of the obtained data.

Список литературы [References]

1. Татур А.А. Трахеопищеводные свищи неопухолевой этиологии: диагностика, классификация, лечение и профилактика. *Медицинские новости*. 2016; 11: 16–20. Tatur A.A. Nonmalignant tracheoesophageal fistula: diagnosis, classification, treatment and prophylaxis. *Meditsinskie Novosti*. 2016; 11: 16–20. (In Russian)
2. Паршин В.Д., Вишневская Г.А., Русаков М.А., Гудовский Л.М., Паршин В.В., Чернова Е.А. Трахеопищеводные свищи: современное состояние проблемы. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2013; 2: 73–79. Parshin V.D., Vishnevskaya G.A., Rusakov M.A. et al. Tracheoesophageal fistulae: the state of art. *Hirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2013;(2):73–79. (In Russian)
3. Перельман М.И. Хирургия трахеи. М.: Медицина, 1972. 208 с. Perelman M.I. Tracheal Surgery. Moscow: Medicina, 1972. 208 p. (In Russian)
4. Sikka K., Singh C.A., Agrawal R. et al. Acquired Non-malignant Cervical Trachea-Esophageal Fistula: A Case Series. *Indian J. Otolaryngol. Head Neck Surg*. 2019; 71 (Suppl. 1): 286–290. <https://doi.org/10.1007/s12070-018-1281-z>
5. Шевченко Ю.Л., Аблицов А.Ю., Аблицов Ю.А., Василяшко В.И., Орлов С.С., Сусов Р.Л. Хирургическое лечение трахеопищеводных свищей неопухолевой этиологии. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2021; 16 (3): 95–100. https://doi.org/10.25881/20728255_2021_16_3_95 Shevchenko Yu.L., Ablicov A.Yu., Ablicov Yu.A. et al. Surgical treatment of tracheoesophageal fistulas of nonneoplastic etiology. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova = Bulletin of Pirogov National Medical Surgical Center*. 2021; 16 (3): 95–100. https://doi.org/10.25881/20728255_2021_16_3_95 (In Russian)
6. Marulli G., Mammana M., Natale G., Rea F. Surgical treatment of acquired benign tracheoesophageal fistulas. *J. Vis. Surg*. 2018; 4: 123. <https://doi.org/10.21037/jovs.2018.06.07>
7. Cooper J.D. Tracheal injuries complicating prolonged intubation and tracheostomy. *Thorac. Surg. Clin*. 2018;



- 28 (2): 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2018.01.001>
8. Морозов А.М., Мохов Е.М., Кадыков В.А., Ольшевская А.С., Духанина М.В., Пахомов М.А. Трахеопищеводный свищ, как ятрогенное осложнение политравмы, проявления, диагностика, лечение. *Сибирское медицинское обозрение*. 2020; 1: 84–88. <https://doi.org/10.20333/2500136-2020-1-84-88>
Morozov A.M., Mokhov E.M., Kadykov V.A. et al. Tracheoesophageal fistula as an iatrogenic complication of polytrauma, manifestations, diagnosis, treatment. *Sibirskoye Meditsinskoye Obozreniye = Siberian Medical Review*. 2020; 1: 84–88. <https://doi.org/10.20333/2500136-2020-1-84-88> (In Russian)
9. Старостин А.В., Берикханов З.Г., Паршин А.В., Амangelдиев Д.М. Этиология, диагностика и лечение рубцового стеноза трахеи. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2020; 4: 53–60. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202004153>
Starostin A.V., Berikkhanov Z.G., Parshin A.V., Amangeldiev D.M. Etiology, diagnosis and treatment of cicatricial tracheal stenosis. *Hirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2020; 4: 53–60. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202004153> (In Russian)
10. Паршин В.Д., Русаков М.А., Паршин В.В. Хирургия трахеопищеводного свища. М.: Альди-Принт, 2016. 264 с.
Parshin V.D., Rusakov M.A., Parshin V.V. Surgery of tracheoesophageal fistula. Moscow: Al'di-Print, 2016. 264 p. (In Russian)
11. Абакумов М.М. Медиастинит: Руководство для врачей. М.: СИМК, 2020. 296 с.
Abakumov M.M. Mediastinitis: Practical manual for physicians. Moscow: SIMK, 2020. 296 p. (In Russian)
12. Новожилова Е.Н., Попадюк В.И., Соколов С.А., Чумаков И.Ф., Чернолев А.И. Случай успешного лечения трахеопищеводного свища с использованием лазерного воздействия. *Опухоли головы и шеи*. 2022; 12 (1): 120–127. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2022-12-1-120-127>
Novozhilova E.N., Popadyuk V.I., Sokolov S.A. et al. A case of successful treatment of tracheoesophageal fistula using laser exposure. *Head and Neck Tumors*. 2022; 12 (1): 120–127. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2022-12-1-120-127> (In Russian)
13. Osho A., Sachdeva U., Wright C., Muniappan A. Surgical management of tracheoesophageal fistula. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2018; 7 (2): 314–316. <https://doi.org/10.21037/acs.2018.03.06>
14. Лучевая диагностика и терапия в гастроэнтерологии: Национальное руководство / Под ред. Г.Г. Кармазановского. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 920 с. (Серия “Национальные руководства по лучевой диагностике и терапии”). ISBN 978-5-9704-3053-8
Lung imaging and therapy in gastroenterology: National guidelines / Edited by G.G. Karmazanovsky. Moscow: GEOTAR-Media, 2014. 920 p. (Series “National guidelines on radiology and therapy”). ISBN 978-5-9704-3053-8 (In Russian)

Для корреспонденции*: Бармина Татьяна Геннадьевна – e-mail: BarminaTG@sklif.mos.ru

Бармина Татьяна Геннадьевна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2690-7378>

Хамидова Лайла Тимарбековна – доктор мед. наук, заведующая научным отделением лучевой диагностики, врач ультразвуковой диагностики ГБУЗ “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>

Забавская Ольга Александровна – канд. мед. наук, старший преподаватель Учебного центра ГБУЗ “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6893-7973>

Шарифуллин Фаат Абдул-Каюмович – доктор мед. наук, главный научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7483-7899>

Николаева Елена Борисовна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения неотложной хирургии, эндоскопии и интенсивной терапии ГБУЗ “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6681-0653>

Черноусов Федор Александрович – канд. мед. наук, главный научный сотрудник отделения неотложной хирургии, эндоскопии и интенсивной терапии ГБУЗ “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1159-5367>

Contact*: Tatyana G. Barmina – e-mail: BarminaTG@sklif.mos.ru

Tatyana G. Barmina – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher of Department of the Diagnostic Radiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2690-7378>

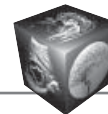
Layla T. Khamidova – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Scientific Department of Radiation Diagnostics, Ultrasound Diagnostics Doctor, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>

Olga A. Zabavskaya – Cand. of Sci. (Med.), Senior lecturer of the Educational and clinical Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6893-7973>

Faat A.-K. Sharifullin – Doct. of Sci. (Med.), Chief Researcher of Department of the Diagnostic Radiology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7483-7899>

Elena B. Nikolaeva – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher of the Department of Emergency Surgery, Endoscopy and Intensive Care, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6681-0653>

Fedor A. Chernousov – Cand. of Sci. (Med.), Chief Researcher of the Department of Emergency Surgery, Endoscopy and Intensive Care, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1159-5367>



Синдром последствий интенсивной терапии: роль карт плотности легочной ткани при синдроме острого легочного повреждения

© Бормышев А.В.¹, Морозова Т.Г.^{1, 2}, Ковалёв А.В.^{1, 2*}

¹ ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России; 214019 Смоленск, ул. Крупской, 28, Российская Федерация

² ОГБУЗ «Клиническая больница № 1»; 214006 Смоленск, ул. Фрунзе, д. 40, Российская Федерация

Цель исследования: определить диагностическую роль карт плотности легочной ткани при синдроме острого легочного повреждения (СОЛП) в оценке синдрома последствий интенсивной терапии (СПИТ) у пациентов реанимационного отделения.

Материал и методы. Обследовано 129 пациентов, находившихся на стационарном и амбулаторном лечении с подозрением на риск развития и наличием СОЛП первичного и вторичного происхождения. Пациенты наблюдались с 2023 по 2025 г.: находились на стационарном лечении в ОГБУЗ «Клиническая больница №1» (август 2023 г. – август 2024 г.), в последующем (сентябрь 2024 г. – август 2025 г.) – амбулаторное наблюдение. Всем пациентам проведена МСКТ органов грудной клетки с дополнительной оценкой карт плотности легочной ткани.

Результаты. По данным динамического контроля за пациентами выявлено, что СПИТ развился в течение 12 мес у 89 (68,9%) пациентов из 129. Было установлено, что у 24 (26,9%) пациентов из 89 (пациенты с «красным паттерном» по данным карт плотности легочной паренхимы) отмечен СПИТ, который развивался в течение 12 мес. По данным динамического контроля за пациентами в течение 24 мес оценивались признаки хронических нарушений, которые могут проявляться вследствие критического состояния, т.е. СПИТ как в основной (n = 89), так и в группе пациентов, которым не проводилась оценка карт плотности легочной ткани (n = 57). В 21 (23,5%) случае СПИТ в основной группе встречался изолированно, тогда как в группе сравнения количество изолированных случаев составило 40 (70,1%).

Выводы. 1. Карты плотности легочной ткани при синдроме острого легочного повреждения имеют важное диагностическое значение в прогнозировании и оценке СПИТ при СОЛП.

2. При динамическом наблюдении за пациентами установлено, что СПИТ развивается в течение 12 мес у пациентов с перенесенным СОЛП.

3. Диагностическими критериями карт плотности легочной ткани при СПИТ являются: качественная характеристика – «красный паттерн», количественная – более 14%.

4. Диагностическая и прогностическая роль карт плотности (AUCROC 0,959, ДИ 0,914–0,986) легочной ткани и МСКТ (AUCROC 0,793, ДИ 0,623–0,801) легких в оценке СПИТ (n = 89).

Ключевые слова: мультиспиральная компьютерная томография; острое легочное повреждение; синдром последствий интенсивной терапии; карты плотности легочной ткани; диагностические критерии

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Бормышев А.В., Морозова Т.Г., Ковалёв А.В. Синдром последствий интенсивной терапии: роль карт плотности легочной ткани при синдроме острого легочного повреждения. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 45–55. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1609>

Поступила в редакцию: 19.10.2025. Принята к печати: 02.03.2026. Опубликовано online: 12.05.2026.



Post-intensive care syndrome: the role of pulmonary tissue density maps in acute pulmonary injury

© Aleksey V. Bormushev¹, Tat'jana G. Morozova^{1, 2}, Aleksey V. Kovalev^{1, 2*}

¹ Smolensk State Medical University; 28, Krupskoy str., Smolensk 214019, Russian Federation

² Clinical Hospital No 1; 40, Frunze str., Smolensk 214006, Russian Federation

Aim: to determine the diagnostic role of lung tissue density maps in acute lung injury (ALI) in the assessment of Post-Intensive Care Syndrome (PICS) in patients in the intensive care unit.

Materials and Methods. 129 patients who were in inpatient and outpatient treatment with suspected risk of development and presence of acute lung injury (ALI) of primary and secondary origin were examined. The patients were observed from 2023 to 2026: they were hospitalized in the Clinical Hospital No. 1 (August 2023 – August 2024), and subsequently (September 2024 – August 2026) they were observed on an outpatient basis. All patients underwent computed tomography (CT) with additional assessment of lung tissue density maps

Study results. Based on patient follow-up data, PICS developed within 12 months in 89 (68.9%) of 129 patients. It was established that 24 (26.9%) of the 89 patients (patients with a “red pattern” based on lung tissue density maps) had PICS that developed within 12 months. Based on patients follow-up data over 24 months, signs of chronic disorders that can manifest as a consequence of critical condition, i.e., PICS, were assessed in both the study group (n = 89) and the group of patients who did not undergo lung tissue density maps assessment (n = 57). In 21 (23.5%) cases of PICS in the main group, it occurred in isolation, while in the comparison group, the number of isolated cases was 40 (70.1%).

Conclusions. 1. Lung tissue density maps in acute lung injury have important diagnostic value in predicting and assessing PICS in ALI.

2. Patients follow-up period has shown that PICS develops within 12 months in patients with a history of ALI.

3. Diagnostic criteria of lung tissue density maps in PICS are: qualitative characteristic – “red pattern”, quantitative – more than 14%.

4. Diagnostic and prognostic role of lung tissue density map in assessing PICS (AUCROC 0.959, CI 0.914–0.986) and chest CT (AUCROC 0.793, CI 0.623–0.801) (n = 89).

Keywords: computed tomography; acute lung injury; Post-Intensive Care Syndrome; lung tissue density maps; diagnostic criteria

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

For citation: Bormyshev A.V., Morozova T.G., Kovalev A.V. Post-intensive care syndrome: the role of pulmonary tissue density maps in acute pulmonary injury. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 45–55.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1609>

Received: 19.10.2025.

Accepted for publication: 02.03.2026.

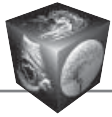
Published online: 12.05.2026.

Актуальность

Синдром острой дыхательной недостаточности (ОДН), который, по данным литературы, имеет название синдрома острого легочного повреждения (СОЛП), в некоторых тяжелых случаях может развиваться у пациентов после ранее проведенных реанимационных мероприятий, в случаях кровопотери, при травмах и других жизнеугрожающих состояниях [1–4]. Синдром впервые был описан в 1940-х годах как “влажное легкое”, “геморрагический легочной отёк”, “застойный ателектаз”, “альвеолярный синдром” и др., далее для унификации был назван респираторным дистресс-синдромом взрослых, а в 1967 г. в статье журнала *Lancet* было описано как “шоковое легкое” [5, 6]. В литературных источниках случаи “легочных повреждений” преимущественно связаны с пациентами, пережившими тяжелые травмы множественного харак-

тера, сопровождающиеся шоковым состоянием [7]. Подобные нарушения наблюдаются также при различных патологических состояниях: сепсисе, последствиях механической асфиксии, остановке сердечной деятельности – фактически при любой продолжительной либо крайне тяжелой гипоксии различного генеза [8–10]. Тяжелая острая ОДН паренхиматозного типа широко распространена в работе реанимационных отделений различной специализации, создает значительные трудности и часто служит причиной гибели пациентов [8, 11, 12]. Симптомокомплекс ОДН представляет собой основу острого респираторного дистресс-синдрома и острого повреждения легких [6, 8, 11–13].

Комплексная диагностика пациентов, находящихся в отделении реанимации многопрофильной медицинской организации, предусматривает оценку состояния нервной системы, проведение



КТ, рентгеновского обследования органов грудной полости, ультразвуковое исследование печени, почек и сердца (включая измерение фракции выброса), анализ газового состава венозной и артериальной крови, расчет индекса оксигенации, а также выполнение лабораторных исследований крови на биохимические показатели [1, 12, 14–16]. Клиническая практика показывает, что рентгенологическое исследование органов грудной клетки на современном этапе медицины часто заменяется мультиспиральной компьютерной томографией (МСКТ), что, несомненно, дает больше клинической и диагностической информации. Основным вопросом, интересующий клинициста, это не только качество жизни пациента после пребывания его в отделении реанимации и интенсивной терапии

(ОРИТ), но и возможное развитие синдрома последствий интенсивной терапии (СПИТ), что сложно оценить при использовании стандартных алгоритмов ведения пациентов в условиях ОРИТ.

Цель исследования: определить диагностическую роль карт плотности легочной ткани при СОЛП в оценке синдрома последствий интенсивной терапии у пациентов реанимационного отделения.

Материал и методы

Обследовано 129 пациентов, находившихся на стационарном и амбулаторном лечении с подозрением на риск развития и наличием СОЛП первичного и вторичного происхождения. Среди пациентов было 76 (59%) мужчин и 53 (41%) женщины. Пациенты наблюдались с 2023 по 2025 г.:

Таблица 1. Распределение пациентов в зависимости от происхождения СОЛП (n = 12)

Table 1. Distribution of patients depending on the origin of ALI (n = 12)

Происхождение СОЛП Origin of the ALI	Пол / Gender		Возраст, годы Age, years
	мужской, абс., % male, abs., %	женский, абс., % female, abs., %	
Первичное поражение легких Primary lung lesion	12 (15.8%)	15 (28.3%)	68 ± 20.1
Вторичное поражение легких Secondary lung damage	64 (84.2%)	38 (71.7%)	
Всего Total	76 (58.9%)	53 (41.1%)	

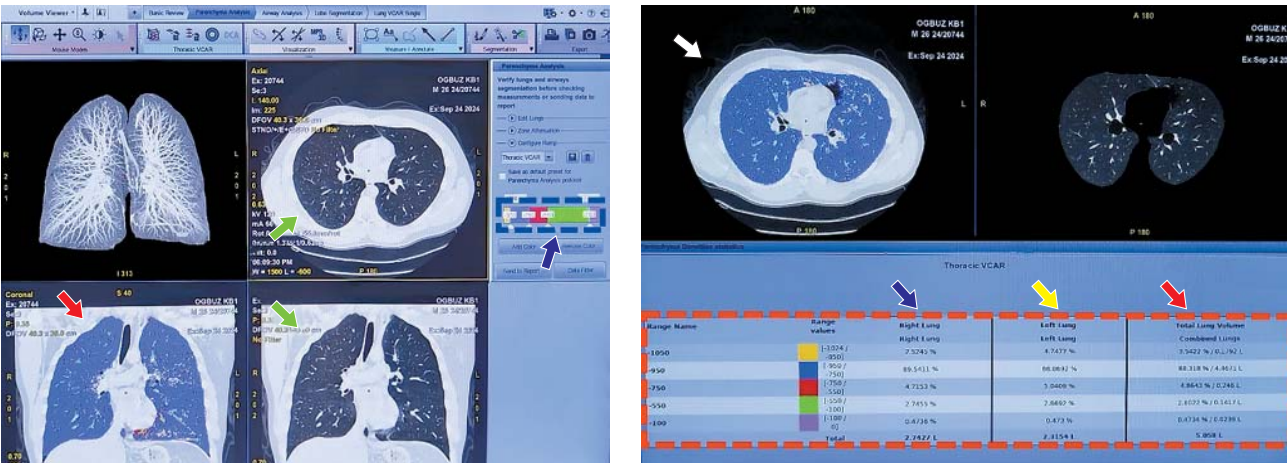


Рис. 1. Этап работы с программой карт плотности легочной ткани. **а** – во вкладке “Parenchyma Analysis” программа проводит анализ паренхимы легких исходя из заданных плотностных характеристик, указано синей стрелкой, позволяет оценить качественную оценку паренхимы (красная стрелка) и сопоставление этих данных с нативными КТ-изображениями (зеленая стрелка); **б** – количественная оценка программы карт плотности легочной ткани представлена в виде таблицы (синяя, желтая и красная стрелки) совместно с качественным анализом (белая стрелка).

Fig. 1. The stage of working with the lung tissue density map program. **a** – in the “Parenchyma Analysis” tab, the program analyzes the lung parenchyma based on the specified density characteristics, indicated by the blue arrow, allows you to evaluate the qualitative assessment of the parenchyma (red arrow) and compare these data with native CT images (green arrow); **b** – the quantitative assessment of lung tissue density map program is presented in the form of a table (blue, yellow and red arrows), together with the qualitative analysis (white arrow).



находились на стационарном лечении в ОРИТ ОГБУЗ “Клиническая больница №1” (август 2023 г. – август 2024 г.), в последующем (сентябрь 2024 г. – август 2025 г.) – амбулаторное наблюдение. Все пациенты были обследованы согласно нормативным документам Минздрава Российской Федерации отделений реанимации и профильных отделений, в которых находились пациенты. Распределение пациентов в зависимости от происхождения представлено в табл. 1.

В исследовании приняло участие 107 (82,9%) пациентов. На первом этапе обследование проводилось в профильных отделениях после госпитализации больных в стационар, далее в течение 24 мес в амбулаторных условиях или при повторных госпитализациях. Обследование в том числе включало МСКТ органов грудной клетки (ОГК) на 64-срезовом аппарате GE Revolution EVO. Анализ полученных изображений проводился на рабочей станции врача с использованием программы оценки карт плотности легочной ткани. На рис. 1 представлен этап работы с программой карт плотности легочной ткани при МСКТ ОГК, которая проводилась по стандартным протоколам сканирования, без внутривенного контрастирования. КТ легких выполнялось одномоментно, дозовая нагрузка составила 2–4 мЗв. Общий объем и длительность

исследования представляли собой наблюдение за пациентами в течение 48 мес: при поступлении, через 10–15 сут, через 1, 3–6, 9–12 и через 24–48 мес. Представленные временные рамки были заимствованы из соответствующих клинических рекомендаций по диспансерному наблюдению за амбулаторными пациентами, стационарных пациентов в ОРИТ в соответствии с приказами Министерства здравоохранения Российской Федерации (№ 168н 2022 г.; № 64 2000 г.; № 919н 2012 г.; № 560н 2020 г.; № 360 2001 г.).

Для статистического анализа применялись статистические пакеты Statistica, версия 6.0; SPSS, версия 2.0.

Результаты исследования

При динамическом наблюдении за пациентами установлено, что СПИТ развился в течение 12 мес у 89 (68,9%) из 129 пациентов. В табл. 2 представлены результаты динамического наблюдения за пациентами (n = 89) с развитием СПИТ после перенесенного СОЛП.

При анализе полученных результатов было установлено, что у 24 (26,9%) из 89 пациентов (пациенты с “красным паттерном” по данным карт плотности легочной паренхимы) отмечен СПИТ, который развивался в течение 12 мес (табл. 3).

Таблица 2. Результаты динамического наблюдения за пациентами (n = 89) с развитием синдрома последствий интенсивной терапии после перенесенного СОЛП

Table 2. Results of patients follow-up (n = 89) with the development of PICS after undergoing ALI

Этиология СОЛП Etiology of ALI	Синдром острого легочного повреждения, абс. (%) Acute pulmonary injury syndrome, abs. (%)		Синдром последствий интенсивной терапии, абс. (%) Intensive care sequelae syndrome, abs. (%)		
	при поступлении upon admission	через 5–10 сут in 5–10 days	через 1 мес in 1 month	через 3–6 мес in 3–6 months	через 9–12 мес in 9–12 months
Аспирация токсических жидкостей Aspiration of toxic fluids	1 (8.3%)	1 (8.3%)	2 (11.1%)	3 (13.0%)	3 (12.5%)
Инфекционный процесс Infectious process	1 (8.3%)	1 (8.3%)	1 (5.6%)	1 (4.3%)	1 (4.2%)
Септическое состояние Septic condition	3 (25%)	3 (25%)	4 (22.2%)	6 (26.1%)	6 (25%)
ДВС-синдром DIC syndrome	–	–	1 (5.6%)	2 (8.6%)	2 (8.3%)
Полушарный ишемический инсульт Hemispheric ischemic stroke	4 (33.3%)	4 (33.3%)	6 (33.3%)	6 (26.1%)	6 (25%)
Геморрагический инсульт Hemorrhagic stroke	3 (25%)	3 (25%)	4 (22.2%)	5 (21.7%)	6 (25%)
Всего Total	12 (13.4%)	12 (13.4%)	18 (20.2%)	23 (25.8%)	24 (26.9%)

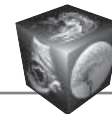


Таблица 3. Результаты программной оценки карт плотности легочной ткани в соответствии с модальностями СПИТ спустя 12 мес (n = 89)

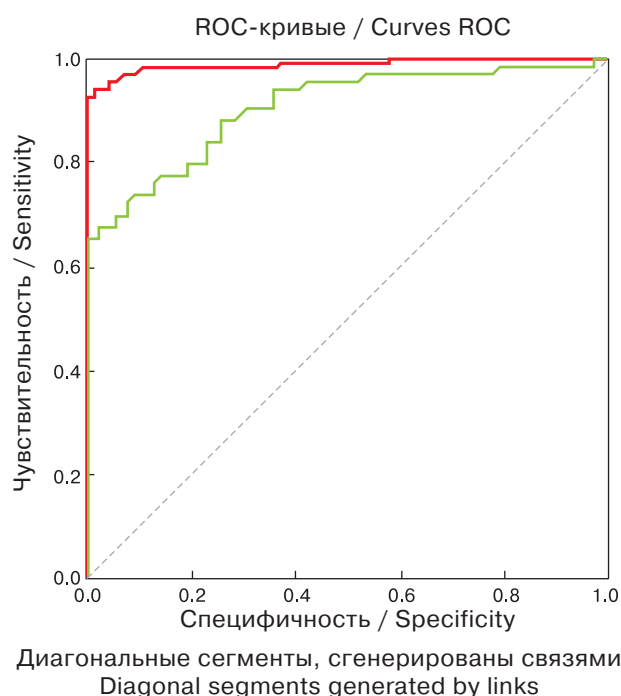
Table 3. Results of software evaluation of lung tissue density maps in accordance with PICS modalities after 12 months (n = 89)

Модальность СПИТ Modality IUSS		Результаты карт плотности легочной ткани Lung tissue density map results		
группа симптомов group of symptoms	вид view	качественный паттерн quality pattern	количественный паттерн quantitative pattern	группа сравнения comparison group (n = 57)
Нейромышечные Neuromuscular (n = 23)	Полимионейропатия критических состояний Polymyoneuropathy of critical conditions (n = 7)	“Красный” “Red”	14–25%	“Синий паттерн” Менее 14% “Blue pattern” Less 14%
	Респираторная нейропатия Respiratory neuropathy (n = 11)		23–52%	
	Дисфагия бездействия Dysphagia inactivity (n = 5)		16–27%	
Вегетативные Vegetative (n = 17)	Нарушение гравитационного градиента Violation of the gravity gradient (n = 4)	“Красный” “Red”	14–21%	
	Нарушение циркадных ритмов Circadian rhythm disorder (n = 13)		18–33%	
Когнитивно-ментальные Cognitive-mental (n = 28)	Нарушение памяти, внимания Impaired memory and attention (n = 9)	“Красный” “Red”	19–31%	“Синий паттерн” Менее 14% “Blue pattern” Less 14%
	Нарушение управляющих функций Executive function disorder (n = 5)		22–47%	
	Снижение нейродинамики Decreased neurodynamics (n = 7)		17–29%	
	Депрессия Depression (n = 7)		14–21%	
Нарушение повседневной активности Disruption of daily activities (n = 21)	Снижение активности в повседневной жизни за счет снижения толерантности к физическим нагрузкам Decreased activity in daily life due to decreased tolerance to physical exertion (n = 21)	“Красный” “Red”	21–39%	

На основании данных табл. 3 сделан вывод о том, что пациенты, имеющие по данным карт плотности легочной ткани “красный паттерн”, имели количественный показатель карт плотности легочной ткани более 14% на любом из периодов мониторинга, относятся к группе риска по развитию СПИТ в течение первого года мониторинга и требуют дополнительного наблюдения в соответствии с проявлениями модальности СПИТ. Всем исследуемым оказана помощь невролога, психиатра, пульмонолога, реабилитолога, кратность наблюдений составляла 1 раз в месяц в течение 1 года, после выписки из стационара, затем индивидуально для каждого пациента. Пред-

ставленная тактика ведения снижала риск летального исхода (n = 5), пациенты избегали развития синдрома хронических критических состояний (прогрессирует в течение 6 мес), находились под наблюдением профильных специалистов, качество жизни улучшалось (рис. 2).

Таким образом, при мониторинге за пациентами с СОЛП высокой диагностической и прогностической значимостью обладает карта плотности легочной ткани (AUCROC 0,959, ДИ 0,914–0,986) в оценке СПИТ, что важно для персонифицированной тактики ведения пациентов после перевода из ОРИТ, выписки из стационара на амбулаторный этап лечения.



Источник кривой / Source of curve

- Карта плотности легочной ткани в оценке СПИТ
Lung tissue density map for PICS assessment
- МСКТ легких в оценке СПИТ
MSCT lungs for PICS assessment
- Опорная линия
Reference line

Рис. 2. Диагностическая и прогностическая роль карт плотности (AUCROC 0,959, ДИ 0,914–0,986) легочной ткани и МСКТ (AUCROC 0,793, ДИ 0,623–0,801) легких в оценке СПИТ (n = 89).

Fig. 2. Diagnostic and prognostic role of lung tissue density map (AUCROC 0.959, CI 0.914–0.986) and chest CT (AUCROC 0.793, CI 0.623–0.801) in the assessment of PICS (n = 89).

Таблица 4. Распределение частоты КТ-признаков при динамическом наблюдении за пациентами с перенесенным СОЛП с “красным паттерном” и количественными показателями карт плотности более 14% (n = 89)

Table 4. Distribution of the frequency of CT signs during patients follow-up with previous ALI with a “red pattern” and quantitative indicators of lung tissue density map greater than 14% (n = 89)

КТ-признак CT is a sign	Сроки динамического наблюдения Timing of follow-up		
	1,5–3 мес 1.5–3 months	6–9 мес 6–9 months	12 мес 12 months
Фиброз / Fibrosis	7 (7.9%)	9 (10.1%)	15 (16.9%)
Эмфизема локальная/тотальная Emphysema local/total	11 (12.4%)	13 (14.6%)	13 (14.6%)
Бронхоэктазы / Bronchiectasis	8 (9.0%)	9 (10.1%)	11 (12.4%)
Консолидация / Consolidation	10 (11.2%)	16 (18.0%)	17 (19.1%)
Симптом “воздушной бронхограммы” Air bronchogram symptom	9 (10.1%)	8 (9.0%)	8 (9.0%)
Ателектазы / Atelectasis	5 (5.6%)	5 (5.6%)	3 (3.4%)
Гидроторакс / Hydrothorax	3 (3.4%)	4 (4.5%)	2 (2.2%)

В течение 12 мес динамического контроля за пациентами были проанализированы результаты исследований МСКТ ОГК в представленной группе (n = 89) (табл. 4).

Анализ данных табл. 4 показал, что при динамическом наблюдении за пациентами увеличение частоты встречаемости КТ-признаков по данным нативной МСКТ следует рассматривать как остаточные изменения повреждения легочной паренхимы, которые свидетельствуют о ранее неблаго-

приятном течении СОЛП. На рис. 3 приведен клинический пример пациента, перенесшего СОЛП, через 12 и 24 мес.

На рис. 3 показана взаимосвязь измерений легочной паренхимы в зависимости от течения СОЛП. Как видно, через 12 мес у пациента наблюдались диффузные интерстициальные изменения по данным нативной МСКТ, при оценке карт плотности получено преобладание “красного паттерна” окрашивания, в процентном соотношении

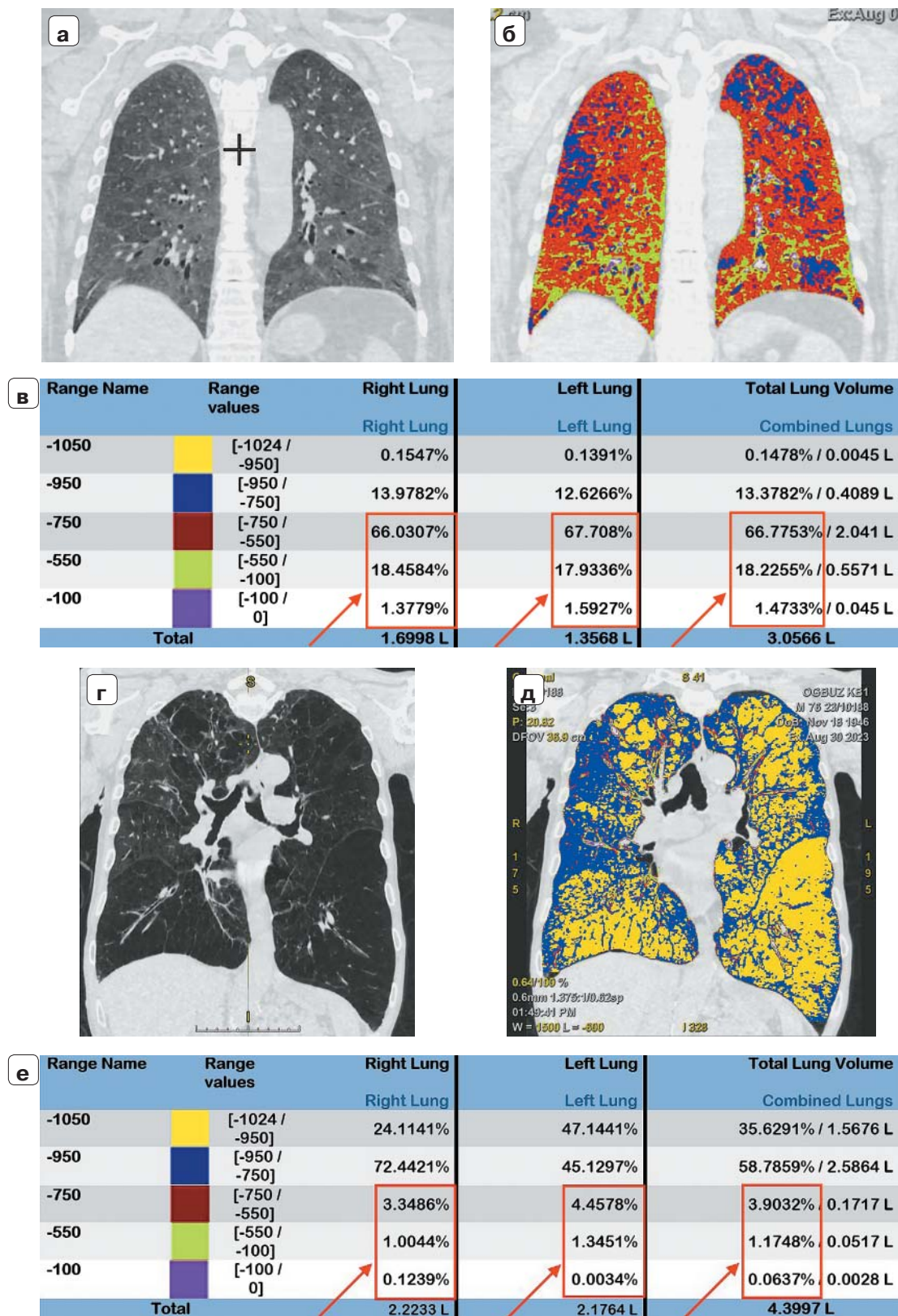


Рис. 3. Программная оценка карт плотности при МСКТ ОГК у пациента 57 лет с острым нарушением мозгового кровообращения пациента, перенесшего СОЛП.

Fig. 3. Software evaluation of lung tissue density map in 57-year-old patient with acute stroke who underwent PICS.



Рис. 3. Программная оценка карт плотности при МСКТ ОГК у пациента 57 лет с острым нарушением мозгового кровообращения пациента, перенесшего СОЛП.

Через 12 мес. **а** – корональный срез ОГК – интерстициальные изменения (слева); **б** – качественный анализ – “красный паттерн”; **в** – цифровые показатели карт плотности при СОЛП – более 19% (красные стрелки);

Через 24 мес: **г** – в корональном срезе, легочное окно, пневматизация легочной ткани не изменена, множественные линейные тяжи пневмофиброза, смешанная эмфизема, бронхоэктазы (слева); **д** – качественный анализ, корональные срезы, неомогенный характер паттерна паренхимы легких за счет эмфиземы с двух сторон (справа); **е** – цифровые показатели карт плотности при СОЛП – менее 14% (красные стрелки) – благоприятное течение, нет риска развития и прогрессирования СОЛП, соответствует перенесенному СОЛП и СПИТ.

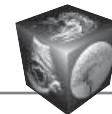
Fig. 3. Software evaluation of lung tissue density map in 57-year-old patient with acute stroke who underwent PICS.

After 12 months, **a** – the chest coronal section – interstitial changes (left); **б** – qualitative analysis – “red pattern”; **в** – digital indicators of lung tissue density map of ALI – more than 19% (red arrows).

After 24 months; **г** – in the coronal section, pulmonary window, pneumatization of the lung tissue is unchanged, multiple linear strands of pneumofibrosis, mixed emphysema, bronchiectasis (left); **д** – qualitative analysis, coronal sections, inhomogeneous nature of the lung parenchyma pattern due to emphysema on both sides (right); **е** – digital indicators of lung tissue density map of ALI – less than 14% (red arrows) – favorable course, no risk of development and progression of ALI, consistent with previous ALI and PICS.

Таблица 5. Распределение клинических проявлений СПИТ у пациентов с СОЛП основной (n = 89) и группы сравнения (n = 57)

Клинико-диагностические проявления СПИТ Clinical and diagnostic manifestations of PICS		Количество случаев, абс. Number of cases, abs.		Возраст, годы Age, years
		у мужчин in males	у женщин in females	
Основная группа Main group (n = 89)	Стойкая гипоксемия / Persistent hypoxemia	15	11	68 ± 20.1
	Эндокринопатия / Endocrinopathy	6	9	
	Мышечная слабость / Muscle weakness	12	19	
	Сахарный диабет / Diabetes mellitus	19	22	
	Когнитивные/психологические нарушения Cognitive/psychological disorders	5	23	
	Сердечно-сосудистая дисфункция Cardiovascular dysfunction	7	12	
	Нарушение функции почек / Renal disorder	3	17	
	Всего / Total (n=89)	67	113	
Группа сравнения Comparison group (n = 57)	Стойкая гипоксемия / Persistent hypoxemia	19	12	69 ± 18.8
	Эндокринопатия / Endocrinopathy	9	11	
	Мышечная слабость / Muscle weakness	19	31	
	Сахарный диабет / Diabetes mellitus	9	11	
	Когнитивные/психологические нарушения Cognitive/psychological disorders	15	21	
	Сердечно-сосудистая дисфункция Cardiovascular dysfunction	33	20	
	Нарушение функции почек / Renal disorder	9	19	
	Всего / Total	113	125	



имеющего более 60% от общего объема легочной паренхимы. Через 24 мес у этого же пациента наблюдалась эмфизематозная трансформация паренхимы легкого, “желтый паттерн”, имеющий 35% от общего объема легких. Приведенный клинический пример описывает ожидаемые изменений паренхимы легких при неблагоприятном течении СОЛП.

При динамическом контроле у пациентов с СПИТ в течение 24 мес проводился анализ признаков хронических нарушений, которые могут развиваться вследствие критического состояния, как в основной ($n = 89$), так и в группе пациентов, которым не проводилась оценка карт плотности легочной ткани ($n = 57$) (табл. 5).

В 21 (23,5%) случае СПИТ в основной группе встречался изолированно, тогда как в группе сравнения количество изолированных случаев составило 40 (70,1%).

Обсуждение

А.А. Сперанская (2023) отмечает, что широта возможностей МСКТ ОГК расширилась, чему поспособствовало внедрение и использование дополнительных программных пакетов обработки изображений, которые дают дополнительную информацию о состоянии легочной паренхимы пациента, как врачу лучевой диагностики, так и врачу клиницисту. Особую роль здесь занимают пациенты, поступающие в критическом состоянии, требующие персонализированного подхода к лечению и динамическому наблюдению [16]. Автор выделяет, что современная лучевая диагностика требует увеличения показаний к использованию новых специализированных пакетов обработки изображений, особенно при вариабельных клинических ситуациях, что в конечном итоге продолжит расширять клинко-диагностические возможности МСКТ ОГК. В нашей работе мы указываем на возможности карт плотности легочной ткани, качественных и количественных измерений легких в динамическом наблюдении за пациентами, в оценке СПИТ. Этот вопрос очень важен, так как пациенты, перенесшие СОЛП, очень часто остаются без последующего наблюдения клинициста, причем иногда необходимо привлекать не одного, а нескольких врачей разных направлений. Основные работы по лучевой диагностике СОЛП описывают визуальные изменения легочной паренхимы. Ключевым моментом нашей работы является применение и клиническая интерпретация данных программной оценки карт плотности паренхим легкого при МСКТ, которые позволяют прогнозировать и препятствовать развитию СПИТ.

Исследование И.А. Недомолкиной (2017) демонстрирует вариант применения МСКТ с волюметрией у пациентов с сочетанной травмой, который позволяет оценить повреждение паренхимы легких, а также рассчитать риск развития осложнений [15]. Было определено три типа травматических повреждений паренхимы легких в зависимости от плотностных характеристик, которые позволяли оценить и прогнозировать динамику развития имеющихся нарушений пневматизации [15]. Однако данное исследование ограничивалось оценкой и прогнозом изменений паренхимы легких при травмах, в то время как наше исследование включает первичные и вторичные причины поражения легких, это позволяет стандартизировать методику и дополняет работу авторов, в том числе при динамическом контроле на протяжении 24 мес. Работы относительно мониторинга вирусных пневмоний четко показывают важность КТ легких, роль динамического наблюдения [17–20]. Но акцент делается только на КТ-картине на момент заболевания, без указаний на мониторинг, после перенесенного процесса, спустя 1–2 года, что очень важно для понимания вероятных изменений в легочной паренхиме и других органах и системах, которые вовлекаются в патофизиологический процесс развития СОЛП и СПИТ. Актуальность этой проблемы отражена в нашей работе. Для врача реанимационного отделения получаемая с помощью данной методики информация представляет особую важность в плане лечебной и последующей диагностической тактики ведения пациента, как на этапе нахождения в отделении ОРИТ, так при дальнейшем переводе на стационарный и амбулаторный этапы.

Выводы

1. Карты плотности легочной ткани при синдроме острого легочного повреждения имеют важное диагностическое значение в прогнозировании и оценке СПИТ при СОЛП.
2. При динамическом наблюдении за пациентами установлено, что СПИТ развивается в течение 12 мес у пациентов с перенесенным СОЛП.
3. Диагностическими критериями карт плотности легочной ткани при СПИТ являются: качественная характеристика – “красный паттерн”, количественная – более 14%.
4. Установлена высокая диагностическая и прогностическая роль карт плотности (AUCROC 0,959, ДИ 0,914–0,986) легочной ткани в сравнении с МСКТ ОГК (AUCROC 0,793, ДИ 0,623–0,801) без дополнительного программного пакета обработки изображений в оценке СПИТ ($n = 89$).



Участие авторов

Бормышев А.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Морозова Т.Г. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Ковалёв А.В. – сбор и обработка данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

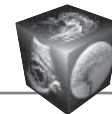
Bormyshev A.V. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, participation in scientific design, preparation and creation of the published work.

Morozova T.G. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Kovalev A.V. – collection and analysis of data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

1. Bitker L., Talmor D., Richard J.C. Imaging the acute respiratory distress syndrome: past, present and future. *Intensive Care Med.* 2022; 48 (8): 995–1008. <https://doi.org/10.1007/s00134-022-06809-8>
2. Hopkins R.O., Weaver L.K., Collingridge D. et al. Two-Year Cognitive, Emotional, and Quality-Of-Life Outcomes in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2005; 171 (4): 340–347. <https://doi.org/10.1164/rccm.200406-763OC>
3. Hughes K.T., Beasley M.B. Pulmonary Manifestations of Acute Lung Injury: More Than Just Diffuse Alveolar Damage. *Arch. Pathol. Lab. Med.* 2017; 141 (7): 916–922. <https://doi.org/10.5858/arpa.2016-0342-RA>
4. Meade M.O., Herridge M.S. An evidence-based approach to acute respiratory distress syndrome. *Respir. Care.* 2001; 46 (12): 1368–1379. PMID: 11728297
5. Ashbaugh D.G., Bigelow D.B., Petty T.L., Levine B.E. Acute respiratory distress in adults. *Lancet.* 1967; 2 (7511): 319–323. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(67\)90168-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(67)90168-7)
6. Wick K.D., Ware L.B., Matthay M.A. Acute respiratory distress syndrome. *Br. Med. J.* 2024; 387: e076612. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-076612>
7. Blaisdell F.W., Stallone R.J. The mechanism of pulmonary damage following traumatic shock. *Surg. Gynecol. Obstet.* 1970; 130 (1): 15–22. PMID: 5466947
8. Kumar V. Pulmonary Innate Immune Response Determines the Outcome of Inflammation During Pneumonia and Sepsis-Associated Acute Lung Injury. *Front. Immunol.* 2020; 11: 1722. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01722>
9. McVey M.J., Steinberg B.E., Goldenberg N.M. Inflammasome activation in acute lung injury. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* 2021; 320 (2): 165–178. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00303.2020>
10. Ning L., Shishi Z., Bo W., Huiqing L. Targeting immunometabolism against acute lung injury. *Clin. Immunol.* 2023; 249: 109289. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2023.109289>
11. Зильбер А.П. Клиническая физиология в анестезиологии и реаниматологии. М.: МЕДпресс-информ, 2023: 421–426. ISBN 978-5-907632-43-1
12. Zilber A.P. Clinical physiology in anesthesiology and resuscitation. Moscow: Medpress-Inform, 2023: 421–426. ISBN 978-5-907632-43-1 (In Russian)
13. Икрамов А.И., Ярмухамедова Д.С., Низамова М.М. Лучевая диагностика острого респираторного дистресс-синдрома различной этиологии. *Вестник экстренной медицины.* 2018; 11 (4): 8–12.
14. Ikramov A.I., Yarmuchamedova D.S., Nizamova M.M. Diagnostic imaging of acute respiratory distress syndrome of various etiologies. *The Bulletin of Emergency Medicine.* 2018; 11 (4): 8–12. (In Russian)
15. Синдром последствий интенсивной терапии / Под ред. Ж.-Ш. Прейзера, М. Херидж, Э. Азулей: Пер. с англ. под ред. Е.А. Евдокимова, А.Н. Кузовлева. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. 584 с. ISBN 978-5-9704-6606-3
16. Intensive Care Outcomes Syndrome / Eds J.-C. Preiser, M. Heridge, E. Azoulay: translated from English by E.A. Evdokimov, A.N. Kuzovlev. Moscow: GEOTAR-Media, 2022. 584 p. ISBN 978-5-9704-6606-3 (In Russian)
17. Бормышев А.В., Морозова Т.Г. Клинико-диагностическое обоснование компьютерной томографии внутренних органов при синдроме острого легочного повреждения у пациентов реанимационного отделения. *Медицинский алфавит.* 2024; 3: 54–58. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-3-54-58>
18. Bormyshev A.V., Morozova T.G. Clinical and diagnostic substantiation for computed tomography of internal organs in acute lung injury in intensive care unit. *Medical Alphabet.* 2024; 3: 54–58. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-3-54-58> (In Russian)
19. Недомолкина И.А. Компьютерная томография с волюметрией в диагностике повреждений легких и оценке риска развития легочных осложнений у пострадавших с тяжелой сочетанной травмой: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2017. 21 с.
20. Nedomolkina I.A. Computed tomography with volumetry in the diagnosis of lung injuries and assessment of the risk of developing pulmonary complications in victims with severe combined trauma: Abstract ... diss. Cand. of Sci. (Med.). St. Petersburg, 2017. 21 p. (In Russian)
21. Сперанская А.А. Заключение в торакальной компьютерной томографии. Симптом, синдром, диагноз. СПб.: ИП Маков М.Ю., 2023. 264 с. ISBN 978-5-6049248-3-9
22. Speranskaya A.A. Conclusions in thoracic computed tomography. Symptom, syndrome, diagnosis. St. Petersburg: IP Makov M.Yu., 2023. 264 p. ISBN 978-5-6049248-3-9 (In Russian)
23. Кармазановский Г.Г., Замятина К.А., Сташків В.И., Шантаревич М.Ю., Кондратьев Е.В., Семенов Ф.М., Кузнецова С.Ю., Козлова А.В., Плотников Г.П., Попов В.А., Чупин А.В., Грицкевич А.А., Чилилов А.М.,



- Печетов А.А., Курочкина А.И., Хохлов В.А., Калинин Д.В. Компьютерно-томографическая диагностика и мониторинг течения вирусной пневмонии, обусловленной вирусом SARS-CoV-2, при работе "Госпиталя COVID-19" на базе Федерального специализированного медицинского научного центра. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (2): 11–36. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-11-36>
- Karmazanovsky G.G., Zamyatina K.A., Stashkiv V.I. et al. CT diagnostics and monitoring of the course of viral pneumonia caused by the SARS-CoV-2 virus during the work of the "COVID-19 Hospital", based on the Federal Specialized Medical Scientific Center. *Medical Visualization*. 2020; 24 (2): 11–36. (In Russian)
18. Паршин В.В., Бережная Э.Э., Кецако М.В., Лежнев Д.А. Компьютерно-томографическая семиотика, объем поражения легких и морфологические сопоставления у больных пневмонией (COVID-19) тяжелой и крайне тяжелой степени. *Радиология–практика*. 2021; 1 (85): 34–51.
Parshin V.V., Berezhnaia E.E., Ketskalov M.V., Lezhnev D.A. The Computer-Tomographic Semiotics, Volume of Lung Damage and Morphological Comparisons in Patients with Severe and Extremely Severe Coronavirus Pneumonia (COVID-19). *Radiology–Practice*. 2021; 1 (85): 34–51. (In Russian)
 19. Паршин В.В., Лежнев Д.А., Бережная Э.Э., Мишина А.В. Компьютерная томография легких как средство прогноза летального исхода у онкологических пациентов с пневмонией, обусловленной вирусом SARS-CoV-2. *Радиология–практика*. 2022; 5: 39–48. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-5-39-48>
 20. Паршин В.В., Лежнев Д.А., Бережная Э.Э., Мишина А.В. Компьютерная томография легких как средство прогноза летального исхода у онкологических пациентов с пневмонией, обусловленной вирусом SARS-CoV-2. *Радиология–практика*. 2022; 5: 39–48. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-5-39-48> (In Russian)
 20. Сперанская А. А. Лучевые проявления новой коронавирусной инфекции COVID-19. *Лучевая диагностика и терапия*. 2020; 1: 18–25. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-18-25>
 - Speranskaya A.A. Radiological signs of a new coronavirus infection COVID-19. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2020; 11 (1): 18–25. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-18-25> (In Russian)

Для корреспонденции*: Ковалёв Алексей Викторович – e-mail: alcoon@mail.ru

Бормышев Алексей Викторович – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО "Смоленский государственный медицинский университет" Минздрава России, Смоленск. <https://orcid.org/0009-0008-5934-1332>

Морозова Татьяна Геннадьевна – доктор мед. наук, доцент, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО "Смоленский государственный медицинский университет" Минздрава России; врач-рентгенолог ОГБУЗ "Клиническая больница № 1", Смоленск. <https://orcid.org/0000-0003-4983-5300>

Ковалёв Алексей Викторович – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО "Смоленский государственный медицинский университет" Минздрава России; врач-рентгенолог ОГБУЗ "Клиническая больница № 1", Смоленск. <https://orcid.org/0000-0002-7754-5477>

Contact*: Aleksey V. Kovalev – e-mail: alcoon@mail.ru

Aleksey V. Bormushev – Post-Graduate Student, Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy with a course of Additional Professional Education, Smolensk State Medical University, Smolensk. <https://orcid.org/0009-0008-5934-1332>

Tat'yana G. Morozova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy with a course of Additional Professional Education, Smolensk State Medical University; Radiologist, Radiology Department, Clinical Hospital No 1, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0003-4983-5300>

Aleksey V. Kovalev – Cand. of Sci. (Med.), Associate professor of Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy with a course of Additional Professional Education, Smolensk State Medical University; Radiologist of Radiology Department, Clinical Hospital No 1, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0002-7754-5477>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1610>



Влияние настроек ультразвукового аппарата на визуализацию артефакта мерцания

© Громов А.И.^{1, 2}, Леонов Д.В.^{3, 4, 5}, Сивков А.В.¹, Войтко Д.А.^{1*}, Каприн А.Д.^{6, 7}

¹ НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 105425 Москва, 3-я Парковая ул., д. 51, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России; 127006 Москва, ул. Долгоруковская, д. 4, Российская Федерация

³ ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”; 127051 Москва, ул. Петровка д. 24, стр.1, Российская Федерация

⁴ ФИЦ “Информатика и управление” РАН; 119333 Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, Российская Федерация

⁵ ФГБОУ ВО “НИУ “Московский энергетический институт”; 111250 Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1, Российская Федерация

⁶ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России; МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; 125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3, Российская Федерация

⁷ ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

Цель исследования: определение оптимальных параметров ультразвукового сканирования мочевых камней для эффективной визуализации доплеровского артефакта мерцания.

Материал и методы. В научных базах Pubmed, Scopus и Elibrary проведен поиск современной литературы (с 2015 по 2025 г.), посвященной влиянию настроек ультразвукового сканера на визуализацию артефакта мерцания на русском и английском языках.

Изучение влияния параметров сканирования на интенсивность визуализации доплеровского артефакта мерцания выполнено на специально разработанном фантоме, в который помещали кальций-оксалатный мочевой камень диаметром 5 мм. Исследование проводили на ультразвуковых аппаратах Philips Affinity 70, ALOKA ProSound F75, Canon Aplio i700, Siemens ACUSON NX3 Elite, GE Healthcare LOGIQ E9, Mindray DC-60 Pro X-Insight с использованием конвексного абдоминального датчика.

Определяли следующие параметры: мощность передатчика, опорную частоту цветового доплера, частоту датчика в В-режиме, фокусное расстояние, ширину цветового окна, гармонику, частоту повторения импульсов, многолучевое сканирование, приоритет тканей (color-write priority), усиление доплеровского сигнала (C-gain), усиление в В-режиме (B-gain), режим тканевой гармоники, межкадровое усреднение, усреднение цветового картирования, подавление вспышки и фильтр колебаний стенок сосудов.

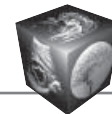
Результаты. Проведен поиск современной литературы (с 2015 по 2025 г.), посвященной влиянию настроек ультразвукового сканера на визуализацию артефакта мерцания на русском и английском языках. Проведен анализ настроек, таких как частота ультразвука, уровень усиления сигнала и параметры временной настройки, наглядно демонстрирующий, как эти факторы влияют на четкость изображений и точность диагностики.

Определены следующие параметры настроек ультразвуковых сканеров, увеличивающие эффективность визуализации артефакта мерцания: увеличение мощности передатчика до максимальной; снижение опорной частоты цветового доплера; установка фокальной зоны ниже глубины расположения объекта; уменьшение ширины цветового окна и увеличение частоты повторения импульсов. Уменьшения влияния программных решений, направленных на подавление артефактов, можно достичь: установкой приоритета в значении для цвета; отключением подавления “вспышки”; увеличением значений фильтра стенок; отключением подавления “вспышки” и тканевой гармоники.

Закключение. Оптимизация параметров ультразвукового сканирования позволяет в значительной степени повысить эффективность выявления артефакта мерцания в мочевых камнях.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика; артефакт мерцания; мерцающий артефакт; обнаружение мочевых камней; настройки ультразвукового сканера

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.



Для цитирования: Громов А.И., Леонов Д.В., Сивков А.В., Войтко Д.А., Каприн А.Д. Влияние настроек ультразвукового аппарата на визуализацию артефакта мерцания. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 56–67. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1610>

Поступила в редакцию: 23.10.2025. **Принята к печати:** 31.03.2026. **Опубликована online:** 5.05.2026.

Effect of ultrasound machine settings on twinkling artifact visualization

© Alexander I. Gromov^{1, 2}, Denis V. Leonov^{3, 4, 5}, Andrey V. Sivkov¹,
Dmitry A. Voitko^{1*}, Andrey D. Kaprin^{6, 7}

¹ N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Healthcare 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 Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 24/1, Petrovka str, Moscow 127051, Russian Federation

⁴ Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences; 44, bld. 2, Vavilov st., Moscow 119333, Russian Federation

⁵ National Research University “Moscow Power Engineering Institute” (MPEI); 14, bld. 1, Krasnokazarmennaya str., Moscow 111250, Russian Federation

⁶ National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; P. Hertsen Moscow oncology research institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky proezd, Moscow 125284, Russian Federation

⁷ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

Study objective. Determination of optimal parameters of ultrasound scanning of urinary stones for effective visualization of Doppler twinkling artifact.

Materials and Methods. A search of modern literature (from 2015 to 2025) devoted to the influence of ultrasound scanner settings on twinkling artifact visualization in Russian and English was conducted in the scientific databases Pubmed, Scopus and Elibrary.

The influence of scanning parameters on the intensity of Doppler twinkling artifact visualization studied using a specially designed phantom, in which a calcium oxalate urinary stone with a diameter of 5 mm placed.

The study performed on the following ultrasound machines: Philips Affinity 70, ALOKA ProSound F75, Canon Aplio i700, Siemens ACUSON NX3 Elite, GE Healthcare LOGIQ E9, Mindray DC-60 Pro X-Insight using a convex abdominal probe in Doppler mapping mode.

The following ultrasound parameters were determined: Transmitter power, Color Doppler reference frequency, B-mode probe frequency, Focal length, Color window width, Harmonic, Pulse repetition frequency, Multibeam scanning, Color-write priority, Doppler signal gain (C-gain), B-mode gain (B-gain), Tissue harmonic mode, Interframe averaging, Color mapping averaging, Flash suppression, and Vessel wall oscillation filter.

Results. The paper analyzes settings such as ultrasound frequency, signal gain level, and time setting parameters, clearly demonstrating how these factors affect image clarity and diagnostic accuracy. The following ultrasound scanner settings have been determined to increase twinkling artifact visualization efficiency: increasing the transmitter power to maximum; decreasing the color Doppler reference frequency; setting the focal zone below the object location depth; decreasing the color window width and increasing the pulse repetition rate. The influence of software solutions aimed at artifact suppression can be reduced by setting the priority to the color value; disabling flash suppression; increasing the wall filter values; disabling flash suppression and tissue harmonics.

Conclusions. Optimization of ultrasound scanning parameters can significantly increase the efficiency of twinkling artifact detection in urinary stones.

Keywords: ultrasound diagnostics; twinkling artifact; urinary stone detection; ultrasound machine settings

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

For citation: Gromov A.I., Leonov D.V., Sivkov A.V., Voitko D.A., Kaprin A.D. Effect of ultrasound machine settings on twinkling artifact visualization. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 56–67. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1610>

Received: 23.10.2025.

Accepted for publication: 31.03.2026.

Published online: 5.05.2026.



Введение

Артефакт мерцания (АМ) – известный эффект в ультразвуковой диагностике, повышающий возможности визуализации и оценки конкрементов, прежде всего мочевых камней, а также внутритканевых кальцинатов и плотных инородных тел [1, 2]. Данные о частоте выявления этого эффекта, в частности в камнях почек и мочеточников, разнятся в значительной степени [3]. Для демонстрации этого можно привести две работы, опубликованные в один и тот же год исследователями из одной и той же страны, в которых представлены данные о чувствительности АМ в мочевых камнях: в одном случае она составила 54,33% [4], а в другом – 100% [5]. Проведенный в 2023 г. метаанализ 16 публикаций, посвященных АМ, показал также большой разброс показателей чувствительности в выявлении АМ при уролитиазе, показатель составил от 0,54 до 0,97 [6].

Действительно, на возможность визуализации АМ в камнях почек и мочеточников влияет большое число факторов, таких как химический состав камня, характер его поверхности, а также настройки ультразвукового прибора [7, 8].

Собственный практический опыт подсказывает, что АМ в мочевых камнях успешно визуализировался в эпоху, когда только ультразвуковые сканеры стали цифровыми [9]. Но через несколько лет исследователи обратили внимание, что добиться его визуализации стало заметно труднее [10]. Объяснить это с позиций сегодняшнего времени можно, вероятно, тем, что в этот период в ультразвуковых аппаратах реализовывались различные средства подавления артефактов, в число которых случайно попал и АМ [11]. Однако в последнее время данный эффект стал вновь очень демонстративно проявляться при сканировании пациентов с уролитиазом. Проведенная нами специальная оценка возможности выявления АМ с использованием специально разработанного фантома, содержащего мочевые камни, погруженные в воду, показала возможность получения АМ практически на всех современных ультразвуковых сканерах [12].

В данной статье будут представлены рекомендации по настройкам ультразвукового сканера, основанные на систематизации литературных данных, а также на основании собственных клинических и фантомных исследований.

Цель исследования: определение оптимальных параметров ультразвукового сканирования мочевых камней для эффективной визуализации доплеровского артефакта мерцания.

Материал и методы

В научных базах Pubmed, Scopus, Elibrary был проведен поиск современной литературы на русском и английском языках (2015–2025 гг.), посвященной влиянию настроек ультразвукового сканера на визуализацию АМ.

В экспериментальной части работы был использован специальный фантом, разработанный в НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, представляющий собой пластиковый контейнер с помещенной в него силиконово-платиновой подложкой. В центральное углубление подложки устанавливали кальций-оксалатный мочевой камень диаметром 5 мм. Предотвращение смещения датчика во время исследования осуществляли системой фиксации, расположенной в его верхней части. В качестве контактной среды использовали дегазированную минеральную воду. Исследование проводили на аппаратах Philips Affinity 70, ALOKA ProSound F75, Canon Aplio i700, Siemens ACUSON NX3 Elite, GE Healthcare LOGIQ E9, Mindray DC-60 Pro X-Insight с использованием конвексного абдоминального датчика в режиме доплеровского картирования.

Результаты исследования

Рассмотрев весь перечень настроек ультразвукового сканера, влияющих на интенсивность отображения АМ, мы посчитали целесообразным разделить их на 2 группы:

- 1) направленные на повышение акустической мощности, подводимой к изучаемому объекту;
- 2) направленные на уменьшение влияния технических и программных решений, которые могут подавить отображение АМ.

Первые из них относятся в основном к препроцессингу, вторые – к постпроцессингу.

В ходе исследования была собрана информация по влиянию настроек сканера на проявление артефакта. Она представлена в таблице.

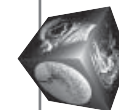
Настройки, направленные на повышение акустической мощности, подводимой к изучаемому объекту

Не подлежит сомнению факт, что интенсивность АМ непосредственно зависит от акустической мощности, которая доходит до объекта, формирующего артефакт. Вероятно, недостаточная мощность акустической волны не способна вызвать кавитацию микропузырьков газа, а уж тем более смещение самого твердого объекта [13, 14].

Таблица. Настройки прибора для визуализации артефакта мерцания
Table. Device settings for visualization of the twinkling artifact

Параметр Parameters	Установка Installation	Пояснение Explanation	Наименование в сканере Name in the scanner					
			Hitachi	Canon	GE	Philips	Samsung	Mindray
Параметры, направленные на повышение акустической мощности (препроцессинг)								
Мощность передатчика Transmitter power	Максимально допустимая прибором Maximum allowed by the device	Может меняться настройкой Penetration Can be changed by the Penetration setting	Acoustic Power	Acoustic Power	Transmit Power	Output Power	Power	Acoustic Power
			Мощность передачи	Акустическая мощность	Излучаемая мощность	Передаваемая мощность	Передаваемая мощность	Мощность передачи
Опорная частота цветового доплера Color Doppler Reference	Минимально возможная Frequency Minimum Possible		Reference frequency Color Doppler	Frequency (CF)	Doppler baseline frequency	Doppler transmit frequency	Center frequency	Freq C
			Опорная/базовая частота ЦДК	Частота цветового доплера	Центральная частота доплера	Базовая частота цвета	Опорная частота ЦДК	Опорная частота ЦДК
Частота датчика в В-режиме The sensor frequency in B mode	Минимально возможная The minimum	Если она не связана с опорной частотой цветового доплера If it is not related to the reference frequency of the color Doppler	Reference frequency B	Frequency	Transducer frequency	Transducer frequency	Tx Frequency	Freq B
			Опорная частота В-режима	Выбор частоты	Частота датчика	Рабочая частота	Частота датчика	Частота
Фокусное расстояние The focal length	На глубине расположения изучаемого объекта или ниже At or below the depth of the object being studied		Focus seting	Focus	Focal Zone	Focal Zone	Focus depth	Focal zone
			Фокусировка	Положении зоны фокусировки	Фокусировка	Глубина фокуса	Фокусировка	Глубина фокуса
Ширина цветового окна The width of the color window	Малая Small	Высота окна не влияет The height of the window does not affect	Region of Interest (ROI) Color Doppler	ROI Size	Color Box Size	Color Box Size	ROI Size	ROI size
			Размер окна опроса/ цветового поля	Размер зоны интереса	Размер цветового окна	Зона отображения цвета	Площадь цветового отображения	Размер цветового окна



**Таблица.** Настройки прибора для визуализации артефакта мерцания**Table.** Device settings for visualization of the twinkling artifact

Параметр Parameters	Установка Installation	Пояснение Explanation	Наименование в сканере Name in the scanner					
			Hitachi	Canon	GE	Philips	Samsung	Mindray
Гармоника Harmonics	Выключить Switch off		Tissue Harmonic Imaging	THI	harmonics	PureWave	Harmonic	Tissue Harmonic Imaging
			Гармоничная визуализация	Режим тканевой гармоник	Гармоническое изображение	Гармоничный режим	Гармоническое изображение	Режим тканевой гармоник
Частота повторения импульсов Pulse repetition rate	Чуть ниже максимальных Slightly below the maximum	Теоретически уменьшает интенсивность АМ, но при этом подавление отображения кровотока заметно повышает возможности его случайного обнаружения Theoretically, it reduces the intensity of AM, but at the same time suppressing the display of blood flow significantly increases the possibility of its accidental detection.	PRF	Scale	PRF	Pulse Frequency	PRF	Scale
			Частота повторения импульсов	Регулировка скоростной доплеровской шкалы	Частота повторения импульсов	Частота повторения импульсов	Частота повторения импульсов	Частота повторения импульсов
Многолучевое сканирование Multipath scanning	Выключить Switch off		Compound	Aplipure	Compound Imaging	PureWave Crystal Transducer Technology	MultiVision	iBeam
			Многолучевой режим	Многолучевое сканирование	Многолучевой режим		Многочастотное сканирование	

Параметры, влияющие на отображение АМ или направленные на подавление артефактов цветового доплеровского картирования (постпроцессинг)**Parameters that affect the display of AM or are aimed at suppressing artifacts of color Doppler mapping (postprocessing)**

Приоритет тканей Priority of fabrics	Приоритет цвета Color priority		Color Priority	Balance	Priority	Priority Color	–	Priority
			Приоритет цветного режима	Приоритет цветовой/серошкальной информации	Настройка приоритета цветного потока	Цветовой приоритет	–	Приоритет
Доплеровское усиление Doppler gain	Уменьшить до исчезновения цветового затека Reduce the color fading until it disappears		CFI/CFM/CF gain	CDI gain	Color gain	Color gain	C-gain	Color gain
			Усиление доплера	Регулировка интенсивности цветовых эхосигналов	Доплеровский усилитель	Усиление доплера	Регулировка чувствительности доплера	Доплеровский усилитель

Таблица. Настройки прибора для визуализации артефакта мерцания
Table. Device settings for visualization of the twinkling artifact

Параметр Parameters	Установка Installation	Пояснение Explanation	Наименование в сканере Name in the scanner					
			Hitachi	Canon	GE	Philips	Samsung	Mindray
Усиление в В-режиме Gain in B-mode	Уменьшить Reduce		B-gain	Gain	General Gain Adjustment	Global Gain Adjustment	B-gain	B-Gain
			Усиление В-режима	Усиление эхосигнала в В-режиме	Усиление	Усиление	Усиление	Усиление
Межкадровое усреднение Inter-frame averaging	Минимальные значения Minimum		Persistence B	Time smoothing	Temporal Filtering	B-mode Frame Averaging	B-Frame Average	Smooth
			Межкадровый фильтр	Временное сглаживание в В-режиме	Среднее между кадрами	Межкадровое сглаживание	Межкадровая фильтрация	Усреднение кадров
Усреднение цветового картирования Averaging of color mapping	Выключить Switch off		Persistence CF/CFM/CF	Time smoothing (CDI)	Frame Averaging	Flow Smoothed Imaging (FSI)	C-Frame Average	Persistence
			Цветовое усреднение	Временное сглаживание в режиме ЦДК	Цветовое усреднение	Цветовое усреднение	Цветовое усреднение	Цветовое усреднение
Подавление вспышки Flash suppression	Выключить Flash suppression		Wall motion reduction	–	Flash Artifact Removal	Flash Artefact Correction	–	–
			Подавление вспышки	–	Удаление артефактов вспышки	Коррекция эффектов вспышки	–	–
Фильтр колебаний стенок сосудов Vascular wall vibration filter	Увеличить Increase		Wall filter	Filter	Wall Motion Filter	Wall filter	Wall Filter	Wall filter
			Фильтр колебаний	Фильтр артефактов движения стенки сосуда	Фильтр стенок сосудов	Фильтрация колебаний стенки сосуда	Фильтр стенок сосудов	Фильтрация пульсаций

Примечание. Названия настроек могут варьировать в зависимости от модели устройства и версии программного обеспечения. Рекомендуется обратиться к руководству пользователя конкретного ультразвукового сканера для получения наиболее точной информации.

Note. The names of the settings may vary depending on the device model and software version. It is recommended to consult the user manual of a specific ultrasound scanner for the most accurate information.



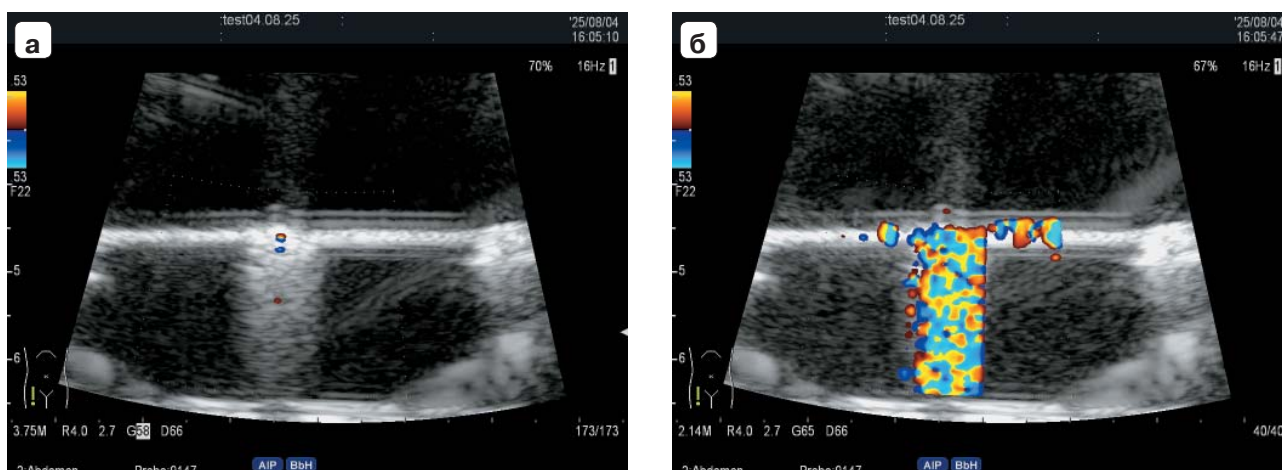


Рис. 1. Здесь и далее на рисунках фантомное исследование в специальном контейнере, заполненном водой. В силиконовой подложке на дне расположен конкремент оксалата кальция. Влияние изменения опорной частоты цветового доплера на отображение АМ. **а** – частота 3,75 МГц; **б** – частота 2,14 МГц. Усиление отображения АМ при уменьшении опорной частоты цветового доплера.

Fig. 1. Here and further in the figures, a phantom study in a special container filled with water. In the silicone substrate at the bottom there is a calcium oxalate concrement. The effect of changing the reference frequency of color Doppler on the twinkling artifact display. **a** – frequency 3.75 MHz; **b** – frequency 2.14 MHz. Enhancement of the twinkling artifact display with a decrease in the reference frequency of color Doppler.

Мощность передатчика. Практически во всех ультразвуковых сканерах имеется возможность изменить мощность акустической волны, формируемой датчиком. Уменьшение акустического индекса требуется для исследования органов и объектов, которые теоретически могут пострадать в результате нагревания при взаимодействии ультразвуковой волны на ткань, в частности глаз и эмбрион на ранних сроках беременности. Поэтому необходимо проверить показатели акустического индекса и **установить их на максимальные значения (100%)**. В некоторых сканерах имеется механический регулятор, в других изменение данной настройки возможно только через меню.

Опорная частота цветового доплера. От опорной частоты доплеровского сигнала зависит степень затухания звуковой волны. Чем ниже частота волны, тем меньше ее затухание. Поэтому для получения максимального сигнала на глубине, т.е. его энергии, необходимо установить **минимальные значения** опорной частоты цветового доплера [15]. И хотя мощность, которую приносит акустическая волна серошкального изображения, заметно меньше, чем мощность доплеровского режима, целесообразно снизить значения и опорной частоты В-режима (рис. 1). При этом нужно помнить, что в некоторых приборах изменение этих частот взаимосвязано, и снижение частоты цветового доплера автоматически приводит к снижению опорной частоты В-режима [16].

Фокусное расстояние. Именно в зоне фокуса ультразвукового луча имеется максимальный уровень мощности сигнала. Поэтому необходимо устанавливать фокальную зону на глубину изучаемого объекта или ниже ее (рис. 2) [12]. Это позволит подвести туда максимальную акустическую энергию.

Ширина цветового окна значительно влияет на акустическую мощность. Уменьшение ширины позволяет значительно увеличить мощность на протяжении всего окна. При этом мощность сигнала вне окна будет иметь значительно меньшие значения. Поэтому для максимальной выраженности АМ необходимо разумно **уменьшить ширину цветового окна** и поместить в него изучаемый объект. Однако при поисковых исследованиях, тогда, когда мы не знаем, где может появиться АМ, значительное уменьшение ширины окна, наверно, нецелесообразно. При этом нужно отметить, что высота цветового окна на распределение акустической мощности влияния не оказывает.

Многочуевое сканирование. В настоящее время нет однозначного понимания влияния режима многочуевого сканирования на интенсивность АМ. Однако проведенное нами фантомное исследование показало, что его включение может приводить к уменьшению степени отображения АМ. Поэтому **режим многочуевого сканирования целесообразно выключить**.

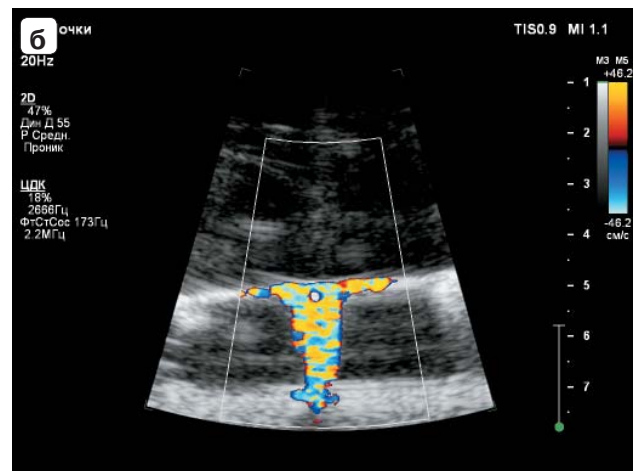
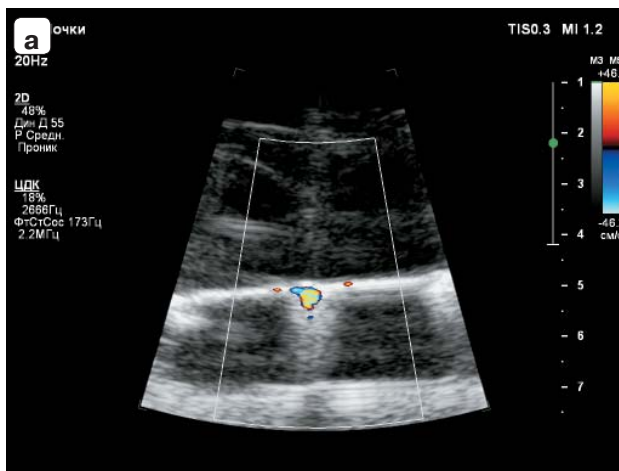


Рис. 2. Влияние местоположения фокуса на отображение АМ. **а** – фокус расположен выше объекта; **б** – фокус расположен ниже объекта. Усиление отображения АМ при смещении фокуса вниз за объект.

Fig. 2. Effect of focus location on twinkling artifact display. **a** – focus is located above the object; **б** – focus is located below the object. Enhancement of twinkling artifact display when focal position is beneath the object.

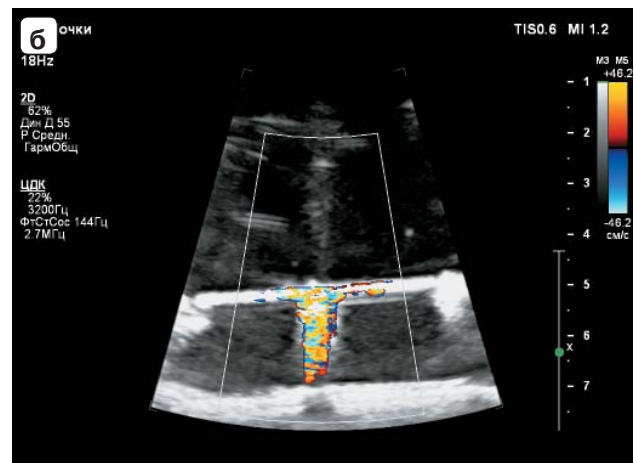
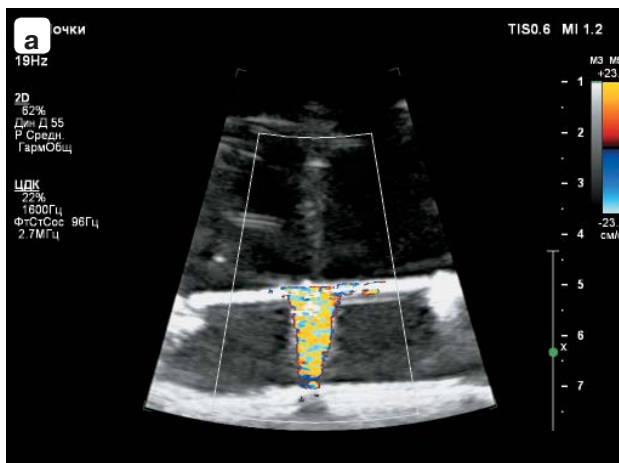
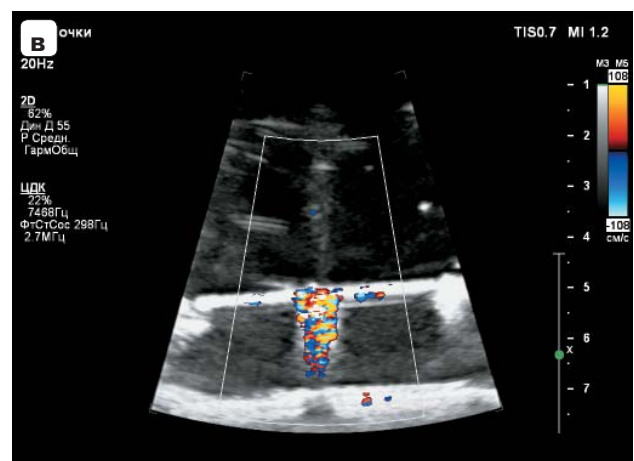


Рис. 3. Влияние изменения частоты повторения импульсов (PRF) на отображение АМ. **а** – PRF 1600 Гц; **б** – PRF 3200 Гц; **в** – PRF 7468 Гц. Снижение интенсивности отображения АМ при увеличении PRF.

Fig. 3. Effect of changing the pulse repetition frequency (PRF) on the twinkling artifact display. **a** – PRF 1600 Hz; **б** – PRF 3200 Hz; **в** – PRF 7468 Hz. Decreasing intensity of the twinkling artifact display with increasing PRF.





Частота повторения импульсов (PRF) – шкала. Высокие, близкие к максимальным, значения PRF действительно приводят к уменьшению интенсивности отображения АМ. Еще J.H. Yang и соавт. [17] в 2015 г. показали уменьшение артефакта при увеличении PRF. Это подтверждают и наши фантомные исследования (рис. 3). С другой стороны, повышение значений этого показателя приводит к уменьшению отображения кровотока, вплоть до его полного исчезновения. При этом интенсивность АМ практически не меняется, и он становится более заметным. Это позволило другим исследователям [5, 18] предположить, что частота повторения не влияет на АМ. Кроме того, нужно иметь в виду, что сканирование на низких значениях PRF может привести к появлению эффекта aliasing в сосудах, который в чем-то схож с отображением АМ, и может его маскировать [19]. Поэтому для выявления структур, дающих АМ, сканирование целесообразно проводить **на частотах несколько ниже максимальных, на том уровне, когда отображение кровотока в сосудах сведено к минимуму.**

Настройки, направленные на уменьшение влияния технических и программных решений, которые могут подавить отображение АМ

Приоритет тканей – специальная программная функция, которая позволяет изменить изображение в режиме цветового доплера с акцентом на серошкальное изображение или цвет. Поэтому значения этого показателя **необходимо устанавливать в максимальные для цвета** (рис. 4) [20].

Межкадровое усреднение и сглаживание – эта функция аппарата направлена на подавление

отображения цветового шума за счет использования в каждом кадре информации предыдущих кадров. Но АМ проявляется очень быстрой сменой цветов на противоположные, поэтому предыдущие кадры будут его маскировать. Поэтому вместе с шумом может подавляться и АМ. Исходя из этого уровень этой настройки **должен быть минимальным.**

Подавление вспышки – специальная функция, настроенная на подавление артефакта вспышки. С этим артефактом мы сталкиваемся постоянно при исследовании органов брюшной полости, и он обусловлен цветовым окрашиванием позади смещающегося газа внутри кишки. Проблема заключается в том, что отображение этого артефакта в чем-то напоминает АМ – широкие полосы быстро сменяющейся цветовой гаммы. Включение данного режима может подавить и АМ, поэтому он **должен быть выключен.**

Фильтр стенок – направлен на устранение цветовых эффектов, вызванных низкоскоростным движением стенок сосудов и сердца. С одной стороны, АМ представляет в цвете предельные скоростные значения, поэтому высокие значения этого показателя не должны влиять на его отображение [21]. Однако в экспериментальных условиях отмечено более яркое отображение АМ в светлых тонах с увеличением его контрастности при увеличении значений данного фильтра (рис. 5).

Усиление доплеровского сигнала – влияет не только на правильное отображение потока крови в сосудах, но и на АМ [20]. Здесь уместны стандартные рекомендации – с высоких значений уровень сигнала **уменьшить до исчезновения цветового затека.**

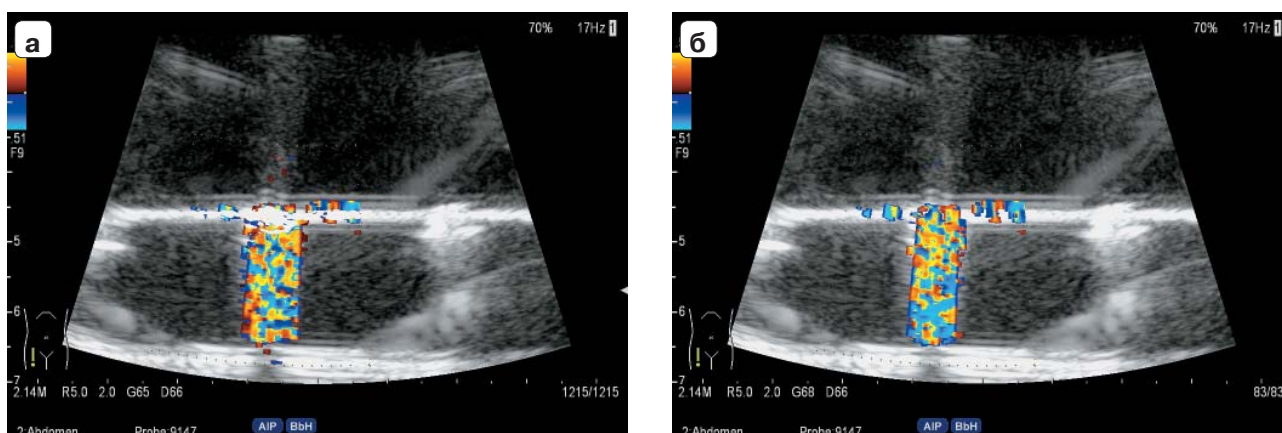


Рис. 4. Влияние изменения настройки “приоритет тканей/цвета” на отображение АМ. **а** – приоритет тканей; **б** – приоритет цвета. При включении режима “приоритет цвета” отмечается прокрашивание и самого конкремента.

Fig. 4. Effect of changing the “tissue/color priority” setting on twinkling artifact display. **a** – tissue priority; **b** – color priority. When the “color priority” mode is on, the calculus itself is also stained.

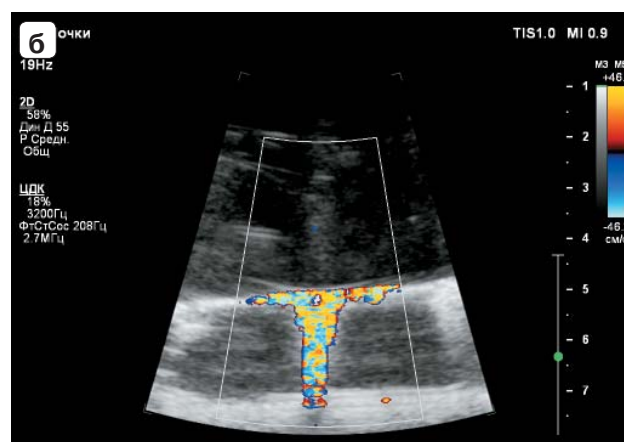
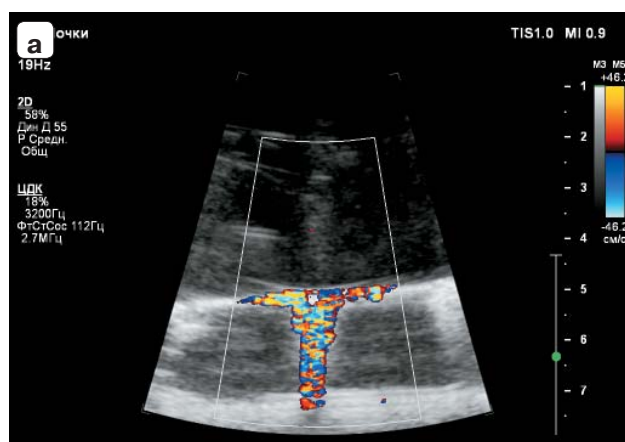
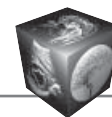


Рис. 5. Влияние изменения “фильтра стенок” на отображение АМ. **а** – минимальные значения “фильтра стенок” 112 Гц; **б** – максимальные значения “фильтра стенок” 208 Гц. Усиление яркости отображения АМ при увеличении параметров “фильтра стенок”.

Fig. 5. Effect of changing the “wall filter” on the twinkling artifact display. **a** – minimum values of the “wall filter” 112 Hz; **б** – maximum values of the “wall filter” 208 Hz. Increase in the brightness of the twinkling artifact display with an increase in the “wall filter” parameters.

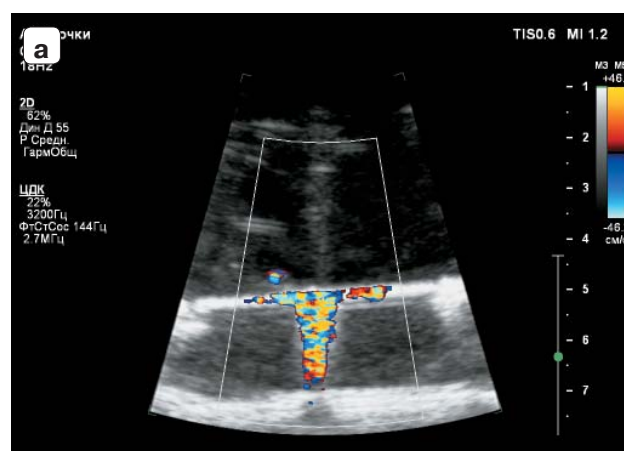
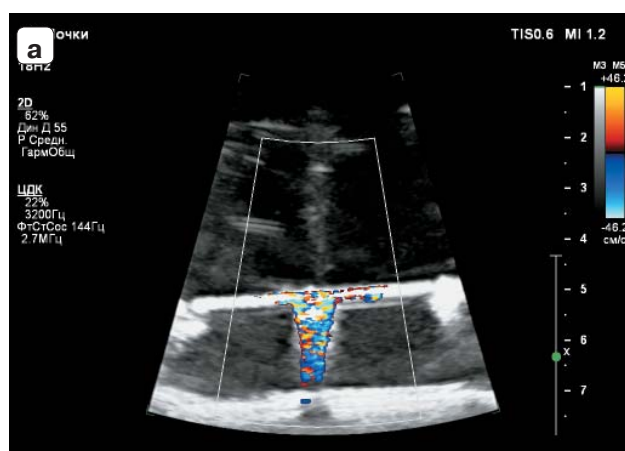


Рис. 6. Влияние включения режима тканевой гармоник на отображение АМ. **а** – режим тканевой гармоник включен; **б** – режим тканевой гармоник выключен. Усиление отображения АМ при выключении режима тканевой гармоник.

Fig. 6. Effect of tissue harmonic mode on twinkling artifact display. **a** – tissue harmonic mode on; **б** – tissue harmonic mode off. Enhancement of twinkling artifact display when tissue harmonic mode is off.

Усиление в В-режиме – этот параметр влияет на работу маски прозрачности, позволяющей выделить полезные сигналы на фоне шумов. При его высоких значениях, особенно при неправильной установке приоритета тканей, АМ может даже пропадать [22]. Потому усиление должно быть **настроено на низкие значения**.

Режим тканевой гармоник – относится к отображению В-режима и напрямую не влияет на мощность излученного сигнала. Кажется бы,

что он не должен изменять характер АМ. Но влияние его может быть опосредованным. Включение этого режима повышает контрастность изображения (рис. 6), а повышение контрастности может привести к превышению порога приоритета цвета, в результате проявление мерцающего артефакта на гиперэхогенных объектах снизится. Поэтому этот параметр **лучше отключить** для наилучшей визуализации артефакта.



Заключение

Результаты исследования показали значительное влияние настроек ультразвукового аппарата на визуализацию АМ. Было выявлено, что параметры, такие как частота несущего колебания, мощность излучения, приоритет тканей и глубина фокуса, оказывают определяющее влияние на стабильность изображения артефакта. Оптимизация этих параметров позволяет иногда получить отображение артефакта в тех случаях, когда он не проявляет себя при стандартных настройках прибора. В конечном итоге это позволяет повысить показатели диагностической эффективности АМ в выявлении конкрементов и внутритканевых кальцинатов.

Участие авторов

Громов А.И. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, написание текста, анализ и интерпретация полученных данных.

Леонов Д.В. – проведение исследования, участие в научном дизайне.

Сивков А.В. – утверждение окончательного варианта статьи, участие в научном дизайне.

Войтко Д.А. – проведение исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, анализ и интерпретация полученных данных.

Каприн А.Д. – утверждение окончательного варианта статьи, участие в научном дизайне.

Authors' participation

Gromov A.I. – research concept and design, conducting research, writing text, analyzing and interpreting the data obtained.

Leonov D.V. – conducting research, participating in scientific design.

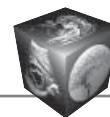
Sivkov A.V. – approval of the final version of the article, participation in scientific design.

Voitko D.A. – conducting research, reviewing publications on the topic of the article, writing the text, analyzing and interpreting the data obtained.

Kaprin A.D. – approval of the final version of the article, participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Rahmouni A., Bargoin R., Herment A. et al. Color Doppler Twinkling artifact in Hyperechoic regions. *Radiology*. 1996; 199: 269–271.
2. Jamallivani A., Behnam H., Tavakkoli J. Monitoring high-intensity focused ultrasound thermal therapy by ultrasound doppler imaging using twinkling artifact. *PLOS ONE*. 2025; 20 (7): e0324801. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324801>
3. Abid A., Butt R.W., Abbas H.B. et al. Diagnostic accuracy of colour doppler ultrasound using twinkling artefact for the diagnosis of renal and ureteric calculi keeping non enhanced CT KUB as gold standard. *Pak. Armed Forces Med. J.* 2021; 71 (2): 522–525.
4. Adel H., Sattar A., Rahim A. et al. Diagnostic Accuracy of Doppler Twinkling Artifact for Identifying Urinary Tract Calculi. *Cureus*. 2019; 11 (9): e5647. <https://doi.org/10.7759/cureus.5647>
5. Bacha R., Manzoor I., Gilani S.A. Clinical Significance of Twinkling Artifact in the Diagnosis of Urinary Stones. *Ultrasound Med. Biol.* 2019; 45 (12): 3199–3206. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio>
6. Nabheerong P., Kengkla K., Saokaew S. Diagnostic accuracy of Doppler twinkling artifact for identifying urolithiasis: a systematic review and meta-analysis. *J. Ultrasound*. 2023; 26 (2): 321–331. <https://doi.org/10.1007/s40477-022-00759-z>
7. Rokni E., Zinck S., Simon J.C. Evaluation of stone features that cause the color Doppler ultrasound twinkling artifact. *Ultrasound Med. Biol.* 2021; 47 (5): 1310–1318. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.01.016>
8. Leonov D.V., Reshetnikov R.V., Kulberg N.S. et al. Doppler twinkling artifact observations: an open-access database of raw ultrasonic signals. *Dig. Diagn.* 2021; 2 (3): 261–276. <https://doi.org/10.17816/DD76511>
9. Васильев А.Ю., Громов А.И. Цветовое доплеровское картирование с использованием энергетического доплера в оценке патологии предстательной железы. *Военно-медицинский журнал*. 1997; 318 (4): 33–37. Vasilev A.Yu., Gromov A.I. Color Doppler mapping using power Doppler in assessing prostate pathology. *Military Medical Journal*. 1997; 318 (4): 33–37. (In Russian)
10. Sorensen M.D., Harper J.D., Hsi R.S. et al. B-mode ultrasound versus color Doppler twinkling artifact in detecting kidney stones. *J. Endourol.* 2013; 27 (2): 149–153. <https://doi.org/10.1089/end.2012.0430>
11. Ortiz S.H.C., Chiu T., Fox M.D. Ultrasound image enhancement: A review. *Biomed. Signal Proc. Control*. 2012; 7 (5): 419–428. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2012.02.002>
12. Громов А.И., Просянных М.Ю., Войтко Д.А., Анохин Н.В., Константинова О.В., Сивков А.В., Аполихин О.И., Каприн А.Д. Разработка способа оценки артефакта мерцания для диагностики мочевых камней на различных УЗ-сканерах. *Экспериментальная и клиническая урология*. 2024; 17 (3): 23–29. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-3-23-29>
13. Громов А.И., Сапожников О.А., Каприн А.Д. Доплеровский артефакт мерцания: физические механизмы и место в диагностической практике. Современное состояние вопроса. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 120–134. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1206>
14. Gromov A.I., Sapozhnikov O.A., Kaprin A.D. Doppler twinkling artifact: physical mechanisms and place in diagnostic practice. State of the art. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 120–134. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-1206> (In Russian)
15. Rokni E., Kitur E.C., Simon J.C. Dynamics of crevice microbubbles that cause the twinkling artifact. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 108: 106971. <http://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2024.106971>



15. Lu W., Sapozhnikov O.A., Bailey M.R. et al. Evidence for trapped surface bubbles as the cause for the twinkling artifact in ultrasound imaging. *Ultrasound Med. Biol.* 2013; 39: 1026–1038. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.01.011>
16. Poggi C., Palavecino M. Ultrasound principles and instrumentation. *Surgery Open Science.* 2024; 18: 123–128. <http://doi.org/10.1016/j.sopen.2024.02.005>
17. Yang J.H., Kang G., Choi M.J. The role of the acoustic radiation force in color Doppler twinkling artifacts. *Ultrasonography.* 2015; 34 (2): 109–114. <http://doi.org/10.14366/usg.14065>
18. Bacha R., Gilani S. A., Manzoor I. Relation of color Doppler twinkling artifact and scale or pulse repetition frequency. *J. Med. Ultrasound.* 2019; 27 (1): 13–18. http://doi.org/10.4103/JMU.JMU_129_18
19. Raheem A. Effects of Artifacts on the Diagnosis of Ultrasound Image. *Medico-Legal Update.* 2021; 21 (4): 327–336. <http://doi.org/10.37506/mlu.v21i4.3152>
20. Choi M.J., Cho C.H., Kang G., Yang J. Color Doppler Twinkling Artifact: Possible Mechanisms and Clinical Potential. *Biomed. Eng. Lett.* 2014; 4: 41–54. <https://doi.org/10.1007/s13534-014-0124-4>
21. Shabana W., Bude R.O., Rubin J.M. Comparison between color Doppler twinkling artifact and acoustic shadowing for renal calculus detection: an in vitro study. *Ultrasound Med. Biol.* 2009; 35 (2): 339–350. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2008.09.023>
22. Gao J., Hentel K., Rubin J.M. Correlation between Twinkling artifact and color Doppler carrier frequency: Preliminary observations in renal calculi. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38: 1534–1539. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.04.011>

Для корреспонденции*: Войтко Дмитрий Алексеевич – e-mail: 1987vda@mail.ru

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения отдела онкоурологии НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Леонов Денис Владимирович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”; научный сотрудник ФИЦ “Информатика и управление” РАН; доцент ФГБОУ ВО “НИУ “Московский энергетический институт”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0916-6552>

Сивков Андрей Владимирович – канд. мед. наук, заместитель директора НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. E-mail: uroinfo@yandex.ru

Войтко Дмитрий Алексеевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела мочекаменной болезни НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1292-1651>

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>

Contact*: Dmitry A. Voitko – e-mail: 1987vda@mail.ru

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci., (Med.), Professor, Head of the Radiation Diagnostics and Treatment Group, N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Healthcare of Russian Federation; Professor of the Department of Radiation Diagnostics of the Moscow State Medical University named after A.I. Evdokimov, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Denis V. Leonov – Cand. of Sci. (Techn.), Leading researcher, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences; Associate professor, National Research University “Moscow Power Engineering Institute” (MPEI), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0916-6552>

Andrey V. Sivkov – Cand. of Sci. (Med.), Deputy Director, N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Moscow. E-mail: uroinfo@yandex.ru

Dmitry A. Voitko – Cand. of Sci. (Med.), Researcher at the Department of Urolithiasis, N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Healthcare of Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1292-1651>

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>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1592>



Прорыв эхинококковой кисты печени в плевральную полость (клиническое наблюдение)

© Вишнякова М.В. (мл.)^{1, 2*}, Санникова Л.А.³, Степанова Е.А.², Румянцев В.Б.⁴

¹ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева” Минздрава России; 121552 Москва, Рублевское шоссе, д. 135, Российская Федерация

² ГБУЗ МО “Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского”; 129110 Москва, ул. Щепкина, д. 61/2, Российская Федерация

³ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

⁴ ФГКУ “Клинико-диагностический центр Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации”; 119019 Москва, Колымажный пер., д. 7, стр. 4, Российская Федерация

Приведено редкое клиническое наблюдение прорыва эхинококковой кисты печени в плевральную полость. Прямой разрыв паразитарной кисты с формированием подобного сообщения является одним из самых редких вариантов осложнений заболевания.

Материал и методы. Пациентка 59 лет обратилась за помощью с жалобами на тяжесть, ноющие боли в правом подреберье и правой половине грудной клетки в течение полугода. Пациентке было выполнено комплексное предоперационное обследование, включавшее ультразвуковое исследование брюшной и плевральных полостей, компьютерную и магнитно-резонансную томографию грудной клетки и брюшной полости.

Описание клинического наблюдения. При диагностических исследованиях было выявлено большое образование в правой доле печени с признаками сообщения с правой плевральной полостью через дефект диафрагмы. Структура образования была неоднородная, обращало на себя внимание неравномерное ленто-видное накопление контрастного препарата в центральных отделах со снижением плотности по периферии.

Серологические тесты пациентки на эхинококкоз были отрицательны, при цитологическом исследовании содержимого в плевральной полости был выявлен реактивный экссудат. Пациентка была прооперирована, интраоперационно подтверждено наличие разрыва эхинококковой кисты, также выявлен цистобилиарный свищ.

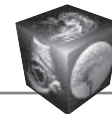
Закключение. Эхинококкоз остается актуальной проблемой здравоохранения, несмотря на достижения современной медицины. Заболевание может протекать без выраженных симптомов и специфических проявлений, что подчеркивает важность методов диагностики в корректной постановке диагноза.

Ключевые слова: эхинококковая киста; прорыв в плевральную полость; осложнение; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; диагностика

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Вишнякова М.В. (мл.), Санникова Л.А., Степанова Е.А., Румянцев В.Б. Прорыв эхинококковой кисты печени в плевральную полость (клиническое наблюдение). *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 68–75. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1592>

Поступила в редакцию: 16.08.2025. **Принята к печати:** 01.11.2025. **Опубликована online:** 12.05.2026.



A case of rupture of an echinococcal cyst of the liver into the pleural cavity

© Marina V. Vishnyakova (Jr.)^{1, 2*}, Lyudmila A. Sannikova³, Elena A. Stepanova², Vyacheslav B. Rumyantsev⁴

¹ A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 135, Rublevskoye shosse, Moscow 121552, Russian Federation

² M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute; 61/2, Shchepkin str., Moscow 129110, Russian Federation

³ 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

⁴ Clinical and Diagnostic Center of the General Headquarters of the Armed Forces of the Russian Federation; 7, bld. 4, Kolyumazhny lane., Moscow 119019, Russian Federation

In this article we describe a rare clinical case of rupture of hepatic echinococcal cyst into the pleural cavity. Direct rupture of a hydatid cyst, resulting in a communication with the pleural cavity, is one of the rarest complications of this disease.

Material and method. A 59-year-old female patient sought help with complaints of heaviness, aching pain in the right hypochondrium and right half of the chest for six months. The patient underwent a comprehensive pre-operative examination, including an ultrasound examination of the abdominal and pleural cavities, computed tomography and magnetic resonance imaging of the chest and abdominal cavity.

Description of a clinical case. Diagnostic studies revealed a large mass in the right lobe of the liver with evidence of communication with the right pleural cavity through a diaphragmatic defect. Its structure was heterogeneous; attention was drawn to the uneven ribbon-like accumulation of the contrast agent in the central part with decrease in density along the periphery.

The patient's serological tests for echinococcosis were negative, and cytological examination of the pleural contents revealed reactive exudate. The patient underwent surgery, and intraoperative confirmation of a ruptured echinococcal cyst and a cystobiliary fistula were also identified.

Conclusion. Echinococcosis remains a severe public health problem despite advances in modern medicine. The disease can present without obvious symptoms or specific manifestations, highlighting the importance of diagnostic methods for accurate diagnosis.

Keywords: echinococcal cyst; breakthrough into the pleural cavity; complication; computed tomography; magnetic resonance imaging; diagnostics

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

For citation: Vishnyakova M.V., Sannikova L.A., Stepanova E.A., Rumyantsev V.B. A case of rupture of an echinococcal cyst of the liver into the pleural cavity. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 68–75.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1592>

Received: 16.08.2025.

Accepted for publication: 01.11.2025.

Published online: 12.05.2026.

Введение

Эхинококкоз – это серьезное и почти повсеместно распространенное паразитарное заболевание, вызываемое личиночными формами цестод рода *Echinococcus*, с фекально-оральным механизмом передачи возбудителя. В 2023 г. в Российской Федерации заболеваемость эхинококкозом составила 0,34 на 100 тыс. населения [1]. Это заболевание характеризуется образованием эхинококковых кист в различных органах, преимущественно в печени (до 70%) и легких (до 20–30%), и занимает в общей структуре гельминтозов 1,2% [2, 3]. Медленное и постепенное увеличение в размерах кист приводит к редкой манифестации заболевания на ранних стадиях. Симптомы пораже-

ния обычно проявляются, когда киста в печени достигает более 10 см в диаметре, что приводит к сдавлению или повреждению желчных протоков, печеночных вен, воротной вены, печеночной артерии. Самыми частыми симптомами при эхинококкозе печени являются боль в правом подреберье или в эпигастральной области, тошнота, рвота, при пальпаторном исследовании – гепатомегалия [2]. При эхинококкозе легких в клинической картине преобладают боль в грудной клетке, одышка, кашель. В случае нагноения кисты клиническая картина может быть принята за проявление воспалительного процесса.

В постановке диагноза важную роль играют такие методы исследования, как компьютерная



томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), по данным которых выделяют 4 основных типа кист: простая киста, киста, содержащая дочерние кисты, кальцифицированная киста, осложненная киста [4]. По данным литературы, прямой разрыв, при котором содержимое кисты попадает в брюшную полость или грудную полость через диафрагму, является самым редким осложнением, которое встречается у 0,6–16% пациентов [5, 6], на сегодня подробно описаны только единичные подобные наблюдения [7–9].

Несмотря на достижения медицины, несвоевременная диагностика и, как следствие, развитие осложнений эхинококкоза остаются одной из важных нерешенных проблем. Это связано, во-первых, с малой информированностью о данном заболевании, во-вторых, с часто неспецифической или бессимптомной клинической картиной, в-третьих, с неоднозначными результатами серологических тестов, как и наблюдалось в представленном нами клиническом случае, что также затрудняет своевременную диагностику заболевания и приводит к развитию осложнений.

Клиническое наблюдение

Пациентка 59 лет обратилась в поликлинику по месту жительства с жалобами на умеренную слабость, тянущие боли в правом подреберье, усиливающиеся при движении, одышку при физической нагрузке. Со слов пациентки, данные жалобы впервые появились полгода назад, за помощью она не обращалась. Пациентка периодически самостоятельно принимала нестероидные противовоспалительные препараты с положительным эффектом. Также, со слов пациентки, она не проживала в сельской местности, не имела домашних животных, в эндемичные районы по эхинококкозу не выезжала.

Лабораторные исследования выявили эозинофилию (17%, норма: 0,5–5%), повышение СОЭ (74 мм/ч, норма: 2–10 мм/ч), повышение С-реактивного белка (40 мг/л, норма: 0–5 мг/л), серологический анализ крови на антитела к эхинококку показал отрицательный результат (значение коэффициента позитивности пробы 0,25).

При проведении ультразвукового исследования (УЗИ) плевральных полостей в положении лежа на спине была выявлена жидкость в правой плевральной полости в объеме 2100 мл. Рентгенологическое исследова-

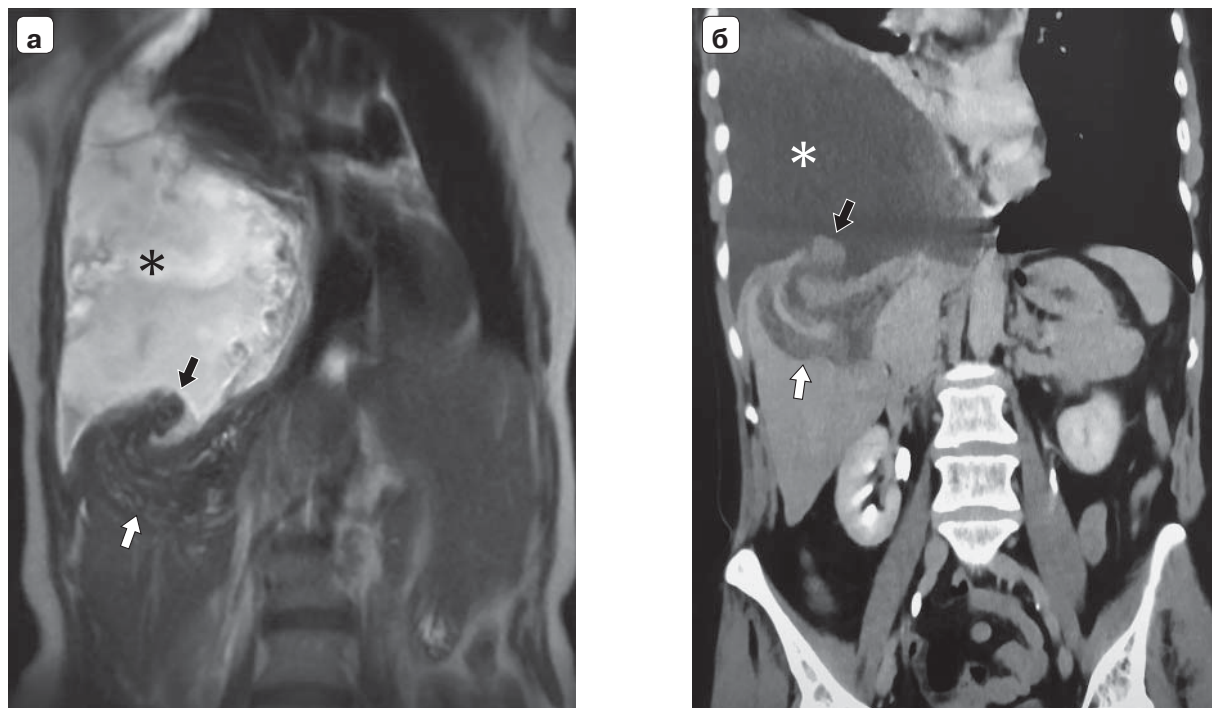


Рис. 1. Магнитно-резонансная томограмма (а) и компьютерная томограмма (б), реконструкция во фронтальной плоскости. Изменение структуры правой доли печени с наличием образования (белые стрелки), сообщающегося с правой плевральной полостью через дефект на уровне правого купола диафрагмы (черные стрелки). Правосторонний гидроторакс (звездочка).

Fig. 1. Magnetic resonance imaging (а) and computed tomography (б), reconstruction in the frontal plane. Changes in the structure of the right lobe of the liver with the presence of a lesion (white arrows) communicating with the right pleural cavity through a defect at the level of the right dome of the diaphragm (black arrows). Right-sided hydrothorax (asterisk).

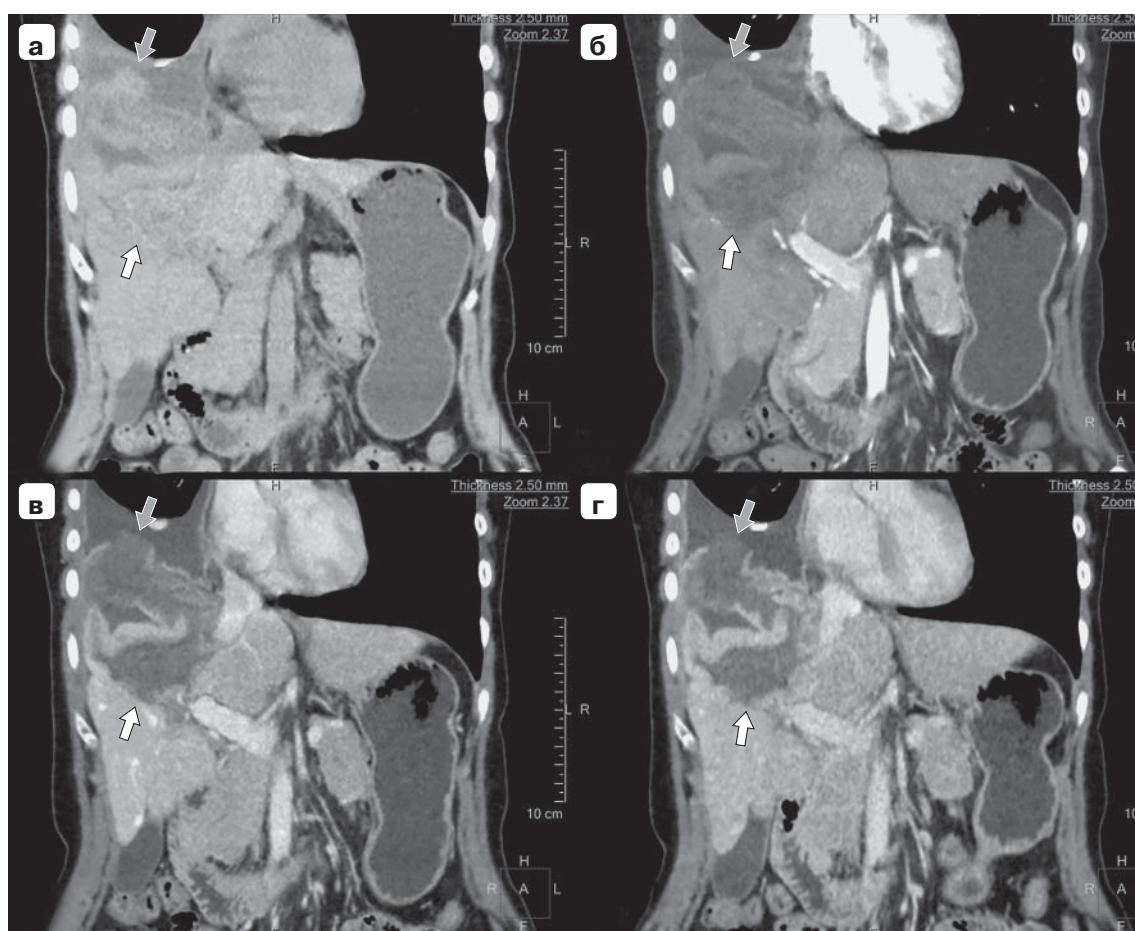
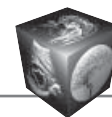


Рис. 2. Компьютерные томограммы (а–г) после пункции правой плевральной полости, реконструкция во фронтальной плоскости. Изменение структуры правой доли печени с наличием образования (белые стрелки), сообщающегося с правой плевральной полостью через дефект на уровне правого купола диафрагмы (серые стрелки).

Fig. 2. Computed tomography (a–г) after puncture of the right pleural cavity, reconstruction in the frontal plane. Changes in the structure of the right lobe of the liver with the presence of a lesion (white arrows) communicating with the right pleural cavity through a defect at the level of the right dome of the diaphragm (gray arrows).

ние органов грудной клетки при поступлении также выявило правосторонний гидроторакс. При динамическом ультразвуковом контроле через 2 дня объем жидкости увеличился до 2400 мл. По данным УЗИ органов брюшной полости отмечалось увеличение печени в размерах, наличие объемного образования смешанной эхогенности, гетерогенной структуры, неправильной формы с неровными контурами, располагающегося в правой доле, размерами 84 × 59 мм.

По данным представленных исследований двухнедельной давности: МРТ и КТ брюшной полости и грудной клетки было подтверждено наличие в поддиафрагмальных отделах правой доли печени гетерогенного образования неправильной формы, размерами 25 × 65 × 63 мм, с компрессией прилежащей паренхимы. Было выявлено сообщение данного образования с правой плевральной полостью через дефект купола диафрагмы размерами 25 мм, с распространени-

ем неоднородного содержимого образования в плевральную полость и наличием в последней большого количества жидкости (рис. 1). При РКТ с контрастным усилением отмечалось неравномерное “лентовидное” накопление контрастного препарата в центральных отделах образования.

Было выполнено дренирование правой плевральной полости, при цитологическом исследовании плевральной жидкости в полученном материале определялась выраженная лейкоцитарная инфильтрация с преобладанием эозинофилов. Цитограмма соответствовала реактивному экссудату.

При контрольной КТ органов грудной клетки и брюшной полости после дренирования сохранялось ранее отмеченное образование, пролабирующее в правую плевральную полость через дефект в области диафрагмы, с увеличением зоны пониженной плотности в структуре правой доли печени (рис. 2).



Рис. 3. Интраоперационное извлечение эхинококка.
Fig. 3. Intraoperative extraction of echinococcus.

По данным проведенного обследования пациентки было выдвинуто предположение о паразитарном характере изменений. Однако точная постановка диагноза была затруднительна на фоне отрицательных серологических тестов, неспецифических изменений по данным плевральной пункции.

После подробного обследования пациентке были выполнены следующие оперативные вмешательства:

1. Диагностическая торакоскопия, тораколапаротомия. Декорткация правого легкого.

2. Открытая эхинококкэктомия (рис. 3). Атипичная резекция кисты правой доли печени $S_{VII-VIII}$ с ушиванием внутреннего цистобилиарного свища. Пластика дефекта правого купола диафрагмы местными тканями. Дренаж брюшной полости, остаточной полости кисты правой доли печени и правой плевральной полости. Во время операции при ревизии внутренней фиброзной стенки эхинококковой кисты также был выявлен цистобилиарный свищ размером около 1–2 мм, из которого поступала прозрачная желчь.

При гистологическом исследовании были обнаружены фрагменты стенки эхинококковой кисты.

При проведенном контрольном УЗИ были выявлены остаточная полость кисты в правой доле печени и небольшое количество жидкости в правой плевральной полости. Пациентка была выписана в удовлетворительном состоянии.

Обсуждение

Согласно данным Роспотребнадзора, заболеваемость кистозным и альвеолярным эхинококкозом зарегистрирована во всех федеральных округах Российской Федерации. В 2023 г. всего выявлено 494 случая заболевания эхинококкозом, заболеваемость составила 0,34 на 100 тыс. населения [1].

Жизненный цикл всех *Echinococcus spp.* осуществляется при помощи промежуточных хозяев, в роли которых выступают люди и травоядные животные (например, овцы, козы, свиньи, крупный рогатый скот, верблюды, лошади, олени). Окончательными хозяевами являются животные семейства псовых (например, собаки, лисицы, волки).

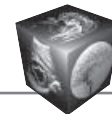
Половозрелые особи, обитающие в тонкой кишке окончательных хозяев, откладывают яйца, которые затем попадают в окружающую среду с фекалиями и поглощаются промежуточными хозяевами. После образования из яиц онкосфер последние проходят через стенку кишки и гематогенным путем могут быть занесены в печень, легкие и любой другой орган, где происходит образование кист. Окончательный хозяин заражается, потребляя в пищу органы, содержащие кисты, и цикл повторяется [10].

Несмотря на повсеместную распространенность данного заболевания, постановка окончательного этиологического диагноза с помощью неинвазивных методов диагностики бывает затруднительна.

Для постановки диагноза эхинококкоза лабораторные методы не являются специфичными. Характерная для гельминтозов эозинофилия обнаруживается лишь у 18% пациентов, повышение СОЭ может быть выявлено при осложненном течении кист, лейкоцитоз у пациентов будет развиваться при их нагноении. Серологический метод также является вспомогательным в связи с высокой частотой ложноотрицательных результатов [2].

При заражении эхинококкозом кисты растут, как правило, медленно, в течение многих лет остаются бессимптомными, пока не обнаруживаются при рентгенологическом или ультразвуковом обследовании, проводимом по другой причине, или при возникновении осложненного течения самой кисты. Наиболее часто встречается поражение печени (до 60–75% от всех случаев эхинококкоза), далее по частоте следуют легкие (15%), селезенка, брюшная полость, почки и другие локализации [6].

УЗИ является методом первой линии для оценки структуры печени из-за его доступности, отсутствия ионизирующего облучения и возможности подробной характеристики изменений, информативность метода составляет 90–97% [4, 11, 12].



КТ и МРТ являются надежными неинвазивными методами визуализации эхинококковых кист печени, позволяют определить кальцификацию стенок кисты и наличие осложнений, а также связь с желчными протоками (при МРТ-исследовании) [4, 13]. В зависимости от внутренней структуры по данным методов визуализации можно выделить 4 типа изменений [4–6]:

Тип 1. Простая киста без внутренней архитектоники. При исследованиях представляет собой однокамерное округлое образование, содержащее жидкость. При КТ характеризуется однородным гиподенсным содержимым, при МРТ содержимое кисты имеет низкий сигнал на T1-ВИ и высокий сигнал на T2-ВИ с T1-изоинтенсивным и T2-гипоинтенсивным ободком – фиброзной капсулой, умеренно накапливающей контрастное вещество при контрастном усилении.

Тип 2. Киста неоднородной структуры, содержащая дочерние кисты и матрикс. Данный вариант визуализируется в активную фазу паразитарного цикла и при распространении изменений. В материнской кисте, которая характеризуется более плотным матриксом, появляются дочерние кисты, которые чаще локализованы по периферии. Изменения дифференцируются на 3 подтипа:

2А – дочерние кисты визуализируются по периферии материнской кисты с высокой плотностью центрального матрикса, из-за такого расположения изменения приобретают вид “колеса со спицами”;

2В – дочерние кисты неправильной формы, заполняют всю полость материнской кисты, из-за чего образование имеет вид “розетки”;

3С – образование содержит дочерние кисты с фрагментарной кальцификацией и частично сохраняющийся между ними гиперденсный матрикс.

Тип 3. Полностью кальцифицированная киста. Этот тип соответствует неактивной фазе болезни, при которой эхинококк не распространяется по организму хозяина и не характеризуется дальнейшим ростом.

Тип 4. Осложненная киста. Осложнения эхинококкоза печени можно разделить на 2 группы: разрыв эхинококковой кисты (в 20–50% случаев) и вторичная бактериальная инфекция (в 5–8% случаев), они могут развиваться на фоне изменений типа 1 или 2.

Разрыв эхинококковой кисты подразделяется на 3 типа [4, 5]:

Сообщающийся разрыв (15%) – представляет собой сообщение между эхинококковой кистой и желчным деревом, в большинстве случаев возникающее при больших размерах кисты и ее расположении в центральных сегментах печени.

Причиной является повышенное внутрикистозное давление, которое приводит к сдавлению и некрозу стенок прилежащих желчных протоков, после чего происходят встраивание мелких желчных протоков в перицисту и их последующий разрыв. При формировании прямого сообщения между кистой и билиарной системой содержимое кисты может мигрировать в просвет протоков. Подобные изменения будут соответствовать слабому повышению плотности при КТ, гиперинтенсивности сигнала на T1-ВИ при МРТ. На T2-ВИ и при проведении МР-холангиопанкреатографии изменениям будет соответствовать гипоинтенсивность сигнала или потеря сигнала на уровне изменений соответственно.

Отграниченный разрыв (12%) происходит в случае разрыва эндоцисты при сохранном наружном слое перицисты. Подобные изменения могут произойти в результате естественной дегенерации эхинококковой кисты, травмы или после проведенного медикаментозного лечения. Типичными признаками, указывающими на подобный вариант разрыва, являются “признак водяной лилии” или “признак змеи” (отслоившиеся волнистые мембраны внутри гидатидной кисты без уменьшения ее размера).

Прямой разрыв (6%) представляет собой разрыв эндо- и перицисты, в результате которого содержимое кисты попадает в брюшную полость или грудную полость через диафрагму (встречается у 0,6–16% пациентов). Осложнение может возникнуть спонтанно или быть обусловлено травмой. Прямой разрыв в брюшную полость приведет к массивному распространению содержимого эхинококковой кисты, при диагностических методах будут визуализироваться дочерние кисты вдоль брюшины. Характерным симптомом прямого разрыва в воздуходержащие структуры (легкое, желудочно-кишечный тракт) будет появление воздуха в полости эхинококковой кисты. Также могут визуализироваться высокое стояние купола диафрагмы, жидкость в плевральной полости, консолидация и ателектаз легочной ткани.

Необычность представленного наблюдения заключается в развитии редкого осложнения эхинококкоза – трансдиафрагмального разрыва эхинококковой кисты печени в плевральную полость. Данные методов визуализации позволили предположить наличие у пациентки гидатидного поражения печени, однако затруднение в точной предоперационной постановке диагноза было связано с бессимптомной клинической картиной заболевания в течение длительного времени и отрицательными результатами серологических тестов. Анамнестические данные также не могли помочь



в постановке диагноза в связи с тем, что пациентка не проживала в сельской местности, не пребывала в эндемичных районах, не имела домашних животных.

Заключение

Эхинококкоз представляет собой серьезное паразитарное заболевание, которое остается актуальной проблемой здравоохранения, несмотря на достижения современной медицины. Важность ранней диагностики и адекватного лечения подчеркивается тем, что зачастую заболевание протекает без выраженных симптомов или с неспецифическими проявлениями, что усложняет его выявление. Необходимо повышать осведомленность медицинских работников о данной патологии, чтобы обеспечить своевременное распознавание и лечение эхинококкоза, минимизируя риск развития серьезных осложнений.

Участие авторов

Вишнякова М.В. (мл.) – написание текста, редактирование текста.

Санникова Л.А. – написание текста, сбор и обработка материалов.

Степанова Е.А. – редактирование текста.

Румянцев В.Б. – редактирование текста.

Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Authors' participation

Vishnyakova M.V. (Jr.) – text writing, text editing.

Sannikova L.A. – text writing, collecting and processing materials.

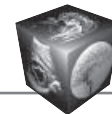
Stepanova E.A. – text editing.

Rumyantsev V.B. – text editing.

All authors made significant contributions to the research and preparation of the article, read and approved the final version of the article before publication.

Список литературы [References]

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. 424 с. https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=30171
State of Sanitary and Epidemiological well-being of the Population in the Russian Federation in 2024: State Report. M.: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor), 2025. 424 p. https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=30171 (In Russian)
2. Галявин А.В. Гидатидозный эхинококкоз печени и легких: диагностические и терапевтические аспекты. *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение*. 2024; 13 (3): 101–109. <https://doi.org/10.33029/2305-3496-2024-13-3-101-109>
Galyavin A.V. Hydatidous echinococcosis of the liver and lungs: diagnostic and therapeutic aspects. *Infeksionnye bolezni: novosti, mneniya, obuchenie = Infectious Diseases: News, Opinions, Training*. 2024; 13 (3): 101–109. <https://doi.org/10.33029/2305-3496-2024-13-3-101-109> (In Russian)
3. Wen H., Vuitton L., Tuxun T. et al. Echinococcosis: Advances in the 21st Century. *Clin. Microbiol. Rev.* 2019; 32: 10.1128/cmr.00075-18. <https://doi.org/10.1128/cmr.00075-18>
4. Alshoabi S.A., Alkalady A.H., Almas K.M. et al. Hydatid Disease: A Radiological Pictorial Review of a Great Neoplasms Mimicker. *Diagnostics*. 2023; 13 (6): 1127. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13061127>
5. Greco S., Cannella R., Giambelluca D. et al. Complications of hepatic echinococcosis: multimodality imaging approach. *Insights Imaging*. 2019; 10 (1): 113. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0805-8>
6. Alexiou K., Mitsos S., Fotopoulos A. et al. Complications of Hydatid Cysts of the Liver: Spiral Computed Tomography Findings. *Gastroenterol. Res.* 2012; 5 (4): 139–143. <https://doi.org/10.4021/gr460e>
7. Hormati A., Alemi F., Eshraghi M. et al. Trans-Diaphragmatic Rupture of Liver Hydatid Cyst in to the Pleural Cavity: A Case Report. *Arch. Clin. Infect. Dis.* 2020; 15 (1): e87675. <https://doi.org/10.5812/archcid.87675>
8. Yönder H., Elkan H. Management of a liver hydatid cyst patient who fistulized the diaphragm and subsequently presented with thorax rupture: a case report. *J. Cardiothorac. Surg.* 2024; 19: 596. <https://doi.org/10.1186/s13019-024-03066-2>
9. Önder R.O., Aslan S. Hepatic hydatid cyst ruptured from the transdiaphragmatic path to the pleural cavity. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 2023; 56: e0610. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0610-2022>
10. Badwaik N., Gharde P., Shinde R.K. et al. Hydatid Cyst or Echinococcosis: A Comprehensive Review of Transmission, Clinical Manifestations, Diagnosis, and Multidisciplinary Treatment. *Cureus*. 2024; 16 (7): e63713. <https://doi.org/10.7759/cureus.63713>
11. Calame P., Weck M., Busse-Cote A. et al. Role of the radiologist in the diagnosis and management of the two forms of hepatic echinococcosis. *Insights Imaging*. 2022; 13 (1): 68. <https://doi.org/10.1186/s13244-022-01190-y>
12. Степанова Ю.А., Гончаров А.Б., Чжао А.В. Ультразвуковая диагностика на этапах лечения эхинококкоза печени. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2022; 15 (3): 244–253. <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2022-15-3-244-253>
Stepanova Y.A., Goncharov A.B., Zhao A.V. Ultrasonic Diagnostics at the Stages of Liver Echinococcosis Treatment. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2022; 15 (3): 244–253. <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2022-15-3-244-253> (In Russian)
13. Бодня Е.И., Велиева Т.А. Инструментальная диагностика эхинококкоза печени. *Клиническая инфектология и паразитология*. 2014; 4 (11): 138–146.
Bodnya K., Veliyeva T. Instrumental diagnostics hepatic echinococcosis. *Clinical Infectology and Parasitology*. 2014; 4 (11): 138–146. (In Russian)



Для корреспонденции*: Вишнякова Марина Валентиновна – e-mail: cherridra@mail.ru

Вишнякова Марина Валентиновна – доктор мед. наук, руководитель отдела рентгенодиагностики, компьютерной и магнитно-резонансной томографии ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России; Профессор кафедры лучевой диагностики ФУВ ГБУЗ МО “МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3838-636X>

Санникова Людмила Александровна – ординатор кафедры лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0009-9802-3182>

Степанова Елена Александровна – руководитель отдела лучевой диагностики ГБУЗ МО “МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9037-0034>

Румянцев Вячеслав Борисович – врач хирургического отделения ФГКУ “Клинико-диагностический центр Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2363-0235>

Contact*: Marina V. Vishnyakova – e-mail: cherridra@mail.ru

Marina V. Vishnyakova – Doct. of Sci. (Med.), head of the X-ray, Computer and Magnetic Resonance Tomography Diagnostics Department, A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery; Professor of the Department of Radiology at the Faculty of Advanced Medical Studies M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3838-636X>

Lyudmila A. Sannikova – resident of radiology department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9802-3182>

Elena A. Stepanova – head of radiology department, M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9037-0034>

Vyacheslav B. Rumyantsev – surgeon of the surgical department, Clinical and Diagnostic Center of the General Headquarters of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2363-0235>



Контрастусиленное ультразвуковое исследование стабильно функционирующего почечного трансплантата. Пилотное исследование

© Ларионова С.Н.^{1*}, Белавина Н.И.², Ветшева Н.Н.³, Балтер Р.Б.¹

¹ ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; 443099 Самара, ул. Чапаевская, д. 89, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы «Московский клинический научно-исследовательский центр Больница 52 Департамента здравоохранения города Москвы»; 123182 Москва, ул. Пехотная, д.3, Российская Федерация

³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

Отсутствие стандартизированных протоколов и референсных значений количественных параметров контрастусиленного ультразвукового исследования (КУУЗИ) стабильно функционирующих почечных трансплантатов ограничивает клиническое применение метода.

Цель исследования: изучить количественные показатели КУУЗИ у реципиентов со стабильной функцией и отсутствием значимой патологии согласно протокольной нефробиопсии и сравнить межоператорскую воспроизводимость показателей.

Материал и методы. Проведено интервенционное проспективное исследование (01.10.2024 – 01.03.2025), в которое включили 23 пациента. Проводили КУУЗИ (Resona 7 (Mindray, КНР), конвексный датчик (1,2–6 МГц), контрастный препарат Соновью (Бракко, Италия)). Изучали параметры ТИС-кривой (кривая время–интенсивность) в: ROI₁ (область интереса) – кортикальный слой, ROI₂ – кора между пирамидками, ROI₃ – пирамидка, ROI₄ – объединение ROI₁, ROI₂ и ROI₃. Анализировали: наклон кривой поступления (AS); время от введения контрастного препарата до появления в ROI (AT), площадь под ТИС-кривой (AUC); наклон кривой вымывания (DS); среднюю интенсивность ТИС-кривой (mTIC); пиковую интенсивность (PI); время от поступления препарата в ROI до PI (RT); время от введения контрастного препарата до PI (TTP); площадь под ТИС-кривой от поступления препарата до PI (WiAUC); индекс перфузии (WiAUC/RT); площадь под ТИС-кривой периода вымывания (WoAUC). Анализ проводили с Contrast QA (Mindray). Для оценки межоператорской воспроизводимости рассчитывали коэффициенты внутриклассовой корреляции (ICC). Оценивали среднюю разность измерений и пределы согласованности (анализ Бланда–Альмана).

Результаты. Получены усредненные между операторами параметры ТИС-кривой в указанных ROI. Выявлена отличная и хорошая межоператорская воспроизводимость большинства параметров ТИС-кривой в ROI₁, умеренная воспроизводимость AS и DS (ICC 0,840 (0,662; 0,928) и 0,859 (0,697; 0,938)). В ROI₂ воспроизводимость варьировала от отличной до хорошей, умеренная воспроизводимость WiAUC (0,848 (0,678; 0,933)), RT (0,877 (0,733; 0,946)), WiAUC/RT (0,835 (0,628; 0,929)), AS (0,836 (0,653; 0,927)), DS (0,777 (0,537; 0,899)). В ROI₃ сильная межоператорская вариабельность WiAUC/RT (0,706 (0,418; 0,864)), AS 0,657 ((0,351; 0,838)) и DS 0,752 ((0,497; 0,887)). Результаты анализа в ROI₄ были сопоставимы с ROI₁.

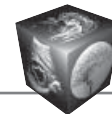
Выводы. Настоящее исследование является необходимым этапом стандартизации КУУЗИ почечного трансплантата. Впервые рассчитаны количественные характеристики КУУЗИ стабильно функционирующего аллографта без значимой патологии по данным протокольной нефробиопсии. Низкая межоператорская вариабельность определяет перспективу клинического применения отношений абсолютных параметров ТИС-кривой в норме и при дисфункции трансплантата при использовании ультразвукового оборудования различных производителей.

Ключевые слова: контрастусиленное ультразвуковое исследование; почечный трансплантат; анализ ТИС-кривой; межоператорская воспроизводимость; протокольная нефробиопсия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Ларионова С.Н., Белавина Н.И., Ветшева Н.Н., Балтер Р.Б. Контрастусиленное ультразвуковое исследование стабильно функционирующего почечного трансплантата. Пилотное исследование. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 76–88. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1588>

Поступила в редакцию: 17.07.2025. **Принята к печати:** 07.08.2025. **Опубликована online:** 12.12.2026.



Contrast-enhanced ultrasound examination of a stable functioning renal transplant. Pilot study

© Svetlana N. Larionova^{1*}, Natalya I. Belavina², Natalya N. Vetsheva³, Regina B. Balter¹

¹ Samara State Medical University; 89, Chapaevskaya str., Samara 443099, Russian Federation

² Moscow Clinical Science and Research Center 52 of Moscow Healthcare Department; 3, Pekhotnaya str., Moscow 123182, Russian Federation

³ 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

Objective. The lack of standardized protocols and reference values for quantitative parameters in contrast-enhanced ultrasound (CEUS) of stable functioning renal transplants limits its clinical application. This study aimed to analyze CEUS quantitative parameters in recipients with stable graft function and no significant pathology on protocol biopsy, as well as to assess inter-operator reproducibility.

Materials and Methods. An interventional prospective study was conducted (October 1, 2024 – March 1, 2025). 23 patients were enrolled. CEUS was performed by Resona 7 system (Mindray, China) with a convex probe (1.2–6 MHz) and SonoVue contrast agent (Bracco, Italy). Time-intensity curve (TIC) parameters were analyzed in: ROI₁ (region of interest): cortex, ROI₂: cortex between pyramids (renal columns), ROI₃: pyramids, ROI₄: combined ROI₁+ROI₂+ROI₃. Parameters assessed: Ascending Slope (AS), Arrival Time (AT), Area Under the TIC Curve (AUC), Descending Slope (DS), mean TIC intensity (mTIC), Peak Intensity (PI), Rise Time (RT), Time-to-Peak (TTP), Wash-in Area Under the Curve (WiAUC), Perfusion Index (WiAUC/RT), Wash-out AUC (WoAUC). Analysis was performed using Contrast QA software (Mindray). Inter-operator reproducibility was evaluated via intraclass correlation coefficients (ICC) and Bland-Altman analysis (mean difference, limits of agreement).

Results. Mean TIC parameters (averaged between operators) were obtained for all ROIs. ROI₁: excellent/good reproducibility for most parameters; moderate reproducibility for AS and DS (ICC 0.840 [0.662; 0.928] and 0.859 [0.697; 0.938]). ROI₂: Excellent to good reproducibility; moderate for WiAUC (0.848 [0.678; 0.933]), RT (0.877 [0.733; 0.946]), WiAUC/RT (0.835 [0.628; 0.929]), AS (0.836 [0.653; 0.927]), and DS (0.777 [0.537; 0.899]). ROI₃: Higher variability for WiAUC/RT (0.706 [0.418; 0.864]), AS (0.657 [0.351; 0.838]), and DS (0.752 [0.497; 0.887]). ROI₄: Results comparable to ROI₁.

Conclusion. This study is a crucial step toward standardizing CEUS for renal transplants. It establishes the first quantitative CEUS benchmarks for stable allografts without significant pathology on protocol biopsy. The low inter-operator variability supports the clinical feasibility of using absolute TIC parameters (comparison of normal vs dysfunctional grafts) across different ultrasound systems.

Keywords: Contrast-Enhanced Ultrasound; renal transplant; TIC-analysis; inter-operator reproducibility; protocol nephrobiopsy

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

For citation: Larionova S.N., Belavina N.I., Vetsheva N.N., Balter R.B. Contrast-enhanced ultrasound examination of a stable functioning renal transplant. Pilot study. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 76–88. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1588>

Received: 17.07.2025.

Accepted for publication: 07.08.2025.

Published online: 12.12.2026.

Список сокращений

АТП – аллотрансплантация почки
ЗПТ – заместительная почечная терапия
ИМТ – индекс массы тела
КП – контрастный препарат
КУУЗИ – контрастусиленное ультразвуковое исследование/ультразвуковое исследование с контрастным усилением
ПТ – почечный трансплантат
ТПН – терминальная почечная недостаточность
УЗИ – ультразвуковое исследование
ЦДК – цветное доплеровское картирование
AS (Ascending Time) – наклон кривой поступления

AT (Arrival Time) – время от момента введения КП до его появления в зоне интереса
AUC (Area Under Curve) – площадь под TIC-кривой
DS (Descending Slope) – наклон кривой вымывания
ICC (interclass correlation) – коэффициент внутри-классовой корреляции
mTIC (mean intensity of the Time Intensity Curve) – средняя интенсивность TIC-кривой
PI (Peak Intensity) – пиковая интенсивность
ROI (Region Of Interest) – зона интереса
RT (Wash-in-Time (WiT)) – время от поступления контраста в зону интереса до достижения пиковой интенсивности, RT = TTP – AT



TIC-кривая (Time Intensity Curve) – кривая зависимости интенсивности от времени

TTP (Time to Peak) – время от момента введения КП до момента, когда интенсивность контрастирования достигает максимального значения

WiAUC (Wash-in AUC) – площадь под TIC-кривой от момента поступления КП до достижения пиковой интенсивности контрастирования

WiAUC/RT (Perfusion Index) – индекс перфузии

WoAUC (Wash-out AUC) – площадь под TIC-кривой периода вымывания КП

Актуальность

Аллотрансплантация почки (АТП) является оптимальным методом заместительной почечной терапии (ЗПТ) у пациентов с терминальной почечной недостаточностью (ТПН) [1]. Своевременное выявление причин нарушения стабильного функционирования почечного трансплантата (ПТ) во многом определяет долгосрочную перспективу выживаемости аллографта. В настоящий момент критериальным стандартом диагностики причин дисфункции ПТ признана нефробиопсия, от результатов патоморфологического исследования зависит лечебная стратегия. Биопсия ПТ достаточно безопасна, но, будучи инвазивной процедурой, может привести к ряду серьезных осложнений, таких как кровотечение, формирование артериовенозных фистул и псевдоаневризм, не может выступать в роли инструмента постоянного мониторинга функциональных изменений трансплантата [2]. Неравномерность распределения патологических процессов в ПТ, невозможность многократных биопсий или немедленного проведения их у пациентов, получающих антикоагулянтную терапию, являются дополнительным аргументом в пользу поиска альтернативных методов диагностики причин дисфункции ПТ. Контрастусиленное ультразвуковое исследование (КУУЗИ) обладает высоким профилем безопасности, однако возможности метода до конца не определены, нет общепринятых референсных значений количественных параметров КУУЗИ стабильно функционирующего ПТ, диагностический потенциал метода у пациентов с паренхиматозными поражениями аллографта не ясен. Отсутствие стандартизированных протоколов проведения КУУЗИ ПТ затрудняет сравнительный анализ результатов научных исследований и ограничивает клиническое применение метода.

Цель исследования: изучить качественные характеристики и количественные показатели КУУЗИ ПТ у реципиентов со стабильной функцией аллографта и отсутствием значимой патологии по данным протокольной нефробиопсии и сравнить межоператорскую воспроизводимость и сопоста-

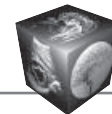
вимость полученных количественных показателей КУУЗИ ПТ.

Материал и методы

Работа выполнена в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [3]. Исследование проведено на базе клиник Самарского государственного университета (Самара) и ГБУЗ “Московский клинический научно-исследовательский центр Больница № 52” ДЗМ (Москва). Продолжительность исследования с 01.10.2024 по 01.03.2025. Срок наблюдения пациентов определялся периодом их госпитализации.

Критерии включения: 1) стабильная функция ПТ. В качестве критериев стабильности принимали наличие следующих условий: а – уровень сывороточного креатинина (СКр) не более 120 мкмоль/л на момент включения пациента в исследование и отсутствие его повышения на 20 мкмоль/л и более в течение 3 предшествующих месяцев; б – отсутствие значимой протеинурии (показатели суточной протеинурии не более 0,4 г/л) на момент включения пациента и в течение 3 предшествующих месяцев; 2) отсутствие значимой патологии согласно результатам протокольной пункционной биопсии ПТ, проведенной в рамках срока наблюдения (интерстициальный фиброз и тубулярная атрофия не более 1-й степени (не >20%), гломерулосклероз не >10 %, отсутствие значимого артериосклероза (сужение просвета не >25%), отсутствие признаков тромботической микроангиопатии любой степени давности и тяжести, отсутствие любых признаков активности (гломерулярная гиперклеточность, полулуния, тубулоинтерстициальное воспаление любого характера)); 3) удовлетворительная визуализация в В-режиме при УЗИ ПТ; 4) информированное согласие пациента на участие в исследовании.

Критерии не включения: 1) сахарный диабет как причина развития ТПН, посттрансплантационный сахарный диабет; 2) активный пиелонефрит ПТ; 3) обструкция мочевыводящей системы; 4) наличие периренальных скоплений жидкости с признаками компрессии сосудистого пучка ПТ; 5) верифицированный стеноз почечной артерии трансплантата; 6) острый период инфаркта миокарда или острая декомпенсация хронической сердечной недостаточности; 7) высокая легочная гипертензия (систолическое давление в легочной артерии ≥ 80 мм рт.ст. по данным трансторакальной эхокардиографии); 8) врожденный порок сердца с шунтированием кровотока справа-налево; 9) наличие онкологического заболевания, требующего противоопухолевого лечения в период на-



блюдения; 10) возраст менее 18 лет; 11) беременность или лактация.

Критерии исключения: 1) неудовлетворительное качество полученных результатов КУУЗИ; 2) отказ пациента от участия в исследовании на любом его этапе.

Дизайн исследования

Проведено пилотное многоцентровое интервенционное проспективное исследование. С целью соблюдения критериев соответствия осуществляли: сбор анамнестических данных, анализ медицинской документации, анализ результатов протокольных биопсий, лабораторных исследований (уровня СКр крови и суточной протеинурии (биохимический анализатор Cobas Integra 400 Plus)), проводили комплексное УЗИ ПТ (Resona 7 (Mindray, КНР)). В рамках исследования в качестве независимых переменных изучали следующие параметры/признаки: 1. Демографические и антропометрические: пол, возраст, индекс массы тела (ИМТ); расчет ИМТ проводили по формуле: $ИМТ (кг/м^2) = m/h^2$, где: m – масса тела в килограммах, h – рост в метрах; 2. Ассоциированные с наличием хронической болезни почек: причина ТПН, продолжительность и вид ЗПТ до АТП; 3. Ассоциированные с АТП: первичная/повторная АТП, немедленная/отсроченная функция ПТ, время от АТП до включения в исследование. В качестве референсного теста принимали результаты протокольных биопсий ПТ.

Описание медицинского вмешательства

Пациентам когорты наблюдения проводили КУУЗИ ПТ с анализом качественных характеристик и количественным анализом кривой время/интенсивность (TIC-кривой). КУУЗИ ПТ проводили на ультразвуковом сканере Resona 7 (Mindray, КНР) конвексным датчиком, диапазон частот 1,2–6 МГц. До начала введения контрастного препарата оптимизировали изображение сагиттального среза ПТ в В-режиме. Контрастный препарат (КП) на основе гексафторида серы (Соновью; Врассо, Италия) вводили одним болюсом ($\approx 1,5$ мл) через внутривенную канюлю 20-го калибра, установленную в кубитальную вену, с последующим болюсным введением 5 мл физиологического раствора. В случае функционирования артериовенозной фистулы устанавливали канюлю на контралатеральной стороне. Кинопетлю записывали в течение 300 с от начала инъекции при неподвижном положении датчика и пациента и минимальном давлении датчика на кожу пациента. Количественный анализ выполняли с помощью программного обеспечения Contrast QA ультразвукового сканера

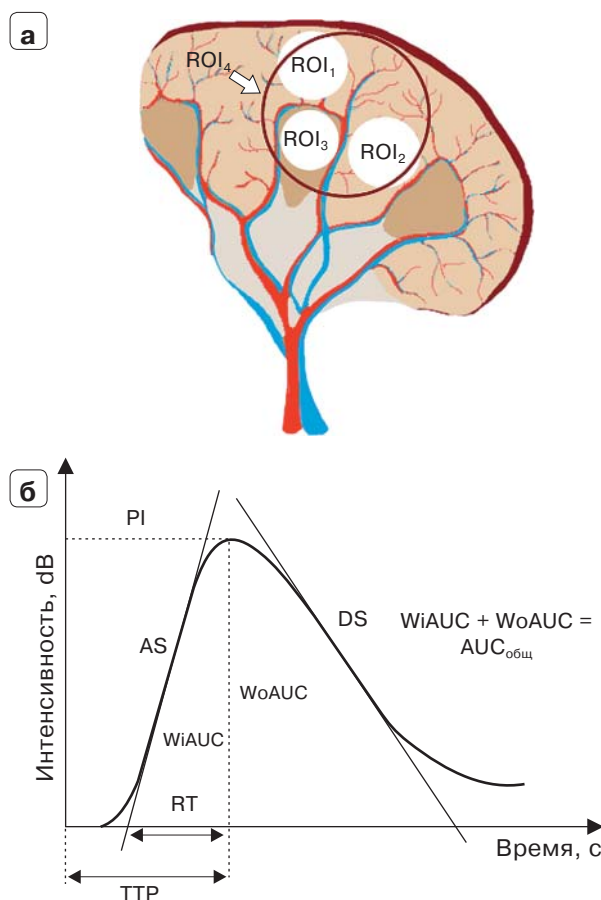


Рис. 1. а – расположение зон интереса (ROI) в паренхиме ПТ согласно дизайну исследования (схема); **б** – TIC-кривая с обозначением анализируемых в исследовании параметров (схема). Пояснения в тексте.

Fig. 1. а – location of ROI (zones of interest) in the renal allograft's parenchyma according to the study design (diagram); **б** – TIC curve with designation of the analyzed parameters (diagram). Explanations in the text.

Resona 7 (Mindray). Зоны интереса (ROI) располагали следующим образом: ROI₁ – в область *cortex* (кортикальный слой почечной паренхимы), ROI₂ – в область *columnae renales* (участки коры между пирамидками), ROI₃ – в область пирамидки, ROI₄ – в паренхиме, объединяя *cortex*, участок коры между пирамидками и пирамидку (рис. 1а). Форму ROI устанавливали в виде окружности, диаметр ROI_{1–3} определялся морфометрическими особенностями паренхимы конкретного ПТ и варьировал от 3,5 до 5 мм, диаметр ROI₄ составил 9–10 мм. ROI_{1–3} располагали в паренхиме, избегая попадания в зону междолевых сосудов (артерий и вен). В каждой зоне интереса получали TIC-кривые в режиме QOF (Quality of Fit, режим, сглаживающий осцилляции кривой) для последующего анализа параметров (рис. 1б).



Анализировали количественные параметры: AS (Ascending Time) – наклон кривой поступления; AT (Arrival Time) – время от момента введения КП до появления в зоне интереса, AUC (Area Under Curve) – площадь под TIC-кривой; DS (Descending Slope) – наклон кривой вымывания; mTIC (mean intensity of the Time Intensity Curve) – средняя интенсивность TIC-кривой; PI (Peak Intensity) – пиковая интенсивность; RT (Wash-in-Time (WiT) или Rise Time) – время от поступления КП в зону интереса до достижения PI, $RT = TTP - AT$; TTP (Time to Peak) – время от момента введения КП до момента, когда интенсивность контрастирования достигает максимального значения; WiAUC (Wash-in AUC) – площадь под TIC-кривой от момента поступления КП до достижения PI контрастирования; WiAUC/RT (Perfusion Index) – индекс перфузии; WoAUC (Wash-out AUC) – площадь под TIC-кривой периода вымывания КП.

Проводили анализ межоператорской воспроизводимости. Выбор зон интереса (ROI) в соответствии с протоколом исследования и последующий количественный анализ TIC-кривой в режиме постпроцессинга осуществляли два опытных врача ультразвуковой диагностики (стаж более 20 лет) в разных медицинских учреждениях. Первый анализ проводили непосредственно после получения данных КУУЗИ ПТ (первый оператор), второй анализ – в течение последующего месяца (второй оператор). Результаты ранее проведенного анализа не сообщались. Оценку межоператорской воспроизводимости осуществлял независимый эксперт в рамках статистической обработки полученных данных.

Статистический анализ

Статистический анализ осуществляли с использованием пакета прикладных программ SPSS Statistics 21 (IMB, USA). Характер распределения вариационного ряда оценивали по критерию Колмогорова–Смирнова. Переменные, подчиняющиеся нормальному закону распределения, представляли в виде средних значений и стандартных отклонений ($M \pm SD$), для переменных с распределением, отличным от нормального, вычисляли медиану и интерквартильный размах (Me – медиана, ИКР – интерквартильный размах: [25-й процентиль; 75-й процентиль]). Категориальные переменные отражали в числовых значениях (процентах). Для оценки воспроизводимости двух операторов рассчитывали коэффициенты внутриклассовой корреляции (interclass correlation, ICC) и их 95% доверительные интервалы (CI) для каждого признака, модель двухфакторная случайная, тип

абсолютного согласия. Значения ICC интерпретировали следующим образом: плохая воспроизводимость при $ICC < 0,5$, умеренная воспроизводимость при $0,5 < ICC < 0,75$, хорошая воспроизводимость ($0,75 < ICC < 0,9$), отличная воспроизводимость ($ICC > 0,9$) [4]. Среднюю разность измерений и пределы согласованности оценивали с помощью анализа Бланда–Альтмана. Изменения считали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено комитетом по биоэтике Самарского государственного медицинского университета (протокол № 235 от 29.09.2023).

Результаты исследования

Объекты (участники) исследования

В исследование включено 23 пациента. Возраст пациентов варьировал от 23 до 54 лет, Me 43 [38; 46] года, женщины составляли 73,9%. Показатели азотовыделительной функции: скорость клубочковой фильтрации – 75 [58; 111] мл/мин/1,73 м², СКр – 90 [68; 107] мкмоль/л. Суточная протеинурия 0,15 г/л выявлена у одного пациента из общей когорты наблюдения. Показатели ИМТ варьировали от 16,7 до 37,6 кг/м², Me ИМТ – 23,6 [19,5; 28,2] кг/м², 3 (13%) человека страдали ожирением ($ИМТ \geq 30$ кг/м²), 3 (13%) – дефицитом массы тела ($ИМТ < 18,5$ кг/м²). Распределение нозологий, ставших причиной развития ТПН у пациентов когорты наблюдения, представлено на рис. 2, наиболее частой причиной был хронический гломерулонефрит.

Длительность ЗПТ до АТП варьировала от 7 до 92 мес, Me 30 [16; 35] мес. 16 (69,6 %) пациентов получали лечение программным гемодиализом, 5 (21,7 %) – перитонеальным диализом, у 2 (8,7%) проведена преэмпттивная трансплантация почки. У всех реципиентов наблюдалась немедленная функция трансплантатов. У одного пациента была повторная АТП. Время от АТП до включения в исследование составило 39 [16; 66] мес, на момент наблюдения все пациенты получали трехкомпонентную иммуносупрессивную терапию. У 11 (47,8%) пациентов был установлен диагноз артериальной гипертензии (во всех случаях она была медикаментозно контролируемая), диагноз ишемической болезни сердца был установлен у 1 (4,3%) пациента, 2 (8,7 %) пациента имели диагноз сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка, у 1 (4,3 %) в анамнезе было онкологическое заболевание (в стадии ремиссии).

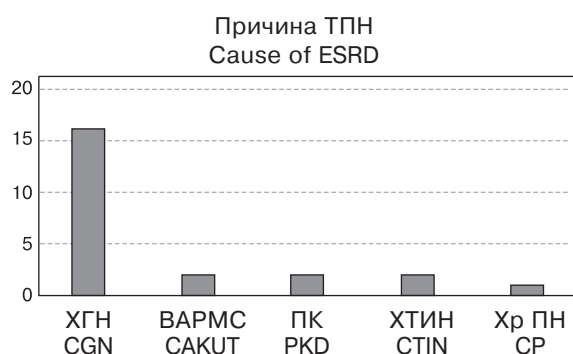
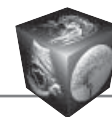


Рис. 2. Распределений нозологий – причин развития ТПН. ХГН – хронический гломерулонефрит (16 пациентов), ВАРМС – врожденная аномалия развития мочевыделительной системы (2), ПК – поликистозная болезнь почек (2), ХТИН – хронический тубулоинтерстициальный нефрит (2), ХрПН – хронический пиелонефрит (1).

Fig. 2. Distribution of underlying diseases causing end-stage renal disease (ESRD). CGN – chronic glomerulonephritis (16 patients), CAKUT – congenital anomalies of kidney and urinary tract (2), PKD – polycystic kidney disease (2), CTIN – chronic tubulointerstitial nephritis (2), CP – chronic pyelonephritis (1).

Результаты КУУЗИ

Качественный анализ КУУЗИ не выявил дефектов контрастирования, у всех пациентов наблюдалось интенсивное равномерное контрастирование паренхимы ПТ. На рис. 3 представлены результаты КУУЗИ ПТ одного из реципиентов в период поступления КП в ПТ: 3а – ранняя артериальная фаза (16 с после введения КП), 3б – кортикальная фаза, другое название “ранняя паренхиматозная” (18 с после введения КП), 3в – паренхиматозная фаза (25 с после введения КП), а также кривая время–интенсивность (TIC-кривая), расположение ROI согласно протоколу исследования.

Согласно дизайну исследования, в режиме постпроцессинга проводили количественный анализ параметров TIC-кривой с последующим анализом межоператорской воспроизводимости. Результаты количественного анализа параметров TIC-

кривой когорты наблюдения в виде усредненных между операторами значений (Me [ИКР]) представлены в табл. 1.

Графическое представление определения двумя операторами ряда параметров (средние величины, 95% CI) продемонстрировано в виде лесовидных диаграмм (forest plot) на рис. 4 (по горизонтали (X) указаны количественные значения M, 95% CI, по вертикали (Y) перечислены области интереса (ROI₁₋₄)). Пересечение доверительных интервалов указывает на высокую воспроизводимость полученных значений.

В качестве графического инструмента оценки согласия между измерениями, полученными двумя операторами, использовали метод Бланда–Альтмана. Графики Бланда–Альтмана (Bland–Altman plot) для ряда показателей, измеренных в ROI₁₋₄ представлены на рис. 5.

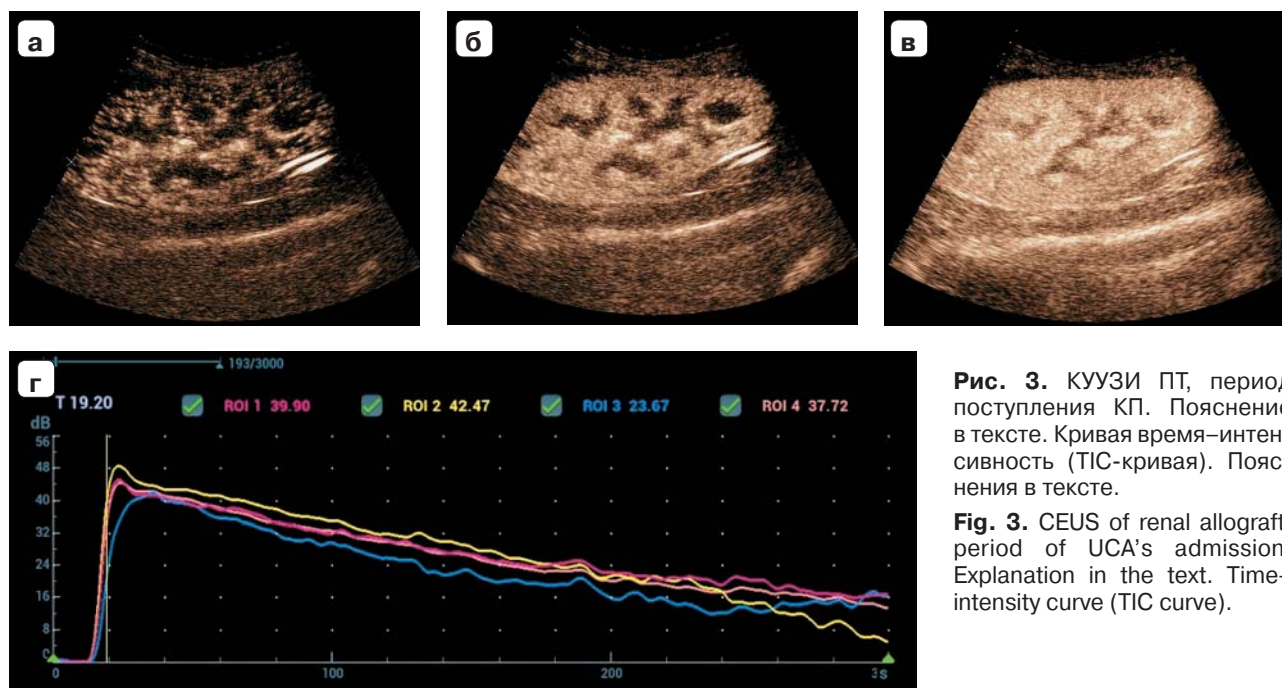


Рис. 3. КУУЗИ ПТ, период поступления КП. Пояснение в тексте. Кривая время–интенсивность (TIC-кривая). Пояснения в тексте.

Fig. 3. CEUS of renal allograft, period of UCA's admission. Explanation in the text. Time–intensity curve (TIC curve).



Таблица 1. Усредненные между операторами параметры ТИС-кривой у пациентов со стабильно функционирующим ПТ
Table 1. TIC curve parameters in patients with stable function averaged between operators

Параметр	ROI ₁	ROI ₂	ROI ₃	ROI ₄
mTIC, дБ	25.43 [22.32; 30.34]	27.74 [23.16; 32.75]	24.09 [22.48; 30.85]	25.73 [21.61; 29.94]
PI, дБ	47.72 [43.66; 53.98]	50.98 [47.32; 53.73]	43.46 [41.06; 47.87]	46.29 [42.91; 48.73]
AUC	7621.5 [6635.5; 9113.0]	8221.0 [6920.5; 9696.5]	7157.5 [6605.5; 9294.0]	7725.5 [6492.5; 9138.5]
AT, с	11.75 [9.05; 15.00]	11.55 [8.90; 14.75]	12.65 [9.85; 15.65]	11.95 [9.05; 14.85]
WiAUC	307.5 [260.0; 369.0]	343.5 [290.0; 388.0]	476.5 [384.5; 591.0]	349.0 [293.0; 392.5]
RT, с	9.50 [8.55; 10.20]	9.85 [8.60; 10.70]	15.25 [13.55; 16.85]	11.15 [9.75; 12.15]
WiAUC/RT	31.35 [29.10; 35.45]	34.60 [32.45; 35.95]	31.00 [28.80; 32.70]	31.45 [29.00; 34.10]
TTP, с	20.45 [18.60; 24.95]	21.25 [18.40; 24.90]	27.10 [25.25; 31.75]	22.65 [20.00; 26.30]
WoAUC	7310.0 [6434.5; 8730.5]	7922.5 [6608.5; 9353.0]	6739.5 [6154.0; 8727.5]	7375.5 [6139.5; 8752.0]
AS, дБ/с	4.83 [4.42; 5.46]	4.85 [4.54; 5.46]	2.67 [2.33; 3.00]	4.02 [3.57; 4.44]
DS, дБ/с	0.12 [0.11; 0.14]	0.12 [0.11; 0.15]	0.11 [0.09; 0.12]	0.12 [0.11; 0.13]

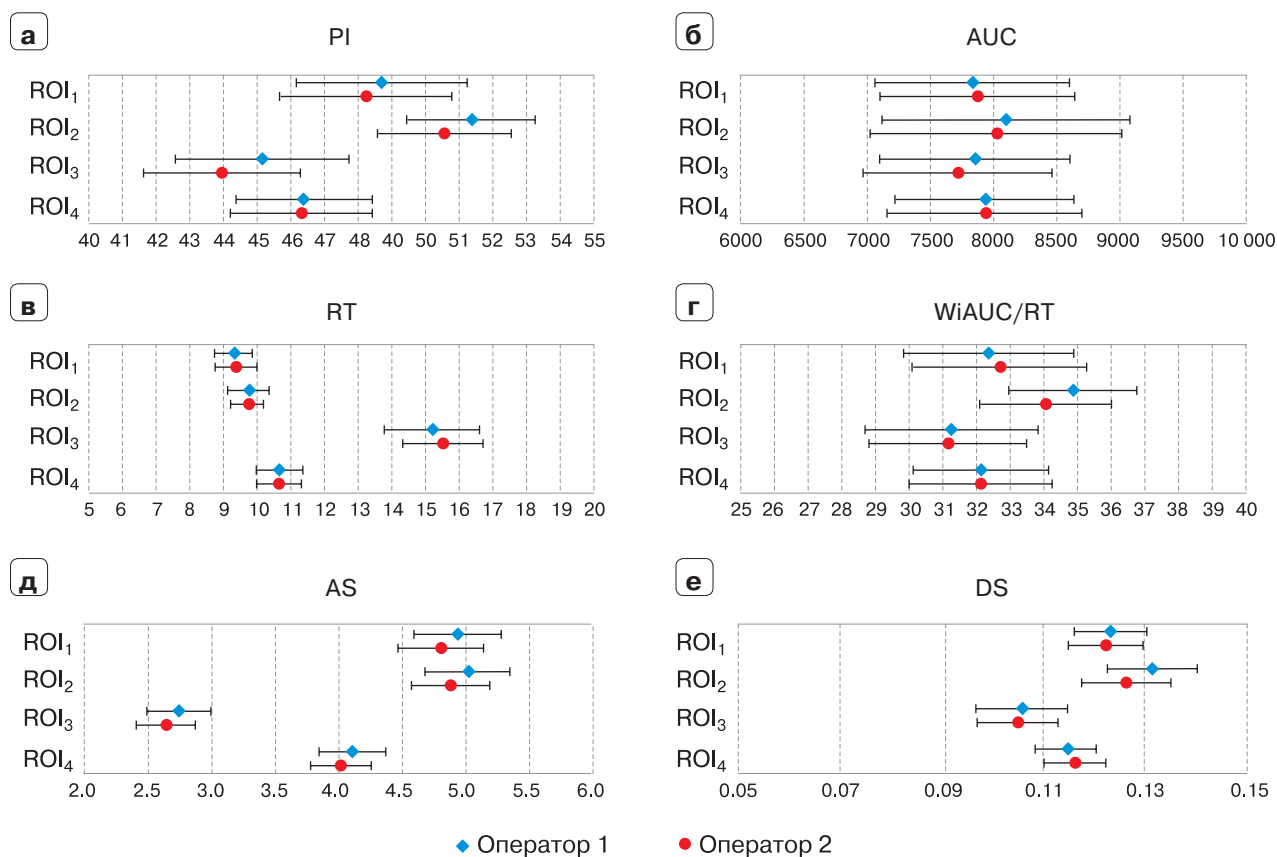


Рис. 4. Лесовидные диаграммы межоператорской воспроизводимости.

а – показатель PI (пиковой интенсивности) в ROI₁₋₄ (среднее, 95% CI); **б** – показатель AUC (площади под кривой поступления) в ROI₁₋₄ (среднее, 95% CI); **в** – показатель RT (времени поступления) в ROI₁₋₄ (среднее, 95% CI); **г** – показатель WiAUC/RT в ROI₁₋₄ (среднее, 95% CI); **д** – показатель AS (наклона кривой поступления) в ROI₁₋₄ (среднее, 95% CI); **е** – показатель DS (наклона кривой вымывания) в ROI₁₋₄ (среднее, 95% CI).

Fig. 4. Diagrams of an inter-operator reproducibility.

а – of PI (peak intensity) in ROI₁₋₄ (mean, 95% CI); **б** – of AUC (area under the curve) in ROI₁₋₄ (mean, 95% CI); **в** – of RT (Rise Time) in ROI₁₋₄ (mean, 95% CI); **г** – of WiAUC/RT in ROI₁₋₄ (mean, 95% CI); **д** – of AS (Ascending slop) in ROI₁₋₄ (mean, 95% CI); **е** – of DS (Descending Slop) in ROI₁₋₄ (mean, 95% CI).

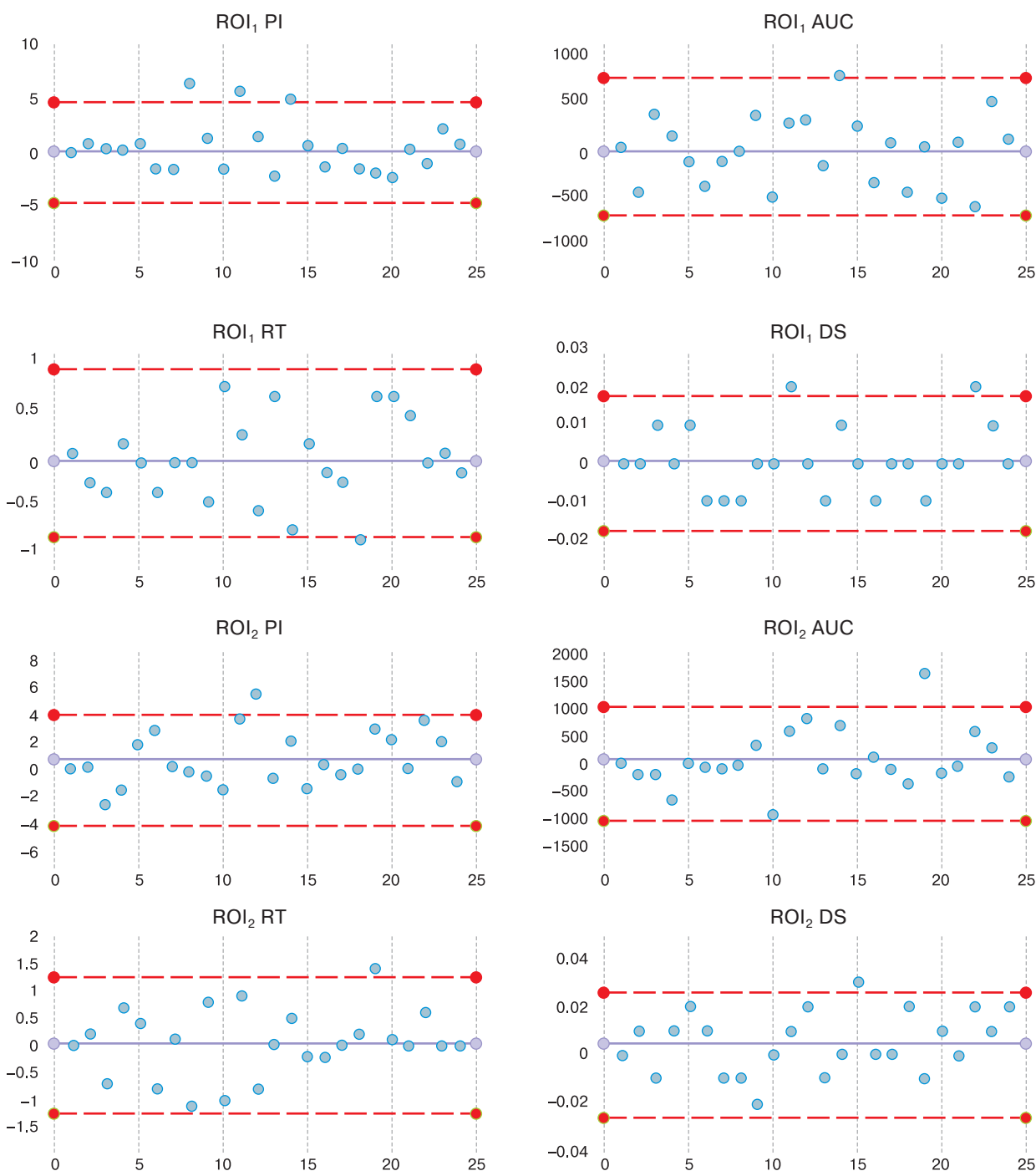
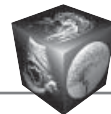


Рис. 5. Графики Бланда–Альмана для показателей PI, AUC, RT, WiAUC/RT, AS, DS в ROI₁₋₄. По горизонтали (X): среднее значение двух измерений для каждого случая (измерение оператора 1 + измерение оператора 2)/2, по вертикали (Y): разница между измерениями (измерение 1 – измерение 2). Каждая точка представляет один случай (пациент). Центральная линия (~на уровне Y = 0) обозначает среднюю разницу (систематическое смещение). Штриховые горизонтальные линии по обе стороны от систематического смещения обозначают пределы согласия, показывающие диапазон, в котором лежит 95% разницы.

Fig. 5. Bland–Altman plots for PI, AUC, RT, WiAUC/RT, AS, and DS in ROI₁₋₄. The horizontal axis (X) represents the mean of the two measurements for each case ((Measurement by Operator 1 + Measurement by Operator 2)/2), while the vertical axis (Y) shows the difference between the measurements (Measurement 1 – Measurement 2). Each dot represents a single case (patient). The central line (~at Y = 0) indicates the mean difference (systematic bias). The dashed horizontal lines on either side of the systematic bias represent the limits of agreement, showing the range within which 95% of the differences lie.

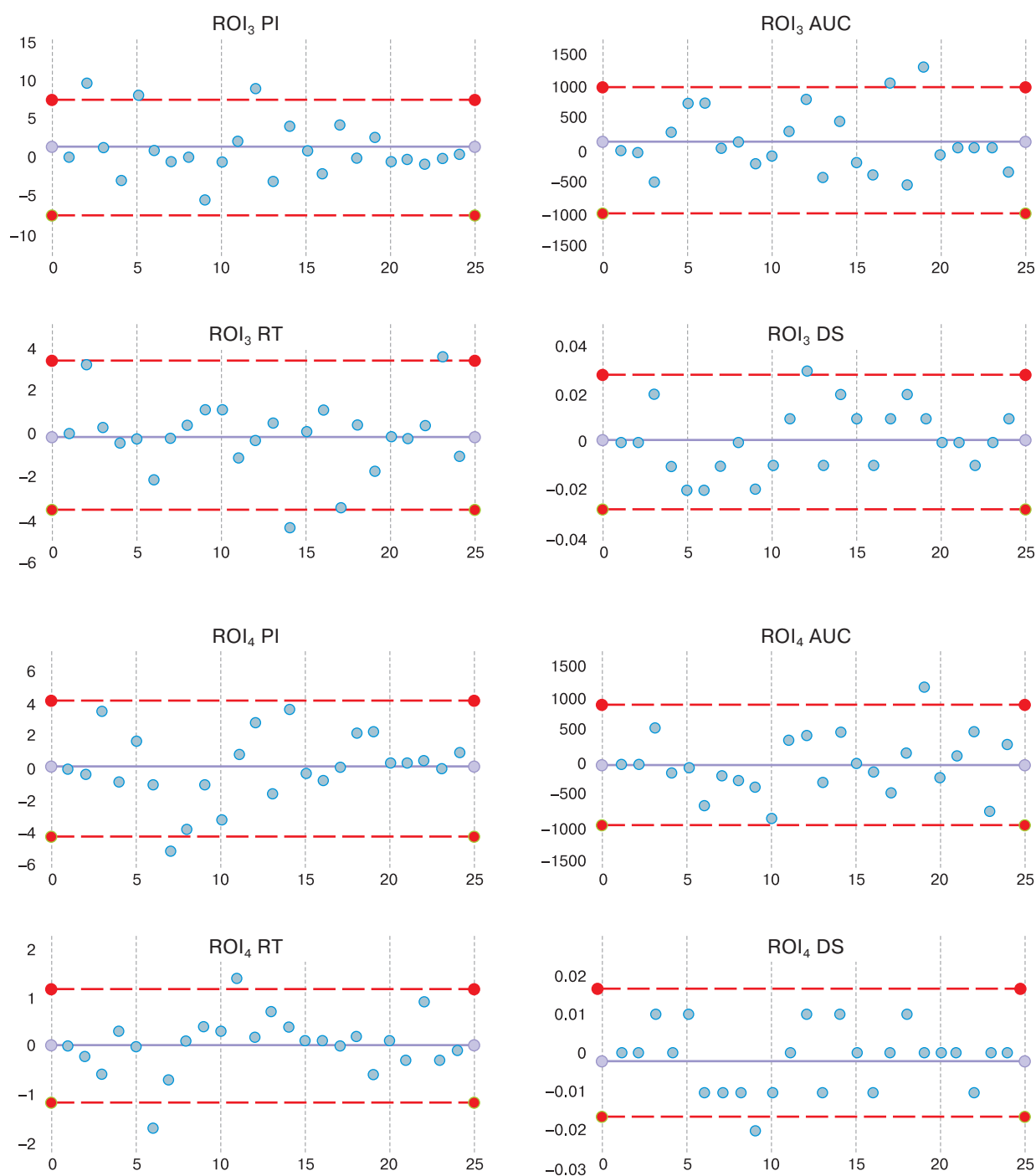
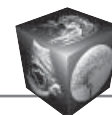


Рис. 5 (окончание).

Fig. 5 (end).

**Таблица 2.** Анализ межоператорской воспроизводимости (ICC)**Table 2.** The analysis of an interoperator reproducibility (ICC)

	mTiC	PI	AUC	AT	WiAUC	RT	WiAUC/RT	TTP	WoAUC	AS	DS
ROI ₁	0.981 (0.956; 0.992)	0.917 (0.817; 0.964)	0.979 (0.952; 0.991)	0.999 (0.998; 1.000)	0.950 (0.887; 0.978)	0.947 (0.880; 0.977)	0.893 (0.766; 0.953)	0.995 (0.988; 0.998)	0.982 (0.957; 0.992)	0.840 (0.662; 0.928)	0.859 (0.697; 0.938)
ROI ₂	0.956 (0.900; 0.981)	0.887 (0.745; 0.951)	0.973 (0.939; 0.989)	0.994 (0.985; 0.997)	0.848 (0.678; 0.933)	0.877 (0.733; 0.946)	0.835 (0.628; 0.929)	0.992 (0.982; 0.997)	0.934 (0.853; 0.971)	0.836 (0.653; 0.927)	0.777 (0.537; 0.899)
ROI ₃	0.933 (0.848; 0.971)	0.771 (0.536; 0.895)	0.957 (0.902; 0.981)	0.992 (0.982; 0.997)	0.857 (0.694; 0.936)	0.825 (0.631; 0.922)	0.706 (0.418; 0.864)	0.801 (0.586; 0.911)	0.948 (0.884; 0.978)	0.657 (0.351; 0.838)	0.752 (0.497; 0.887)
ROI ₄	0.960 (0.908; 0.983)	0.900 (0.780; 0.957)	0.964 (0.918; 0.985)	0.997 (0.992; 0.999)	0.921 (0.823; 0.966)	0.929 (0.840; 0.969)	0.911 (0.801; 0.961)	0.990 (0.978; 0.996)	0.970 (0.932; 0.987)	0.825 (0.635; 0.921)	0.820 (0.626; 0.919)

Примечание. Результаты представлены как Ме (95% CI), $p < 0,001$.

Результаты анализа межоператорской воспроизводимости с определением коэффициентов внутриклассовой корреляции (ICC) и их 95% доверительные интервалы (CI) для каждого признака продемонстрированы в табл. 2.

Согласно результатам анализа межоператорской воспроизводимости, выявлена отличная и хорошая воспроизводимость большинства параметров TIC-кривой в ROI₁, отмечалась умеренная воспроизводимость AS и DS (0,840 (0,662; 0,928) и 0,859 (0,697; 0,938) соответственно). Результаты межоператорской воспроизводимости показателей в ROI₂ варьировали от отличной до хорошей, умеренная воспроизводимость определена при расчете WiAUC (0,848 (0,678; 0,933)), RT (0,877 (0,733; 0,946)), WiAUC/RT (0,835 (0,628; 0,929)), AS (0,836 (0,653; 0,927)) и DS (0,777 (0,537; 0,899)). При оценке межоператорской воспроизводимости показателей TIC-кривой области пирамидок (ROI₃) выявлена сильная межоператорская вариабельность при определении параметров WiAUC/RT (0,706 (0,418; 0,864)), AS 0,657 ((0,351; 0,838)) и DS 0,752 ((0,497; 0,887)). Результаты анализа в ROI₄ были сопоставимы с ROI₁, т.е. продемонстрировали высокий уровень межоператорской воспроизводимости.

Обсуждение

КУУЗИ является уникальной неинвазивной методикой, которая позволяет изучать перфузию аллогraftа с помощью специальных КП. Ультразвуковые КП признаны самыми безопасными из существующих фармакологических средств, используемых для проведения контрастных исследований. Для реципиентов ПТ наиболее актуальным является отсутствие у них нефротоксичес-

кого эффекта. Так, гистологическая оценка почечной ткани животных моделей после проведения экспериментальных серий КУУЗИ не выявила повреждающего действия КП на почечную паренхиму [5]. КП Соновью представляет собой суспензию микропузырьков гексафторида серы, окруженных фосфолипидной оболочкой. Размер микропузырьков сопоставим с размерами эритроцитов (1–11 мкм), благодаря чему становится возможным контрастирование капилляров. Длительное сохранение микропузырьков обеспечивается низким механическим индексом. Визуальную оценку интенсивности и равномерности распределения КП в органе и выявление дефектов контрастирования проводит оператор в режиме реального времени, при необходимости возможен анализ записи кинопетли. TIC-анализ позволяет количественно охарактеризовать кинетику контрастирования определенной зоны (так называемой зоны интереса (ROI)) в режиме постпроцессинга. Размер и расположение этой зоны выбирает оператор, исходя из поставленной задачи, количественный анализ параметров TIC-кривой осуществляется с помощью программного обеспечения ультразвукового аппарата [6].

Представленное пилотное исследование – первая в отечественной практике работа по изучению количественных параметров КУУЗИ и межоператорской воспроизводимости полученных данных у пациентов со стабильно функционирующими ПТ и отсутствием значимой патологии по данным протокольной нефробиопсии. К настоящему времени существует ряд исследований, в которых авторы проводят анализ количественных показателей КУУЗИ стабильно функционирующих ПТ и аллогraftов с дисфункцией [7–9]. Однако от-



сутствие стандартизированного подхода к проведению исследования и общепринятых референсных значений количественных параметров КУУЗИ ограничивает сравнительный анализ результатов исследований и их практическое применение. Работ, в которых изучаются подходы к стандартизации КУУЗИ ПТ, немного. S. Friedl и соавт. [10] проводили сравнительный анализ параметров ТИС-кривых, полученных в ROI различных размеров (5 мм, 10 мм и анатомического ROI), и пришли к выводу, что диаметр 5 мм является оптимальным вариантом, так как позволяет использовать достаточно большое количество ROI для анализа и максимально избегать включения в зону интереса междолевых сосудов. Кроме того, количественный анализ параметров ТИС-кривой двумя операторами с разным опытом работы (студент-ординатор и опытный врач) имел низкую межоператорскую вариабельность при использовании ROI 5 мм и достаточно высокую – при использовании анатомического ROI. Также было продемонстрировано, что изменение глубины на 1 см при расположении ROI в корковом слое паренхимы существенно не влияет на результаты количественного анализа ТИС-кривой. Исследование F. Macri и соавт. [11] на животных моделях показало, что расположение и размер ROI не оказывают существенного влияния на показатели КУУЗИ нативных почек. В нашей работе использовался ROI в виде окружности, для ROI₁₋₃ мы старались придерживаться диаметра 5 мм, однако окончательный размер определялся морфометрическими особенностями конкретного аллогraftа. Такой подход позволил избежать нежелательного включения в зону анализа перфузии междолевых сосудов при небольших размерах ПТ.

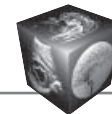
Z. Zhang и соавт. [9] изучали межоператорскую воспроизводимость ряда параметров ТИС-кривых, полученных при расположении ROI в кортикальном слое паренхимы у пациентов с верифицированным отторжением ПТ и без отторжения. Была выявлена умеренная воспроизводимость временных показателей DT/2 (1/2 Descending time, время полуспада пиковой интенсивности контрастирования) и MTT (Mean transit time, среднее время транзита ($MTT = RT + DT/2$)) – ICC составил 0,874 (0,759–0,937) и 0,839 (0,699–0,917) соответственно, а также сильная межоператорская вариабельность при определении параметров PI и AUC, характеризующих интенсивность контрастирования – ICC составил 0,635 (0,377–0,801) и 0,687 (0,454–0,832) соответственно. Мы получили другие результаты: PI и AUC при расположении зоны интереса в кортикальном слое паренхимы продемонстрировали отличную межоператорскую вос-

производимость: ICC 0,917 (0,817; 0,964) и 0,979 (0,952; 0,991) соответственно. Существенные различия в полученных данных, возможно, связаны с особенностью изучаемых групп: в исследовании китайских коллег когорта наблюдения была представлена реципиентами как со стабильно функционирующими ПТ, так и с отторжением. Неравномерность перфузии кортикального слоя паренхимы у пациентов с отторжением может служить причиной невысоких показателей межоператорской воспроизводимости в целом. Тем не менее в ряде экспериментальных исследований, проведенных на нативных почках здоровых животных, также выявлена более высокая межоператорская вариабельность показателей, характеризующих интенсивность контрастирования, по сравнению с временными [12, 13]. Аналогичные данные были получены британскими учеными, изучавшими межоператорскую воспроизводимость и согласованность при проведении КУУЗИ нативных почек в небольшой группе здоровых добровольцев [14]. Изучить сопоставимость межоператорской воспроизводимости временных показателей кортикальной перфузии, полученных Z. Zhang и соавт., с результатами нашего исследования сложно, так как текущая версия программного обеспечения не предоставляла возможности подсчета DT/2 и MTT. Тем не менее ICC показателя DS, характеризующего скорость выведения КП в нашем исследовании, был сопоставим с ICC DT/2 и MTT в работе китайских ученых.

Ряд параметров ТИС-кривой напрямую зависит от работы ассистента, осуществляющего болюсное введение КП и протокола исследования. Так, скорость введения КП и конституциональные особенности пациента определяют неизбежную вариабельность значений параметров AT и TTP в целом. Именно поэтому, несмотря на то что AT и TTP продемонстрировали отличную и хорошую межоператорскую воспроизводимость, с нашей точки зрения, более надежным диагностическим показателем следует считать параметр RT, представляющий собой разницу этих временных показателей. Следует учитывать, что абсолютное значение показателя WoAUC зависит от продолжительности кинопетли, которая определяется, в свою очередь, дизайном конкретного исследования.

Ограничения исследования

Основным ограничением представленной работы является небольшой объем выборки, обусловленный малым распространением протокольных биопсий в РФ. Малая выборка не позволила ранжировать полученные показатели по возрасту, полу, особенностям иммуносупрессивной тера-



пии и другим признакам. Для получения репрезентативных результатов необходимо проведение исследований с включением большего количества пациентов. Межоператорскую воспроизводимость оценивали только в процессе анализа полученных данных, а не при получении изображений. Исследование проводили на оборудовании одного производителя с использованием конкретной программы обсчета, возможность экстраполяции полученных данных на результаты КУУЗИ ПТ с использованием оборудования других производителей требует дальнейшего изучения.

Выводы

1. Впервые рассчитаны количественные характеристики КУУЗИ ПТ у реципиентов со стабильно функционирующим аллографтом и отсутствием значимой патологии по данным протокольной нефробиопсии.

2. Продемонстрированы высокие показатели межоператорской воспроизводимости и согласованности для большинства параметров ТИС-кривой.

3. Низкая межоператорская вариабельность определяет перспективу изучения и клинического применения отношений абсолютных параметров ТИС-кривой в норме и при дисфункции ПТ различного генеза при использовании ультразвукового оборудования различных производителей.

Настоящее пилотное исследование является необходимым этапом стандартизации КУУЗИ ПТ. Убедительное понимание нормы расширяет возможности диагностики широкого спектра патологии *per se*. В данном контексте КУУЗИ ПТ представляет собой многообещающий неинвазивный метод изучения перфузии ПТ и открывает перспективы долгосрочного прогнозирования и мониторингирования состояния ПТ.

Участие авторов

Ларионова С.Н. – проведение, анализ и интерпретация КУУЗИ почечного трансплантата, написание текста, подбор литературных источников.

Белавина Н.И. – анализ и интерпретация КУУЗИ почечного трансплантата, написание текста, подбор литературных источников;

Ветшева Н.Н. – концепция исследования, редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Балтер Р.Б. – редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Authors' participation

Larionova S.N. – performance, analysis, and interpretation of CEUS of the kidney transplant, writing the text, and selection of literature.

Belavina N.I. – analysis and interpretation of CEUS of the kidney transplant, writing the text, and selection of literature;

Vetsheva N.N. – study concept, text editing, and approval of the final version of the article.

Balter R.B. – text editing and approval of the final version of the article.

All authors made a significant contribution to the study and preparation of the article, read and approved the final version of the article before publication.

Список литературы [References]

1. Kaballo M.A., Canney M., O'Kelly P. et al. A comparative analysis of survival of patients on dialysis and after kidney transplantation. *Clin. Kidney J.* 2018; 11: 389–393. <https://doi.org/10.1093/ckj/sfx117>
2. Redfield R.R., McCune K.R., Rao A. et al. Nature, timing, and severity of complications from ultrasound-guided percutaneous renal transplant biopsy. *Transpl. Int.* 2016; 29 (2): 167–172. <https://doi.org/10.1111/tri.12660>
3. Ассоциация организаций по клиническим исследованиям (АОКИ) – Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации [Электронный ресурс]. – URL: http://acto-russia.org/index.php?option=com_content&task=view&id=21 (25.04.2025)
4. Association of Clinical Research Organizations (ACRO) – Declaration of Helsinki of the World Medical Association [Electronic resource]. – URL: http://acto-russia.org/index.php?option=com_content&task=view&id=21 (25.04.2025) (In Russian)
5. Koo T.K., Li M.Y. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J. Chiropr. Med.* 2016; 15 (2): 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
6. Jimenez C., de Gracia R., Aguilera A. et al. *In situ* kidney insonation with microbubble contrast agents does not cause renal tissue damage in a porcine model. *J. Ultrasound Med.* 2008; 27: 1607–1615. <https://doi.org/10.7863/jum.2008.27.11.1607>
7. Ультразвуковое исследование с применением контрастных препаратов. От простого к сложному / Под общей ред. Н.А. Сенча. М.: МЕДпресс-информ, 2021. 296 с. ISBN 978-5-00030-862-2
8. Sencha A.N. (ed.). Ultrasound examination using contrast agents. From simple to complex. Moscow: MEDpress-inform, 2021. 296 p. ISBN 978-5-00030-862-2 (In Russian)
9. Белавина Н.И., Ларионова С.Н., Ветшева Н.Н., Столяревич Е.С., Пеняева Э.И., Клочкова Н.Н., Баркова Ю.В., Парабина Е.В., Шишиморов А.А., Фролова Н.Ф. Контрастусиленное ультразвуковое исследование почечного трансплантата у реципиента с острым отторжением. Клиническое наблюдение и обзор литературы. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2025; 31 (3): 27–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-322>
10. Belavina N.I., Larionova S.N., Vetsheva N.N. et al. Contrast-enhanced ultrasound of kidney allograft with



- acute rejection: clinical case and review. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2025; 31 (3): 27–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-322> (In Russian)
8. Goyal A., Hemachandran N., Kumar A. et al. Evaluation of the Graft Kidney in the Early Postoperative Period: Performance of Contrast-Enhanced Ultrasound and Additional Ultrasound Parameters. *J. Ultrasound Med*. 2021; 40 (9): 1771–1783. <https://doi.org/10.1002/jum.15557>
 9. Zhang Z., Shao K., Zhou C. et al. Using 1/2 Descending Time in CEUS to Identify Renal Allograft Rejection. *Acad. Radiol*. 2024; 31 (8): 3248–3256. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.01.027>
 10. Friedl S., Jung E.M., Bergler T. et al. Factors influencing the time-intensity curve analysis of contrast-enhanced ultrasound in kidney transplanted patients: Toward a standardized contrast-enhanced ultrasound examination. *Front. Med. (Lausanne)*. 2022; 9: 928567. <https://doi.org/doi:10.3389/fmed.2022.928567>
 11. Macri F., Di Pietro S., Liotta L. et al. Effects of size and location of regions of interest examined by use of contrast-enhanced ultrasonography on renal perfusion variables of dogs. *Am. J. Vet. Res*. 2016; 77 (8): 869–876. <https://doi.org/10.2460/ajvr.77.8.869>
 12. Leinonen M.R., Raekallio M.R., Vainio O.M. et al. The effect of the sample size and location on contrast ultrasound measurement of perfusion parameters. *Vet. Radiol. Ultrasound*. 2011; 52 (1): 82–87.
 13. Liu D.J.X., Hesta M., Stock E. et al. Renal perfusion parameters measured by contrast-enhanced ultrasound in healthy dogs demonstrate a wide range of variability in the long-term. *Vet. Radiol. Ultrasound*. 2019; 60 (2): 201–209. <https://doi.org/10.1111/vru.12690>
 14. Almushayt S.J., Pham A., Phillips B.E. et al. Repeatability of Contrast-Enhanced Ultrasound to Determine Renal Cortical Perfusion. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12 (5): 1293. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12051293>

Для корреспонденции*: Ларионова Светлана Николаевна – e-mail: Larionovasn@gmail.com

Ларионова Светлана Николаевна – заведующая отделением ультразвуковой диагностики клиник ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России; ассистент кафедры ультразвуковой диагностики ИПО ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара. <https://orcid.org/0000-0001-5736-8656>

Белавина Наталья Ивановна – канд. мед. наук, врач отделения ультразвуковой и функциональной диагностики ГБУЗ “МКНИЦ Больница 52 ДЗМ”, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-2953-5570>

Ветшева Наталья Николаевна – доктор мед. наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>

Балтер Регина Борисовна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой ультразвуковой диагностики ИПО СамГМУ, Самара. <http://orcid.org/0000-0001-6724-0066>

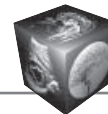
Contact*: Svetlana N. Larionova – e-mail: Larionovasn@gmail.com

Svetlana N. Larionova – Head of the Department of Ultrasound Diagnostics, Samara State Medical University; Assistant Professor, Department of Ultrasound Diagnostics, Samara State Medical University, Samara. <https://orcid.org/0000-0001-5736-8656>

Natalya I. Belavina – Cand. of Sci. (Med.), doctor of the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics, Moscow Clinical Science and Research Center 52, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-2953-5570>

Natalya N. Vetsheva – Doct. of Sci. (Med.), Professor at the Department of Ultrasound Diagnostics, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>

Regina B. Balter – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Ultrasound Diagnostics, Institute of Postgraduate Education, Samara State Medical University, Samara. <http://orcid.org/0000-0001-6724-0066>



Ошибки при анализе данных МРТ органов малого таза: обзор

© Кондаков И.В.^{1*}, Нечаев В.А.²

¹ ООО "РУ-МИС"; 364020 Грозный, ул. Тасуева, д. 8г, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы "Городская клиническая больница имени С.С. Юдина" Департамента здравоохранения города Москвы; 115446 Москва, Коломенский проезд, д. 4, Российская Федерация

Цель исследования: систематизировать данные об ошибках при анализе данных МРТ органов малого таза.

Материал и методы. Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитических системах PubMed, e-Library, Google Scholar за последние 15 лет по ключевым словам: "radiology errors in imaging of the pelvis", "diagnostic errors in pelvic radiology", "bias in radiology", "pitfalls in radiology", "radiology mistakes", "pearls in radiology", "ошибки в лучевой диагностике при исследовании малого таза".

Результаты. Проанализировано 36 статей, затрагивающих тему ошибок в лучевой диагностике органов малого таза. Были выделены этапы проведения лучевого исследования органов малого таза и перечислены основные ошибки на каждом из них: от подготовки пациента до интерпретации полученных данных. Кроме того, были выделены "подводные камни", связанные с конкретной целью проведения исследования.

Заключение. Ошибки и предпосылки для их возникновения при лучевом исследовании малого таза могут встречаться на разных этапах диагностического процесса. Рентгенологам, клиницистам и рентгенолаборантам необходимо иметь представление об особенностях ошибок на каждом этапе выполнения исследования для минимизации риска их возникновения и смягчения последствий.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; ошибки; малый таз

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кондаков И.В., Нечаев В.А. Ошибки при анализе данных МРТ органов малого таза: обзор. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 89–96. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1629>

Поступила в редакцию: 08.01.2026. **Принята к печати:** 16.04.2026. **Опубликована online:** 1.06.2026.

Errors in the radiology of the pelvis: a review

© Igor V. Kondakov^{1*}, Valentin A. Nechaev²

¹ LLC "RU-MIS"; 8g, Tasueva str., Grozny 364020, Russian Federation

² Yudin Moscow City Clinical Hospital; 4, Kolomenskiy proezd, Moscow 115446, Russian Federation

Aim. To systematize data on errors in the pelvic radiology.

Methods. We searched for scientific publications in the information and analytical systems PubMed, e-library, Google Scholar over the past 15 years, using the keywords: "radiology errors in the pelvis imaging", "diagnostic errors in pelvic radiology", "bias in radiology", "pitfalls in radiology", "radiology mistakes", "pearls in radiology".

Results. 36 articles dealing with errors in the pelvic radiology at various stages of examination were analyzed. The results of the analysis – the stages of the pelvic examination were highlighted and the main errors in each of them were listed.

Conclusion. Errors and the prerequisites for their occurrence in the pelvic imaging can occur at different stages of the diagnostic process. Radiologists, clinicians, and technicians need to be aware of the specifics of errors at each stage of the study in order to minimize the risk of their occurrence and mitigate the consequences.

Keywords: magnetic resonance imaging; errors; pelvis

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



For citation: Kondakov I.V., Nechaev V.A. Errors in the radiology of the pelvis: a review. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 89–96. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1629>

Received: 08.01.2026.

Accepted for publication: 16.04.2026.

Published online: 1.06.2026.

Введение

Ошибки в лучевой диагностике являются важным и актуальным вопросом современной медицины, так как они могут становиться причиной негативных последствий для пациентов, а также способны увеличивать расходы на здравоохранение [1]. На сегодняшний день существует большое количество исследований, посвященных диагностическим ошибкам в лучевой диагностике, их частоте, подходам к классификации, факторам их возникновения, однако, несмотря на технологическое развитие и изучение данного вопроса, распространенность ошибок за последние десятилетия не меняется [2–4].

Большинство исследований, изучающих ошибки в рентгенологии, проводились на примере рентгенограмм легких [5–7], компьютерных томограмм брюшной полости и головного мозга [8, 9], маммограмм [10] либо сочетании обследований различных областей [3, 11–13], в то время как диагностические ошибки при исследовании области малого таза представлены единичными клиническими наблюдениями в ограниченном количестве работ. В основном в статьях по данной теме освещаются сложности диагностики конкретной нозологии с акцентом на качество анализа изображений [14–20]. При этом отсутствует комплексное изучение факторов риска появления ошибок интерпретации томограмм органов малого таза. Анатомически органы данной зоны имеют свои особенности, сложности в выполнении исследований и требуют отдельного внимания при оценке качества проведенного обследования и интерпретации изображений [21–28]. Несмотря на накопленный опыт использования магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике патологии органов малого таза, частота дефектов рентгенолаборантов при выполнении исследования достигает 24,3%, а частота расхождений между врачами-рентгенологами общего профиля и имеющих субспециализацию в онкогинекологии составляет 68,9% [24, 29]. По данным А.И. Громова и соавт. (2025), при МРТ предстательной железы на наличие опухолевого поражения количество ложноположительных результатов в очагах периферической зоны составило 55%, транзитной зоны – 72%, что вызвано преимущественно интерпретационными факторами [30].

Таким образом, для улучшения результатов диагностики, повышения качества исследования и

точности рентгенологических заключений необходимо систематизировать и проанализировать опубликованный материал об основных ошибках при МРТ малого таза, включая клинические, технические и интерпретационные факторы, что позволит разработать более эффективные меры по их профилактике.

Цель исследования: систематизировать данные об ошибках при анализе данных МРТ органов малого таза.

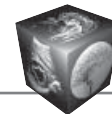
Материал и методы

Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитических системах PubMed, e-Library, Google Scholar по ключевым словам: “radiology errors in imaging of the pelvis”, “diagnostic errors in pelvic radiology”, “bias in radiology”, “pitfalls in radiology”, “radiology mistakes”, “pearls in radiology”, “ошибки в лучевой диагностике при исследовании малого таза”. Для включения в обзор рассматривались статьи на русском и английском языках, опубликованные в научных журналах за последние 15 лет.

Результаты исследования

При анализе литературы было отобрано 36 статей, затрагивающих тему ошибок при интерпретации данных МРТ органов малого таза. Дефекты, приводящие к ошибкам, могут возникнуть на различных этапах: от момента выполнения исследования и до выдачи заключения, в связи с чем нами было решено систематизировать их по времени возникновения и возможным причинам.

Техника проведения исследования. Ряд авторов отмечают, что высокое качество МР-исследования является залогом успешной интерпретации, поэтому следует отдельное внимание уделять выполнению его рентгенолаборантом [14–20, 32–36]. В работе М. Horta и соавт. (2017) подчеркивается, что отсутствие корректной подготовки к исследованию отрицательно влияло на интерпретацию характера и органопринадлежности новообразований в полости малого таза. Однако после соблюдения рекомендаций по подготовке было достигнуто оптимальное качество изображения, позволившее рентгенологу интерпретировать изменения корректно [31]. Например, адекватное наполнение мочевого пузыря играет решающую роль при исследовании данного органа, так как при недостаточном количестве содер-



жимого может быть затруднительно определить, из какой стенки исходит опухоль, что влияет как на правильность позиционирования срезов, так и на интерпретацию изображений [16, 17].

В статье K.Z. Zand и соавт. (2007) приведены примеры наиболее часто встречающихся артефактов при МРТ малого таза и способы борьбы с ними [32]. Описаны артефакты, связанные с пациентом: от движения, дыхания, перистальтики кишечника, матки и мочевого пузыря, пульсации сосудов, движения жидкости, магнитной восприимчивости; артефакты, связанные с параметрами последовательности: изменение контрастности ткани и эффект размытия контуров на турбоспиновых эхо, артефакт химического сдвига. Более детально влияние различных компонентов подготовки к исследованию малого таза у женщин на качество исследований и достоверность диагностики было описано в статье M. Sheikh-Sarraf (2020) [33]. Отмечено, что на сегодняшний день существуют различные протоколы подготовки пациентов, значительно различающиеся в разных странах и организациях. Кроме того, нет согласованности по этому вопросу у рентгенологов между собой. Недавние рекомендации Европейского общества урогенитальной радиологии (ESUR) попытались унифицировать протокол подготовки, подчеркивая важность антиперистальтических средств, голодание пациента, умеренной наполненности мочевого пузыря. Однако эти рекомендации основаны на экспертных оценках, а не на многоцентровых исследованиях. Авторы данной статьи выявили положительное влияние на качество изображений голодания, применения спазмолитических средств, использования сатураторов и отсутствие значимого влияния на качество изображений фазы менструального цикла и наполненности мочевого пузыря.

Проблемам проведения исследований пациентам с избыточной массой тела и способам их решения посвящена статья Ph. Glanc и соавт. (2012), где были рассмотрены такие проблемы визуализации, как появление артефактов и снижение соотношения сигнал/шум при неоптимальной методике сканирования, и предложены пути их решения в виде более подходящей настройки физико-технических параметров, в частности, использование при МР-исследованиях более многоканальных катушек, увеличение размера вокселя или времени сканирования для увеличения соотношения сигнал/шум [34].

В ряде случаев МР-изображения могут быть искажены артефактами, снижающими частично или полностью информативность исследования. Существуют устранимые артефакты, с которыми

можно справиться с помощью правильной подготовки пациента, и неустраняемые, которые полностью устранить не получится из-за физиологических особенностей либо послеоперационных состояний [32]. Необходимо не допускать появления устранимых артефактов (перистальтика органов, движение пациента, артефакт от металла на одежде и т.д.) и уменьшать выраженность неустраняемых (артефакты от эндопротезов, движения плода, пульсации сосудов и т.д.).

Помимо подготовки пациента и присутствия артефактов на изображении, важную роль в диагностическом процессе играет непосредственно техника выполнения исследования рентгенолаборантом. Одним из ключевых моментов здесь является ориентация срезов строго поперек длинной оси органа или его пораженной части, что особенно важно при сканировании прямой кишки и шейки матки [35, 36]. Несоблюдение перпендикулярности срезов в данном случае может привести к неверной оценке Т-стадии онкологического процесса и, как следствие, неадекватной тактике лечения. Более того, по данным M. Shiraiwa и соавт. (1999) в отношении рака шейки матки получение изображений строго поперек органа повышает чувствительность, специфичность и точность параметральной опухолевой инвазии с 46,4, 91,7 и 79,0% до 67,9, 97,2 и 89,0% соответственно по сравнению с выставлением плоскостей относительно оси пациента [36].

Одним из наиболее важных неотъемлемых инструментов в современной МР-диагностике является применение диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ). По данным ряда авторов, низкое пространственное разрешение, недостаточно высокий b-фактор при получении ДВИ, а также артефакты от газа увеличивают количество ошибок при оценке патологии предстательной железы, мочевого пузыря и яичников, приводя к ложноположительным и ложноотрицательным результатам [14–18]. В случае рака эндометрия на фоне большого количества лейомиом матки плохое качество ДВИ может привести к недооценке глубины опухолевой инвазии [19].

Динамическое контрастное усиление с недостаточным пространственным и временным разрешением может приводить к ошибкам при интерпретации опухолей яичников в случае невозможности адекватного построения кинетических кривых. Так, в исследовании I. Thomassin-Naggara и соавт. (2021), где рассматривались 109 случаев неверно интерпретированных образований яичников, данный фактор привел к занижению категории O-RADS в 4 случаях и к завышению – в 7 случаях [18, 20].



В статье A.Z. Kielar и соавт. (2019), посвященной диагностике причин тазовой боли у взрослых, подчеркивается тот факт, что командные усилия рентгенолога и направляющего врача позволяют подобрать более правильный метод обследования в зависимости от клинической ситуации, тем самым избежать проведения неинформативного исследования. При подозрении на патологию репродуктивных органов предпочтительнее МРТ, в то время как при высокой вероятности наличия заболеваний кишечника и ряда других патологических состояний (например, миграции внутриматочной спирали) следует проводить компьютерную томографию [23]. Также в данной статье обсуждается роль показателя ХГЧ (хорионический гонадотропин человека) перед обследованием женщин детородного возраста для определения вероятности беременности, в том числе внематочной, и полноты анамнеза касательно послеоперационных состояний, предшествующей установки внутриматочной спирали, что позволяет предотвратить ошибки интерпретации, существенно снизив вероятность их появления.

Таким образом, качество проведенного исследования во многом определяет возможность дальнейшего его анализа, в связи с чем необходима строгая стандартизация подготовки пациента и протоколов сканирования в зависимости от предполагаемого или установленного диагноза. Неверные физико-технические параметры сканирования, отсутствие должной подготовки к исследованию, наличие артефактов на изображении может приводить в конечном итоге как к ложноположительным, так и ложноотрицательным результатам диагностики, завышению или занижению стадии онкологического процесса, неверному определению органа принадлежности патологических образований.

Роль субспециализации и опыта врача-рентгенолога

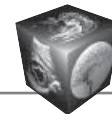
D.E. Kostrubiak и соавт. (2020) установили, что частота расхождений между врачами-рентгенологами общего профиля и имеющих субспециализацию в визуализации малого таза составила 68,9% с большей точностью во второй группе, а также что при анализе данных областей ошибки интерпретации преобладали над ошибками восприятия [24]. Представленные данные подтверждаются в работе N.L. Hansen и соавт. (2017), в которой расхождения в отчетах МРТ между врачами лучевой диагностики широкого профиля и специализированных учреждений в отношении рака предстательной железы достигло 54% со значительно большей точностью во второй группе рентгенологов [25].

В статье S. Nougaret и соавт. (2013) авторы сосредоточились на потенциальных ошибках, касающихся оценки ДВИ при исследовании женского таза, которые могут встретиться у врачей без должного опыта работы в гинекологической визуализации. Отмечены такие “подводные камни”, как эффект T2-просвечивания, по причине которого ДВИ должны оцениваться синхронно с картами ИКД (измеряемого коэффициента диффузии) и T2-ВИ, возможная гипердиагностика распространения рака эндометрия в сочетании с аденомиозом, поэтому здесь ДВИ необходимо также оценивать совокупно с T2-ВИ [26].

Представленные данные демонстрируют более точную интерпретацию патологических изменений при МРТ органов малого таза у врачей, имеющих значительный опыт в анализе именно данной узкой анатомической области.

“Слепые пятна” и “удовлетворенность поиском”. Появление ошибок восприятия в ряде случаев можно связать с наличием так называемых слепых пятен – анатомических областей, которые наиболее часто остаются незамеченными при анализе лучевого исследования. Данное состояние может усугубляться “удовлетворенностью поиском”, т.е. остановкой поиска патологии при уже одной выявленной. В исследовании E.J. Owens и соавт. (2016) отмечена важность обращения дополнительного внимания на лимфатические узлы, кости, сосуды и кишечник (даже в случае его плохой подготовки) при анализе МРТ малого таза. Авторы опубликовали данные, по которым из 99 рассмотренных ошибок восприятия 15 (15,2%) были связаны с пропуском измененных лимфатических узлов, 14 (14,1%) – метастазов в кости, 4 (4,0%) – патологией толстой кишки [37].

В статье A.A. Учеваткина и соавт. (2020) подробно описано клиническое наблюдение культи матки, что являлось основной целью исследования, в то время как рентгенолог не обратил внимания на наличие жирового подвеса сигмовидной кишки с признаками воспаления, вызывающего болевой синдром [38]. В работе J.N. Itri и соавт. (2018) описан случай пропущенной опухоли сигмовидной кишки у пациента, проходившего МР-исследование по поводу рака анального канала [39]. В статье J. Robbins и соавт. (2016) описывается пропущенное метастатическое поражение мягких тканей передней брюшной стенки, визуализируемое на ограниченном количестве срезов, у пациентки, страдающей раком шейки матки [40]. “Удовлетворенность поиском” в случае выявления уротелиальной карциномы, которая склонна к синхронному и метастатическому опухолевому росту,



может привести к пропуску дополнительных очагов поражения мочевыделительной системы [41].

Таким образом, в представленных работах рентгенолог при анализе исследования полностью фокусировался на первоначальной задаче в соответствии с направлением, не уделив должного внимания дополнительным находкам в поле обзора и останавливая свой диагностический поиск при выявлении патологии.

Когнитивные искажения. Одним из явлений, способствующих возникновению ошибок интерпретации, являются когнитивные искажения – отклонения в восприятии и мышлении, обусловленные субъективными убеждениями, сбоями в обработке и анализе информации. Одним из примеров является “предвзятость доступности”, заключающаяся в том, что рентгенологом при формулировании заключения выдвигается версия, наиболее доступная в его памяти, без проведения полноценного анализа. Так, в статье L.P. Busby и соавт. (2017) рентгенолог принял тазовый абсцесс за тератому по причине того, что недавно прослушал лекцию о последней [28].

L. Zhang и соавт. (2023) приводят пример ситуации, когда рентгенолог на МР-томограмме малого таза пациенту с известным раком пищевода и множественными метастазами описал нейрогенную опухоль на уровне таза как метастаз, несмотря на явную связь с нервом крестцового сплетения и “симптомом мишени”, находясь под влиянием заключения предшествующей позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, где также был предположен метастаз [27].

Когнитивные искажения являются крайне важным феноменом в лучевой диагностике, так как само понимание уязвимости рентгенолога перед ними не дает гарантии от появления диагностических ошибок, а лишь может помочь выявить потенциально опасные ситуации, при которых велика вероятность возникновения неверной интерпретации выявленных изменений. На данный момент изучено большое количество когнитивных искажений в лучевой диагностике, и их список намного превышает описанные выше варианты. Ситуации, при которых могут возникнуть когнитивные искажения, описаны по отношению к другим анатомическим областям, но могут встречаться и при анализе данных МРТ органов малого таза, что требует дополнительного изучения.

Факторы риска, связанные с конкретной патологией. Помимо перечисленных, существуют специфические факторы риска, связанные с той или иной патологией, которые могут при определенных обстоятельствах привести к диагностическим ошибкам.

При оценке рака прямой кишки такие процессы, как десмопластическая реакция и экстрамуральная венозная инвазия, могут приводить к переоценке Т-стадии, а поражение брюшины при Т4а-стадии может быть ошибочно принято за поражение мезоректальной фасции при Т3-стадии [35, 42–44].

При оценке местной распространенности рака мочевого пузыря следует учитывать такие факторы, как сосуществование опухолевого и воспалительного процессов, наличие геморрагических сгустков в просвете пузыря, деформация органа за счет фиброзных послеоперационных изменений, а также локализация опухоли в области устья мочеточника или в сочетании с дивертикулом [16, 45]. Все перечисленные состояния при МР-оценке могут как занижать, так и завышать Т-стадию. Опухоли малых размеров и плоской формы могут быть пропущены из-за трудности их восприятия [17]. В ряде случаев опухоль предстательной железы ошибочно воспринимается как рак мочевого пузыря или может быть ошибочно описана при наличии анатомических вариантов, уретероцеле, воспалительных процессов и инородных тел [45, 46].

В оценке патологии шейки матки ряд авторов призывают помнить о таких “подводных камнях”, как заполнение сводов влагалища экзофитными массами, что может привести к завышению стадии онкологического процесса; малый размер опухоли (менее 10 мм), при котором образование может быть пропущено; развитие гидронефроза и лимфаденопатии вследствие сосуществующих доброкачественных процессов, что может быть ошибочно принято за последствие опухолевого распространения [47]. Отдельно выделены факторы риска при оценке данных МРТ на наличие аномалий мюллеровых протоков: ограниченное количество литературных источников, освещающих данную патологию, отсутствие трехмерной визуализации, которая могла бы помочь лучше оценить шейку матки на наличие цервикальной дисгенезии, слишком малые при гипоплазии или большие при геморрагических скоплениях размеры шейки матки, а также ее возможная деформация после предшествующих оперативных вмешательств [48].

Основные ошибки в отношении оценки распространенности опухолевого процесса тела матки связаны с сочетанием рака эндометрия и доброкачественных состояний, таких как аденомиоз и множественные лейомиомы матки, с наличием геморрагических сгустков в полости матки, а также с локализацией опухоли в области маточного угла, где миометрий имеет анатомическое истончение [19, 47].



Среди “подводных камней”, имеющих при оценке патологии яичников, многие авторы выделяют ошибку интерпретации органопринадлежности образования, когда опухоли яичников расцениваются как внеорганные, а опухоли, не имеющие отношения к придаткам матки, описываются как овариальные [20]. Могут возникнуть сложности в интерпретации при наличии желтого тела, которое могут принять за эндометриому, абсцесс или опухоль. Также описана неверная интерпретация кинетических кривых при наличии солидного компонента образования, что приводило к неверной категоризации опухоли согласно системе O-RADS [20].

Опубликован ряд статей, посвященных причинам неверной интерпретации патологии предстательной железы у пациентов, проходивших МРТ малого таза с выставлением категории согласно системе PI-RADS [14, 15, 49–53]. Среди основных причин ошибок можно выделить анатомические особенности железы, которые расценивались как наличие злокачественного процесса (центральная зона, утолщенная псевдокапсула, ограничение диффузии в области нейроваскулярных пучков), неверную интерпретацию доброкачественных изменений (гранулематозный простатит, стромальные узлы гиперплазии, кальцинаты), изменения ятрогенного характера (постбиопсийные изменения), а также редкие варианты рака предстательной железы (например, муцинозная аденокарцинома). Наиболее часто встречается именно гипердиагностика в отношении патологии предстательной железы с завышением категории PI-RADS [30].

В данном подразделе речь идет преимущественно о возможных ошибках интерпретации, связанных с “подводными камнями” при той или иной патологии. Выделяются основные патологические состояния и их сочетания, которые могут привести к неверной интерпретации томограмм врачом-рентгенологом, излагаются основные моменты, требующие более внимательной оценки, и способы избежать ошибки. Однако в отношении большинства ошибок отсутствуют данные о частоте их встречаемости и структуре.

Заключение

Магнитно-резонансная томография является ключевым методом и неотъемлемым компонентом диагностики заболеваний органов малого таза, и полученные результаты могут существенно влиять на прогноз и тактику ведения пациентов. Анатомические особенности, разнообразие патологии данной области, зависимость результатов от технических и человеческих факторов создают

риски диагностических ошибок и требуют четкого определения цели до начала исследования, выбора протокола сканирования под конкретную задачу и при необходимости его корректировки во время исследования, оценки качества полученных изображений, тщательной детальной интерпретации томограмм и междисциплинарного взаимодействия с врачами клинического профиля. При этом существует ряд факторов риска диагностических ошибок, связанных как с техникой проведения исследования, так и с интерпретацией томограмм врачом-рентгенологом. Выявление данных особенностей и представление о них у всех членов диагностического процесса является ключом для минимизации риска возникновения ошибок и смягчения их последствий.

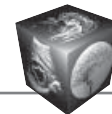
Проведенный анализ показал, что опубликованные работы, посвященные ошибкам в МРТ малого таза, представлены или общими статьями с группированием ошибок различных методов лучевой диагностики и различных зон сканирования, с единичными случаями ошибок при МРТ органов малого таза, или статьями по ограниченному количеству патологий конкретных органов с упором на “подводные камни” при интерпретации изображений врачом-рентгенологом, игнорируя при этом алгоритм просмотра в целом и факторы, способствующие появлению ошибок в зонах, не относящихся к первоначальной зоне исследования. Большинство публикаций затрагивает факторы риска возникновения ошибок, связанные с техникой выполнения исследования и особенностями визуализации при определенной патологии. В единичных работах упоминаются такие факторы риска, как “удовлетворенность поиском” и “слепые пятна”. В условиях сохраняющегося количества ошибочных рентгенологических заключений, несмотря на накопленный опыт использования МРТ при патологических состояниях всех органов таза, необходимо более глубокое, всеобъемлющее и многогранное изучение ошибок в МРТ малого таза, факторов риска их появления и способов их минимизации.

Участие авторов

Кондаков И.В., Нечаев В.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

Kondakov I.V., Nechaev V.A. – conducting research, collection and analysis of data, writing text, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.



Список литературы [References]

1. Makary M.A., Daniel M. Medical error: the third leading cause of death in the US. *Br. Med. J.* 2016; 353: i2139. <https://doi.org/10.1136/bmj.i2139>
2. Нечаев В.А., Васильев А.Ю. Подходы к классификации диагностических ошибок в лучевой диагностике: обзор. *Лучевая диагностика и терапия.* 2024; 15 (2): 19–24. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-19-24>
3. Nechaev V.A., Vasiliev A.Yu. Approaches to the classification of errors in radiology: a review. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy.* 2024; 15 (2): 19–24. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-19-24> (In Russian)
4. Kim Y.W., Mansfield L.T. Fool me twice: delayed diagnoses in radiology with emphasis on perpetuated errors. *Am. J. Roentgenol.* 2014; 202 (3): 465–470. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.11493>
5. Berlin L. Accuracy of diagnostic procedures: has it improved over the past five decades? *Am. J. Roentgenol.* 2007; 188 (5): 1173–1178. <https://doi.org/10.2214/AJR.06.1270>
6. Waite S., Grigorian A., Alexander R.G. et al. Analysis of Perceptual Expertise in Radiology – Current Knowledge and a New Perspective. *Front. Hum. Neurosci.* 2019; 13: 213. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00213>. Erratum in: *Front. Hum. Neurosci.* 2019; 13: 272. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00272>
7. Lehr J.L., Lodwick G.S., Farrell C. et al. Direct measurement of the effect of film miniaturization on diagnostic accuracy. *Radiology.* 1976; 118 (2): 257–263. <https://doi.org/10.1148/118.2.257>
8. Muhm J.R., Miller W.E., Fontana R.S. et al. Lung cancer detected during a screening program using four-month chest radiographs. *Radiology.* 1983; 148 (3): 609–615. <https://doi.org/10.1148/radiology.148.3.6308709>
9. Brady A.P. Error and discrepancy in radiology: inevitable or avoidable? *Insights Imaging.* 2017; 8 (1): 171–182. <https://doi.org/10.1007/s13244-016-0534-1>
10. Briggs G.M., Flynn P.A., Worthington M. et al. The role of specialist neuroradiology second opinion reporting: is there added value? *Clin. Radiol.* 2008; 63 (7): 791–795. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2007.12.002>
11. Berlin L. Radiologic errors, past, present and future. *Diagnosis (Berl.)*. 2014; 1 (1): 79–84. <https://doi.org/10.1515/dx-2013-0012>
12. Onder O., Yarasir Y., Azizova A. et al. Errors, discrepancies and underlying bias in radiology with case examples: a pictorial review. *Insights Imaging.* 2021; 12 (1): 51. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-00986-8>
13. Patra A., Premkumar M., Keshava S.N. et al. Radiology Reporting Errors: Learning from Report Addenda. *Indian J. Radiol. Imaging.* 2021; 31 (2): 333–344. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1734351>
14. Borgstede J.P., Lewis R.S., Bhargavan M., Sunshine J.H. RADPEER quality assurance program: a multifacility study of interpretive disagreement rates. *J. Am. Coll. Radiol.* 2004; 1 (1): 59–65. [https://doi.org/10.1016/S1546-1440\(03\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S1546-1440(03)00002-4)
15. Panebianco V., Giganti F., Kitzing Y.X. et al. An update of pitfalls in prostate mpMRI: a practical approach through the lens of PI-RADS v. 2 guidelines. *Insights into Imaging.* 2018; 9 (1), 87–101. <https://doi.org/10.1007/s13244-017-0578-x>
16. Pandey A., Ghosh S., Prajapati P. et al. Pearls and Pitfalls in Applying PI-RADS 2.1. *J. Gastrointest. Abdominal. Radiol.* 2024; 07. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1778636>
17. Lin W.C., Chen J.H. Pitfalls and Limitations of Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging in the Diagnosis of Urinary Bladder Cancer. *Transl. Oncol.* 2015; 8 (3): 217–230. <https://doi.org/10.1016/j.tranon.2015.04.003>
18. Laer, J., Lupi Manso N., França De Santana T. Santos P.O. Pitfalls and Limitations of the Vesical Imaging-Reporting and Data System (VI-RADS): Challenges in the Multiparametric Magnetic Resonance Imaging (mpMRI) Assessment of Bladder Cancer. *Cureus.* 2025; 17 (12) e99197. <https://doi.org/10.7759/cureus.99197>
19. Thomassin-Naggara I., Belghitti M., Milon A., et al.; EURAD study group. O-RADS MRI score: analysis of misclassified cases in a prospective multicentric European cohort. *Eur. Radiol.* 2021; 31 (12): 9588–9599. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08054-x>
20. Winarto H., Habiburrahman M., Siregar T.P., Nuryanto K.H. Magnetic resonance imaging pitfalls in determining myometrial invasion in stage I endometrial cancer: A case report and literature review. *Radiol. Case Rep.* 2022; 17 (8): 2680–2688. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2022.05.021>
21. Nougaret S., Razakamanantsoa L., Sadowski E.A. et al. O-RADS MRI risk stratification system: pearls and pitfalls. *Insights Imaging.* 2024; 15: 45. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01577-5>
22. Нечаев В.А., Васильев А.Ю. Факторы риска появления ошибок восприятия у врачей-рентгенологов при анализе лучевых исследований. *Вестник СурГУ. Медицина.* 2024; 17 (4): 14–22. <https://doi.org/10.35266/2949-3447-2024-4-2>
23. Itri J.N., Tappouni R.R., McEachern R.O. et al. Fundamentals of Diagnostic Error in Imaging. *RadioGraphics.* 2018; 38 (6): 1845–1865. <https://doi.org/10.1148/rg.2018180021>
24. Kielar A.Z., Duigenan S., Wolfman D.J. Errors in Imaging of the Acute Female Pelvis: Where Do They Occur and How Can We Reduce Them? In: *Errors in Emergency and Trauma Radiology.* Springer, 2019: 141–166. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05548-6_8
25. Kostrubiak D.E., DeHay P.W., Ali N. et al. Body MRI Subspecialty Reinterpretations at a Tertiary Care Center: Discrepancy Rates and Error Types. *Am. J. Roentgenol.* 2020; 215 (6): 1384–1388. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.22797>
26. Hansen, N.L., Koo, B.C., Gallagher, F.A. et al. Comparison of initial and tertiary centre second opinion reads of multiparametric magnetic resonance imaging of the prostate prior to repeat biopsy. *Eur. Radiol.* 2017; 27: 2259–2266. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4635-5>
27. Nougaret S., Tirumani S.H., Addley H. et al. Pearls and pitfalls in MRI of gynecologic malignancy with diffusion-weighted technique. *Am. J. Roentgenol.* 2013; 200 (2): 261–276. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9713>
28. Zhang L., Wen X., Li J.W. et al. Diagnostic error and bias in the department of radiology: a pictorial essay. *Insights Imaging.* 2023; 14 (1): 163. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01521-7>
29. Busby L.P., Courtier J.L., Glastonbury C.M. Bias in Radiology: The How and Why of Misses and Misinterpretations. *Radiographics.* 2018; 38 (1): 236–247. <https://doi.org/10.1148/rg.2018170107>
30. Нечаев В.А., Васильев А.Ю. Частота и спектр ошибок рентгенолаборантов при проведении магнитно-резонансной томографии. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2025; 70 (6): 40–44. <https://doi.org/10.33266/1024-6177-2025-70-6-40-44>
31. Nechaev V.A., Vasil'ev A.Yu. Incidence and Spectrum of Radiologic Technicians' Errors in Magnetic Resonance Imaging. *Medical Radiology and Radiation Safety.* 2025; 70 (6): 40–44. <https://doi.org/10.33266/1024-6177-2025-70-6-40-44> (In Russian)



30. 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>
Gromov A.I., Koryakin A.V., Kaprin A.D. et al. 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> (In Russian)
31. Horta M., Cunha T.M. Pitfalls in Imaging of Female Pelvic Masses. *Curr. Radiol. Rep.* 2017; 5: 53. <https://doi.org/10.1007/s40134-017-0245-5>
32. Zand K.R., Reinhold C., Haider M.A. et al. Artifacts and pitfalls in MR imaging of the pelvis. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2007; 26 (3): 480–497. <https://doi.org/10.1002/jmri.20996>. PMID: 17623875
33. Sheikh-Sarraf M., Nougaret S., Forstner R., Kubik-Huch R.A. Patient preparation and image quality in female pelvic MRI: recommendations revisited. *Eur. Radiol.* 2020; 30 (10): 5374–5383. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06869-8>
34. Glanc P., O'Hayon B.E., Singh D.K. et al. Challenges of Pelvic Imaging in Obese Women. *RadioGraphics*. 2012; 32 (6): 1839–1862. <https://doi.org/10.1148/rg.326125510>
35. Wani A.H., Choh N.A., Syed H.M. et al. Pitfalls and Challenges in the Interpretation of Rectal Cancer Magnetic Resonance Imaging. *J. Gastrointestinal. Abdominal. Radiol. ISGAR*. 2025; 8: 122–129. <https://doi.org/10.1055/s-0045-1802320>
36. Shiraiwa M., Joja I., Asakawa T. et al. Cervical carcinoma: efficacy of thin-section oblique axial T2-weighted images for evaluating parametrial invasion. *Abdom. Imaging*. 1999; 24: 514–519. <https://doi.org/10.1007/s002619900552>
37. Owens E.J., Taylor N.R., Howlett D.C. Perceptual type error in everyday practice. *Clin. Radiol.* 2016; 71(6): 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2015.11.024>
38. Учеваткин А.А., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А. Оттенки серого: как и почему мы ошибаемся. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (3): 123–145. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-123-145>
Uchevatkin A.A., Yudin A.L., Afanas'yeva N.I., Yumatova E.A. Shades of grey: how and why we make mistakes. *Medical Visualization*. 2020; 24 (3): 123–145. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-123-145> (In Russian)
39. Itri J.N., Tappouni R.R., McEachern R.O. et al. Fundamentals of Diagnostic Error in Imaging. *RadioGraphics*. 2018; 38 (6): 1845–1865. <https://doi.org/10.1148/rg.2018180021>
40. Robbins J., Kusmirek J., Barroilhet L. et al. Pitfalls in Imaging of Cervical Cancer. *Sem. Roentgenol.* 2016; 51 (1): 17–31. <https://doi.org/10.1053/j.ro.2015.11.001>
41. Chung A.D., Schieda N., Shanbhogue A.K. et al. MRI evaluation of the urothelial tract: pitfalls and solutions. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 207 (6): W108–W116. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.16348>
42. Wani A.H., Choh N.A., Syed H.M. et al. Pitfalls and Challenges in the Interpretation of Rectal Cancer Magnetic Resonance Imaging. *J. Gastrointest. Abdom. Radiol.* 2025; 8 (2): 122–129. <https://doi.org/10.1055/s-0045-1802320>
43. el Khababi N., Beets-Tan R.G.H., Curvo-Semedo L. et al. Pearls and pitfalls of structured staging and reporting of rectal cancer on MRI: an international multireader study. *Br. J. Radiol.* 2023; 96 (1150): 20230091. <https://doi.org/10.1259/bjr.20230091>
44. Srisajjakul S., Prapaisilp P., Bangchokdee S. Pitfalls in MRI of rectal cancer: What radiologists need to know and avoid. *Clin. Imaging*. 2018; 50: 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2017.11.012>
45. Lai A.L., Law Y.M. VI-RADS in bladder cancer: Overview, pearls and pitfalls. *Eur. J. Radiol.* 2023; 160: 110666. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110666>
46. Shelmerdine S.C., Lorenzo A.J., Gupta A.A., Chavhan G.B. Pearls and pitfalls in diagnosing pediatric urinary bladder masses. *Radiographics*. 2017; 37 (6): 1872–1891. <https://doi.org/10.1148/rg.2017170031>
47. Otero-García M.M., Mesa-Álvarez A., Nikolic O. et al. Role of MRI in staging and follow-up of endometrial and cervical cancer: pitfalls and mimickers. *Insights. Imaging*. 2019; 10 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0696-8>
48. Kim D.Y., Nam G., Lee S.R. et al. Congenital Obstructive Müllerian Anomaly: The pitfalls of a magnetic resonance imaging-based diagnosis and the importance of intraoperative biopsy. *J. Clin. Med.* 2021; 10 (11): 2414. <https://doi.org/10.3390/jcm10112414>
49. Panebianco V., Barchetti F., Barentsz J. et al. Pitfalls in interpreting mp-MRI of the prostate: a pictorial review with pathologic correlation. *Insights Imaging*. 2015; 6 (6): 611–630. <https://doi.org/10.1007/s13244-015-0426-9>
50. Weitzler A., Zuñiga A. Pitfalls en RM de Próstata Multiparamétrica. *Rev. Chil. Radiol.* 2019; 25 (4): 128–140. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082019000400128>
51. Purysko A.S., Childes B.J., Ward R.D. et al. Pitfalls in Prostate MRI Interpretation: A Pictorial Review. *Semin. Roentgenol.* 2021; 56 (4): 391–405. <https://doi.org/10.1053/j.ro.2021.08.003>
52. Eusebi L., Carpagnano F.A., Sortino G. et al. Prostate Multiparametric MRI: Common Pitfalls in Primary Diagnosis and How to Avoid Them. *Curr. Radiol. Rep.* 2021; 9: 3. <https://doi.org/10.1007/s40134-021-00378-2>
53. Rosenkrantz A.B., Taneja S.S. Radiologist, be aware: ten pitfalls that confound the interpretation of multiparametric prostate MRI. *Am. J. Roentgenol.* 2014; 202 (1): 109–120. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.10699>

Для корреспонденции*: Кондаков Игорь Викторович – e-mail: kondakoviv@mail.ru

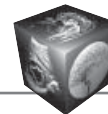
Кондаков Игорь Викторович – врач-рентгенолог ООО “РУ-МИС”, Грозный. <https://orcid.org/0009-0000-7748-1306>

Нечаев Валентин Александрович – канд. мед. наук, заведующий центром комплексной диагностики ГБУЗ “ГКБ имени С.С. Юдина ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6716-5593>

Contact*: Igor V Kondakov – e-mail: kondakoviv@mail.ru

Igor V Kondakov – radiologist, LLC “RU-MIS”, Grozny. <https://orcid.org/0009-0000-7748-1306>

Valentin A. Nechaev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Center for Complex Diagnostics, Yudin Moscow City Clinical Hospital, Moscow, <https://orcid.org/0000-0002-6716-5593>



Ультразвуковой артефакт реверберации: помощь или помеха при исследовании матки и эндометрия? Обзор литературы и собственные наблюдения

© Озерская И.А.^{1*}, Казарян Г.Г.², Минашкина Е.В.^{3,4}, Арбузов Ю.О.⁵

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН)» Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

² ООО «Медскан»; 119421 Москва, ул. Обручева, д. 21А, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация

⁴ Центр репродукции и генетики «Нова Клиник»; 119415 Москва, ул. Лобачевского, д. 20, Российская Федерация

⁵ ООО «Клиника лечения боли «МЕДИКА»; 194291 Санкт-Петербург, пр. Луначарского, д. 49, Российская Федерация

Цель исследования: обобщить современные данные о физической природе артефакта реверберации и его влиянии на качество ультразвукового изображения матки и эндометрия, включая изменения показателей трехмерной доплерографии (VI, FI, VFI).

Материал и методы. Выполнен аналитический обзор 85 публикаций в базах PubMed, Scopus и e-Library за 1982–2025 гг., посвященных артефактам ультразвуковой визуализации, физике реверберации и применению 3D-ангиосканирования при исследовании матки и эндометрия.

Результаты. Артефакт реверберации обусловлен многократным отражением ультразвуковых волн между акустически плотными границами и проявляется серией параллельных эхосигналов, идущих дистальнее истинной структуры. В В-режиме он может имитировать утолщение эндометрия или внутриполостные включения, а при цветовом и энергетическом доплеровском картировании создавать ложные зоны кровотока. Исследований влияния реверберации на показатели VI, FI и VFI не обнаружено, однако теоретически артефакт способен завышать значения VI и VFI за счет появления ложных цветовых вокселей.

Закключение. Реверберация является не только источником диагностических ошибок, но и потенциальным диагностическим ориентиром. Знание механизмов ее возникновения, контроль настроек доплеровских режимов и стандартизация протоколов 3D-ангиосканирования позволяют повысить точность оценки морфологических и гемодинамических характеристик матки и эндометрия. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на количественную оценку влияния артефактов на сосудистые индексы.

Ключевые слова: ультразвук; артефакт реверберации; эндометрий; цветное доплеровское картирование; 3D Power Doppler; VI; FI; VFI

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Озерская И.А., Казарян Г.Г., Минашкина Е.В., Арбузов Ю.О. Ультразвуковой артефакт реверберации: помощь или помеха при исследовании матки и эндометрия? Обзор литературы и собственные наблюдения. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 97–109. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1623>

Поступила в редакцию: 20.12.2025. **Принята к печати:** 20.12.2025. **Опубликована online:** 1.06.2026.



Ultrasound reverberation artifact: help or hindrance in the examination of the uterus and endometrium?

© Irina A. Ozerskaya^{1*}, Gayane G. Kazaryan², Elena V. Minashkina^{3, 4}, Yury O. Arbuzov⁵

¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

² LLC "Medskan"; 21A, Obruchev str., Moscow 119421, Russian Federation

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow 119991, Russian Federation

⁴ Nova Clinic Center for Reproduction and Genetics; 20, Lobachevsky str., Moscow 119415, Russian Federation

⁵ Pain Treatment Clinic MEDICA LLC; 49, Lunacharsky Ave., St. Petersburg 194291, Russian Federation

Objective: to summarize current knowledge on the physical nature of reverberation artifact and its impact on the quality of uterine and endometrial ultrasound imaging, including possible effects on three-dimensional power Doppler indices (VI, FI, VFI).

Materials and methods. An analytical review of 85 publications in the PubMed, Scopus and eLibrary databases for 1982–2025, devoted to ultrasound imaging artifacts, reverberation physics and the use of 3D Power Doppler for endometrial assessment.

Results. Reverberation artifact results from multiple reflections of ultrasound waves between acoustically dense interfaces, producing a series of parallel echoes distal to the true structure. In B-mode, it may mimic endometrial thickening or intracavitary lesions; in color or power Doppler imaging, it can generate false flow signals. No direct quantitative studies evaluating the effect of reverberation on VI, FI, VFI were identified. However, theoretically, reverberation may lead to overestimation of VI and VFI due to the appearance of spurious color voxels.

Conclusion. Reverberation should be regarded not only as a source of diagnostic error but also as a potential diagnostic clue. Understanding its mechanisms, optimizing Doppler settings, and standardizing 3D Power Doppler protocols improve the accuracy of morphological and hemodynamic assessment of the uterus and endometrium. Further quantitative studies are warranted to determine the degree of artifact influence on vascular indices.

Keywords: ultrasound; reverberation artifact; endometrium; uterus; color Doppler; 3D Power Doppler; VI; FI; VFI

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

For citation: Ozerskaya I.A., Kazaryan G.G., Minashkina E.V., Arbuzov Yu.O. Ultrasound reverberation artifact: help or hindrance in the examination of the uterus and endometrium? *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 97–109. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1623>

Received: 20.12.2025.

Accepted for publication: 20.12.2025.

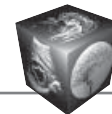
Published online: 1.06.2026.

Введение

Впервые эффект реверберации описали M.C. Ziskin и соавт. (1982) у пациента с огнестрельным ранением живота [1]. В последующие годы вышли работы, в которых рассматривались физические основы различных артефактов при ультразвуковом исследовании [2–5]. Артефакты были описаны при исследовании печени, желчного пузыря, почек, щитовидной железы и мягких тканей, легких и других органов [6–10].

Артефакты ультразвукового изображения традиционно рассматриваются как нежелательные эффекты, искажающие анатомическую достоверность. Однако в ряде случаев их правильная интерпретация имеет диагностическую ценность.

Одним из наиболее распространенных является артефакт реверберации, возникающий при многократном отражении ультразвуковых волн между двумя акустически плотными границами. В В-режиме он проявляется серией параллельных эхосигналов, дистальных к истинной структуре, что может затруднять корректную визуализацию ткани, расположенной в зоне искажений [4, 7]. Разновидностью реверберации является акустический эффект “хвост кометы” или “ring-down artifact”, между которыми небольшое визуальное различие. Появление данных артефактов связано с мелким пузырьком газа или плотной структурой малого размера в виде короткой гиперэхогенной полосы, позволяющих выявить газ в тканях и жид-



костных структурах, например при пневмобилии, пневмоперитонеуме, абсцессах, гангрене, в различных кистах [4, 11–15], а также ассистировать при проведении трахеостомии или катетеризации крупных вен [16, 17].

В цветовых доплеровских режимах встречается акустический эффект мерцания “twinkling artifact”, который имитирует кровоток [18–20]. Эта особенность позволяет успешно выявлять мелкие конкременты в почках по эффекту мерцания, отличать артефакт от патологии и использовать его как дополнительный диагностический ориентир [21, 22].

Источников литературы, описывающих использование эффекта реверберации при исследовании органов малого таза у женщин, мало. Чаще всего данный артефакт можно наблюдать за металлизированными внутриматочными контрацептивами (ВМК), что позволяет не только регистрировать факт наличия ВМК в полости матки, но и оценивать неправильное положение, миграцию или перфорацию [4, 23–25].

Феномен “хвост кометы”, в том числе указывающий на мелкие пузырьки газа в кистах яичников и шейки матки, при воспалительных процессах эндометрия и придатков матки, а также в струме яичника, описан отечественными и зарубежными авторами [26–28]. Однако не найдено ни одного источника, в котором обсуждался вопрос влияния артефакта реверберации на данные объемного кровотока и расчета сосудистых индексов.

Цель исследования: обобщить современные данные о физической природе артефакта реверберации и его влиянии на качество ультразвукового изображения матки и эндометрия, включая изменения показателей трехмерной доплерографии (VI, FI, VFI).

Материал и методы

Анализ выполнен на основе обзора литературы по ультразвуковым артефактам, физике реверберации и применению трехмерной энергетической доплерографии (3D Power Doppler) при исследовании матки и эндометрия. Включено 85 публикаций, индексированных в PubMed, Scopus и e-Library за 1982–2025 гг., посвященных физическим принципам артефактов, методологии расчета VI, FI, VFI и их клиническому применению, из которых было отобрано 37 статей. Также в анализе использовано 4 книги, вышедшие в России, но не вошедшие в перечисленные базы данных.

Особое внимание уделено вопросам влияния настроек доплеровского режима и условий сканирования на воспроизводимость сосудистых индексов, а также обзорам, описывающим артефакт реверберации и его влияние на изображение.

Результаты и их обсуждение

Реверберация возникает при многократном отражении ультразвуковых волн между двумя гладкими поверхностями. После первого отражения часть энергии возвращается к датчику, формируя истинный эхосигнал, а оставшаяся часть снова отражается вглубь, вызывая повторные эхоимпульсы, которые аппарат ошибочно воспринимает как сигналы, исходящие от более глубоких структур. В результате формируется серия ложных параллельных линий или “эходорожек”, идущих дистальнее истинного отражающего объекта. Каждая последующая линия имеет меньшую амплитуду, что связано с постепенным ослаблением энергии отраженных волн. На изображении реверберация проявляется серией параллельных ослабевающих линий, что приводит к ложному утолщению или “многослойности” структур, которые формируются на границе раздела разных по плотности сред, таких как мягкие ткани–жидкость, мягкие ткани–газ, мягкие ткани–металл и жидкость–газ (рис. 1–3) [3, 4]. В гинекологической практике реверберация чаще возникает в эндометриальной полости, при наличии жидкости, внутриматочных контрацептивов и/или газа.

Акустический артефакт “хвост кометы” является частным случаем реверберации. Ультразвуковая волна отражается между двумя очень близко расположенными структурами, вызывая плотный, сужающийся вниз артефакт, похожий на хвост кометы. Этот эффект визуализируется как яркая узкая вертикальная полоса, идущая по ходу ультразвукового луча от гиперэхогенного включения малого размера и чаще всего не исчезающая с изменением угла сканирования (рис. 4) [4, 5].

Схожим с артефактом “хвост кометы” является ring-down (звонковый) артефакт, который возникает при резонансных колебаниях газа, особенно в жидкой среде. Газовый пузырек ведет себя как резонатор и создает непрерывный звуковой сигнал в виде яркой вертикальной полосы, похожей на хвост кометы, но непрерывной и более широкой, не уменьшающейся по интенсивности (рис. 5) [29]. Более высокие частоты и перпендикулярное направление луча способствуют усилению эффекта, тогда как наклонное сканирование или смещение позиции датчика изменяет артефакт, что можно использовать для его распознавания.

Типичным проявлением реверберации является ложное утолщение эндометрия, псевдополипозные включения, “эходорожки” от внутриматочного контрацептива. Визуализация эндометрия в этих случаях крайне затруднена, поэтому приходится использовать косо-сагиттальные сечения, при которых эндометриальная ткань доступна для



Рис. 1. Реверберация на границе мягких тканей и жидкостного содержимого кисты яичника.

Fig. 1. Reverberation at the interface between soft tissues and the fluid content of an ovarian cyst.



Рис. 2. Реверберация на границе мягких тканей и жидкости (содержимое мочевого пузыря), частично распространяющаяся на переднюю стенку тела матки.

Fig. 2. Reverberation at the interface between soft tissues and fluid (urinary bladder contents), partially extending onto the anterior wall of the uterine body.



Рис. 3. Реверберация металлической оплетки внутриматочного контрацептива, расположенного в полости матки.

Fig. 3. Reverberation of the metallic mesh of the intrauterine contraceptive device located within the uterine cavity.



Рис. 4. Акустический артефакт “хвост кометы” в виде нескольких мелких гиперэхогенных включений с сигналом треугольной формы, вершина которого направлена по ходу ультразвукового луча в ткани эндоцервикса.

Fig. 4. Acoustic “comet-tail” artifact appearing as several small hyperechoic foci with a triangular signal pattern, the apex directed along the path of the ultrasound beam into the endocervical tissue.

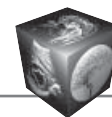


Рис. 5. Акустический артефакт “ring-down” (звонковый) в виде длинного гиперэхогенного следа, направленного по ходу ультразвукового луча в жидкостном содержимом кисты шейки матки.

Fig. 5. “Ring-down” acoustic artifact presented as a long hyperechoic trail directed along the ultrasound beam within the fluid contents of a cervical cyst.

исследования (рис. 6). Кроме изменения угла сканирования, также могут помочь использование тканевой гармоник, регулировка динамического диапазона, уменьшение общей чувствительности (gain).

В 1993 г. В.Н. Демидов и соавт. описали признаки хронического эндометрита (ХЭ), обратив внимание на неоднородную структуру эндометрия, повышенную эхогенность, расширение полости матки за счет жидкостного содержимого (рис. 7) [30]. В дальнейшем были добавлены дополнительные признаки, в том числе гиперэхогенные включения с акустическим феноменом, характерным для пузырьков газа (рис. 8) [31]. Чрезмерно гиперэхогенную и утолщенную срединную линию В.Н. Демидов и А.И. Гус связывают со скоплением мелких пузырьков газа в полости матки, которые, сливаясь, дают утолщенную, иногда удвоенную линию (рис. 9). Авторы отмечают, что наличие газа в полости является важным эхографическим признаком ХЭ, при этом реверберация служит диагностическим ориентиром.



Рис. 6. Внутриматочный контрацептив. **а** – реверберация в виде множественных параллельных линий с формированием акустической тени за контрацептивом; **б** – определяется небольшой фрагмент эндометрия, толщина которого 3,8 мм; **в** – косо-сагитальное сечение полости матки, на котором можно визуализировать эндометрий на некотором протяжении.

Fig. 6. Intrauterine contraceptive device. **a** – reverberation appearing as multiple parallel lines with formation of an acoustic shadow behind the device; **b** – a small fragment of endometrium is visualized, measuring 3.8 mm in thickness; **v** – oblique sagittal section of the uterine cavity, in which the endometrium is visualized over a portion of its length.





Рис. 7. Хронический эндометрит, жидкостное содержимое полости матки. **а** – полость расширена в средней трети; **б** – полость расширена в дне; **в** – полость расширена в нижней трети.

Fig. 7. Chronic endometritis with fluid contents of the uterine cavity. **a** – cavity expanded in the mid-third; **б** – cavity expanded at the fundus; **в** – cavity expanded in the lower third.



Рис. 8. Хронический эндометрит, мелкие гиперэхогенные включения с акустическим феноменом “хвост кометы”. **а** – пузырьки газа в эндометриальной ткани и в субэндометриальном слое; **б** – множественные пузырьки газа на линии смыкания стенок полости матки.

Fig. 8. Chronic endometritis with small hyperechoic inclusions exhibiting a “comet-tail” acoustic phenomenon. **a** – gas bubbles in the endometrial tissue and subendometrial layer; **б** – multiple gas bubbles along the apposition line of the uterine wall.

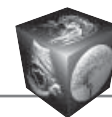


Рис. 8 (окончание). в – два изолированных пузырька газа в проекции базального слоя; г – единственный пузырек газа на срединной линии эндометрия.

Fig. 8 (end). в – two isolated gas bubbles in the projection of the basal layer; г – a solitary gas bubble on the midline of the endometrium.



Рис. 9. Хронический эндометрит, скопление мелких пузырьков газа в полости матки. а – чрезмерно выраженная, гиперэхогенная, утолщенная срединная линия на всем протяжении полости матки; б – удвоение чрезмерно гиперэхогенной срединной линии за счет небольшого зияния полости матки с жидкостным содержимым.

Fig. 9. Chronic endometritis with accumulation of small gas bubbles in the uterine cavity. а – excessively prominent, hyperechoic, thickened midline throughout the cavity; б – duplication of the excessively hyperechoic midline due to slight opening of the uterine cavity with fluid contents.

Цветовое и энергетическое картирование передает цветом движущиеся структуры или среды на фоне неподвижных, которые визуализируются оттенками серого. При реверберации часть отраженного сигнала возвращается к датчику с небольшой временной задержкой, что интерпретируется как доплеровский сдвиг частоты, соответствующий движению. Несмотря на то что эффекты “хвост кометы” и мерцания имеют разные физические основы их возникновения, они могут наблюдаться вместе, поскольку оба вызваны сложным отражением от неровной поверхности [18, 32]. В случае движения мягких тканей, перемещения внутриполостной жидкости или пузырьков газа их колебания могут детектироваться как артефакт-

ное цветовое окрашивание красного, синего или смешанного спектра (“color blooming”) вне сосудов [4, 32]. Реверберационные сигналы имитируют кровоток, формируя ложные цветовые пятна при наличии инородного тела или вдоль чрезмерно выраженной срединной линии эндометрия (рис. 10–12). Использование спектральной доплерографии, при которой отсутствует типичный артериальный или венозный кровоток, а также изменение угла инсонации и применение фильтров позволяют подтвердить артефактный характер сигнала (рис. 13). Таким образом, артефакт реверберации в доплеровских режимах способен как имитировать патологическую васкуляризацию, так и затруднять визуализацию реальных сосудов.



Однако понимание его природы и применение простых приемов верификации позволяют избежать диагностических ошибок и повысить достоверность оценки сосудистого рисунка матки и эндометрия.

Большинство исследований, посвященных значению объемных индексов кровотока, таких как васкуляризационного индекса (VI), потокового индекса (FI) и васкуляризационно-потокового индек-

са (VFI) эндометрия, фокусируются на их клинической интерпретации (оценка рецептивности, репродуктивная функция, опухоли эндометрия) и лишь косвенно упоминают зависимость этих индексов от параметров сканирования и качества изображения [33–36]. В то же время в ряде технических и методологических обзоров подчеркивается, что настройки усиления, фильтров, PRF и угла инсонации оказывают существенное влия-

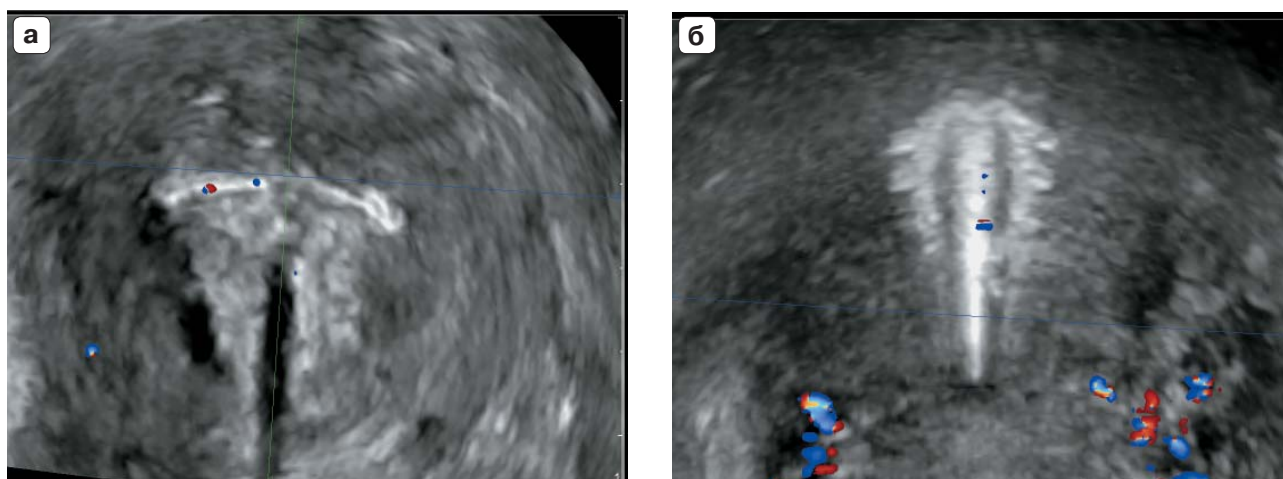


Рис. 10. Акустический артефакт ложных цветowych пятен (“color blooming”) при наличии внутриматочного контрацептива, 3D-реконструкция в ангиорежиме. **а** – внесосудистое окрашивание горизонтальных ветвей; **б** – цветочные сигналы на вертикальной ветви

Fig. 10. False color spots artifact (“color blooming”) in the presence of an intrauterine contraceptive device, 3D angio-mode reconstruction. **a** – extravascular coloration of horizontal branches; **b** – color signals on the vertical branch.

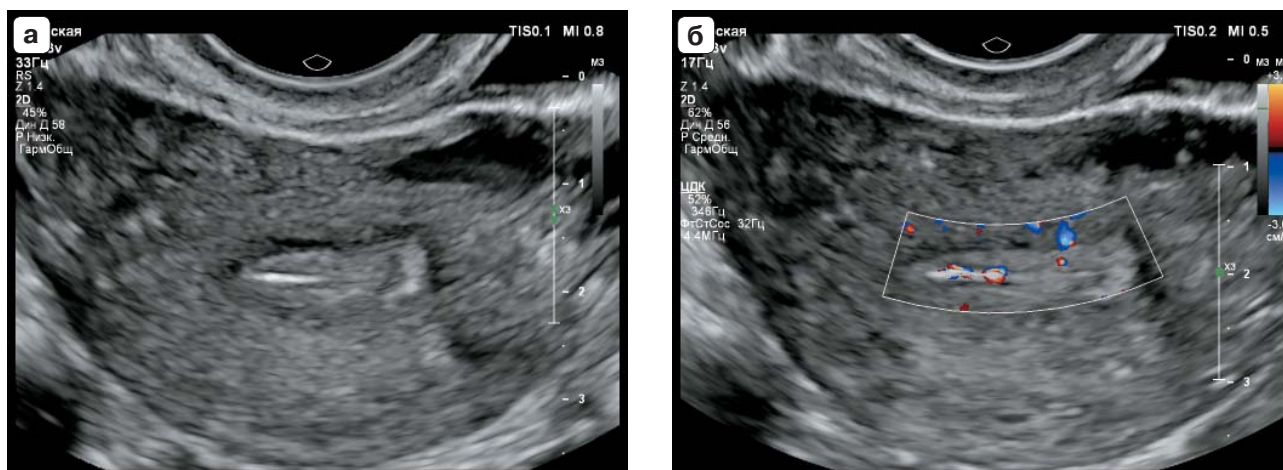


Рис. 11. Хронический эндометрит, акустический артефакт ложных цветowych пятен (“color blooming”) на срединной линии эндометрия, матка во фронтальном сечении. **а** – чрезмерно выраженная линия смыкания листков эндометрия правой половины полости матки, В-режим; **б** – появление цветочного окрашивания этой линии при включении ЦДК со скоростью шкалой 3 см/с

Fig. 11. Chronic endometritis, false color spots artifact (“color blooming”) on the midline of the endometrium, uterus in frontal view. **a** – excessively conspicuous apposition line of the endometrial leaflets on the right side of the cavity, B-mode; **b** – appearance of color mapping along this line when color Doppler is activated with a velocity scale of 3 cm/s.

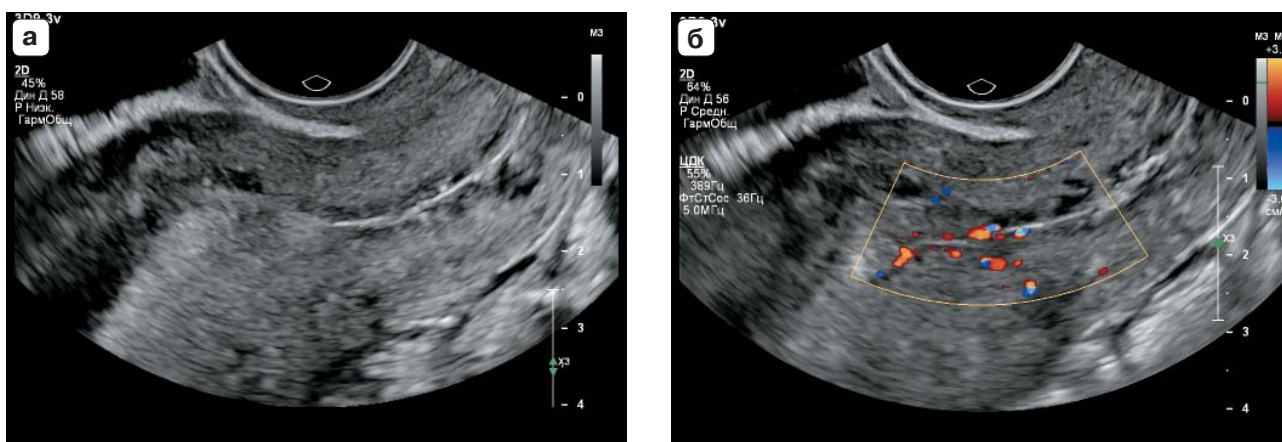
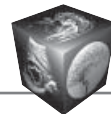


Рис. 12. Хронический эндометрит, акустический артефакт ложных цветowych пятен (“color blooming”) на срединной линии эндометрия в нижней трети полости матки. **а** – чрезмерно гиперэхогенная линия смыкания листков эндометрия, аналогичная линия цервикального канала, сагиттальная плоскость, В-режим; **б** – появление цветовой окраски срединной линии эндометрия при включении ЦДК со скоростью шкалой 3 см/с.

Fig. 12. Chronic endometritis, false color spots artifact (“color blooming”) on the midline of the endometrium in the lower third of the uterine cavity. **a** – excessively hyperechoic apposition line of the endometrial leaflets, analogous to the cervical canal line, sagittal plane, B-mode; **б** – appearance of color mapping along the midline of the endometrium with color Doppler at a velocity scale of 3 cm/s.

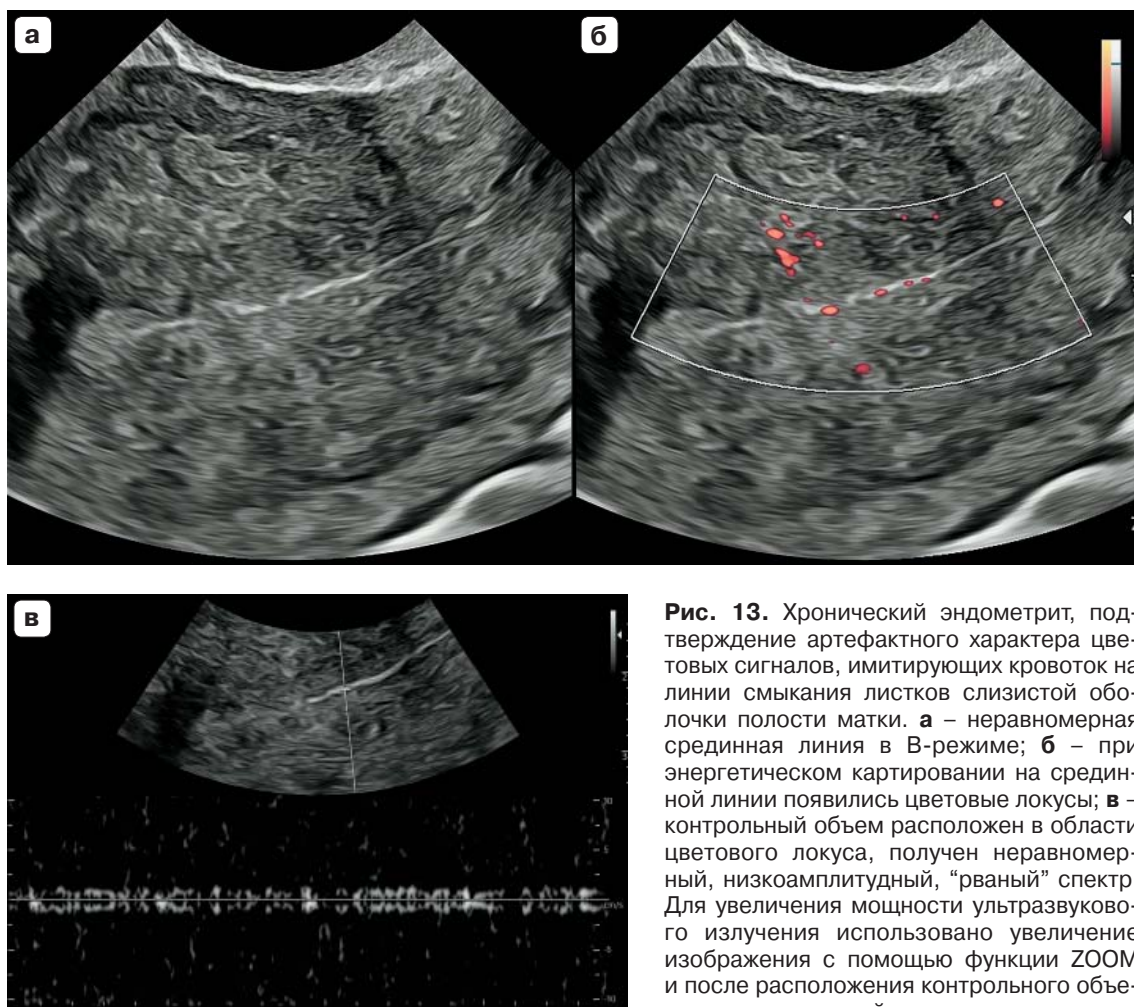


Рис. 13. Хронический эндометрит, подтверждение артефактного характера цветowych сигналов, имитирующих кровотоки на линии смыкания листков слизистой оболочки полости матки. **а** – неравномерная срединная линия в В-режиме; **б** – при энергетическом картировании на срединной линии появились цветowych локусы; **в** – контрольный объем расположен в области цветowych локуса, получен неравномерный, низкоамплитудный, “рваный” спектр. Для увеличения мощности ультразвукового излучения использовано увеличение изображения с помощью функции ZOOM и после расположения контрольного объема в интересующей зоне отключили энергетическое картирование.



Fig. 13. Chronic endometritis, confirmation of the artifactual nature of color signals that simulate blood flow along the apposition line of the mucosal leaflets of the uterine cavity. **а** – irregular apposition line in B-mode; **б** – on power Doppler mapping, color loci appear along the apposition line; **в** – sample volume positioned over a color locus yields an uneven, low-amplitude, “fragmented” spectrum. To increase the ultrasound output power, image magnification was applied using ZOOM, and after placing the sample volume in the region of interest, power Doppler was turned off.

ние на значения сосудистых индексов, а наличие артефактов, таких как реверберация, боковые лепестки или “color blooming”, может приводить к ложному повышению показателей васкуляризации [37–39].

У пациенток с ХЭ при использовании 3D-реконструкции в ангиорежиме для оценки гемодинамики эндометрия эффект ложных цветowych пятен выявляется достаточно часто. Располагаются они в участках высокой эхогенности, что наилучшим образом визуализируется в корональном сечении эндометрия (рис. 14). Трудность состоит в том, что одним из признаков ХЭ является нарушение венозного оттока не только в эндометриальной ткани, но и в теле матки, проявляющееся повыше-

нием VI и VFI. В тех случаях, когда имеется большое количество цветowych сигналов, особенно расположенных в гиперэхогенных зонах, а также по срединной линии, следует с большой осторожностью расценивать их как проявление гиперваскуляризации (рис. 15). Также следует подвергнуть сомнению обнаружение цветowych сигналов на срединной линии эндометрия как свидетельство адекватного кровоснабжения ткани при оценке рецептивности эндометрия по шкале Аппельбаум (Applebaum Uterine Scoring) [40] в связи с тем, что в этих случаях необходима более тщательная дифференциальная диагностика с ХЭ и сопутствующим эффектом реверберации, “цветowych пятен” при ЦДК.

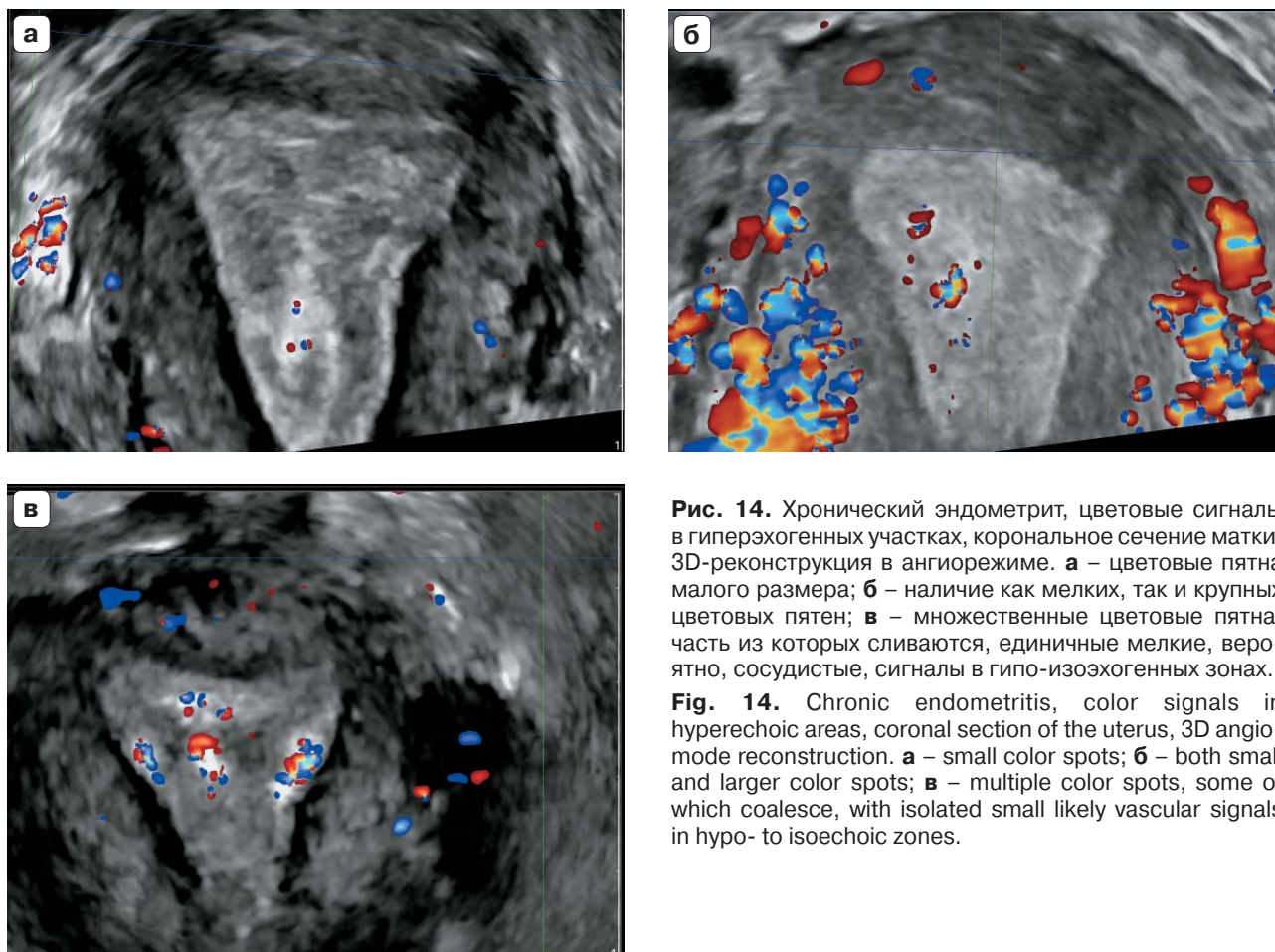


Рис. 14. Хронический эндометрит, цветowych сигналы в гиперэхогенных участках, корональное сечение матки, 3D-реконструкция в ангиорежиме. **а** – цветowych пятна малого размера; **б** – наличие как мелких, так и крупных цветowych пятен; **в** – множественные цветowych пятна, часть из которых сливаются, единичные мелкие, вероятно, сосудистые, сигналы в гипо-изоэхогенных зонах.

Fig. 14. Chronic endometritis, color signals in hyperechoic areas, coronal section of the uterus, 3D angiography reconstruction. **а** – small color spots; **б** – both small and larger color spots; **в** – multiple color spots, some of which coalesce, with isolated small likely vascular signals in hypo- to isoechoic zones.

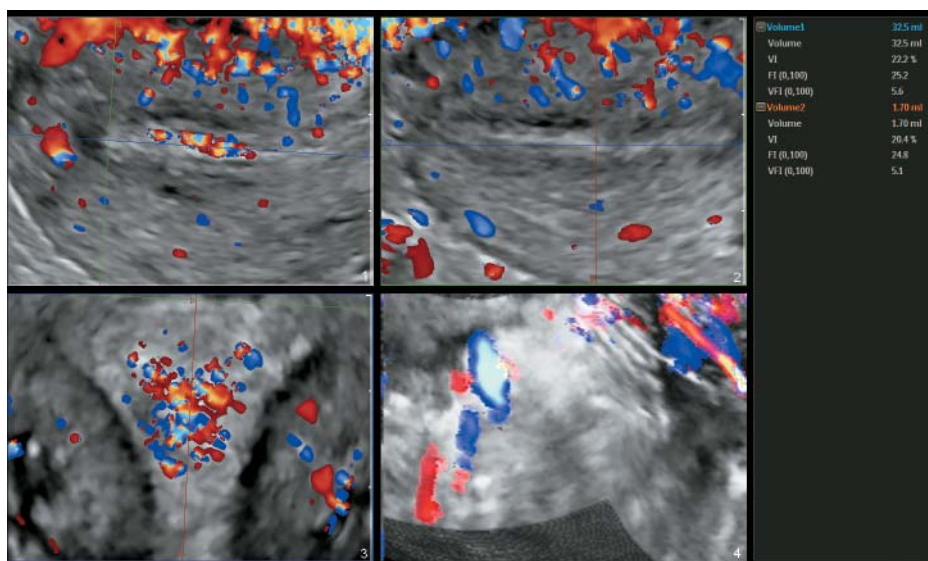
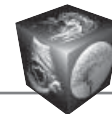


Рис. 15. Хронический эндометрит, показатели кровоснабжения матки: VI 22,2%, FI 25,2, VFI 5,6; эндометрия – VI 20,4%, FI 24,8, VFI 5,1. Данные значения свидетельствуют о выраженной гипervasкуляризации эндометрия, однако расположение цветовых сигналов по ходу линии смыкания листков эндометрия в средней трети полости, сливные цветовые пятна в гиперэхогенных зонах характерны для артефакта ложных цветовых пятен и не позволяют подтвердить сосудистые нарушения эндометриальной ткани.

Fig. 15. Chronic endometritis, uterine perfusion parameters: VI 22.2%, FI 25.2, VFI 5.6; endometrial perfusion: VI 20.4%, FI 24.8, VFI 5.1. These values indicate pronounced endometrial hypervascolarization; however, the distribution of color signals along the apposition line of the endometrial leaflets in the mid-third of the cavity and the coalescing color spots in hyperechoic areas are characteristic of the false color spots artifact and do not support confirmation of vascular pathology in the endometrial tissue.

В клинической гинекологической практике реверберационные артефакты наиболее часто приводят к гипердиагностике полипов, гиперплазии и ложной васкуляризации эндометрия. Для их предотвращения рекомендуется:

- менять угол сканирования и положение датчика;
- регулировать усиление и динамический диапазон;
- использовать тканевую гармонику;
- сопоставлять данные В-режима и ЦДК/ЭДК;
- учитывать фазу цикла и клинические данные.

Современные исследования подчеркивают, что точность оценки VI, FI и VFI зависит от стандартизации протоколов 3D-ангиосканирования и устранения артефактов. Реверберация, являясь источником ложных цветовых сигналов, требует особого внимания при интерпретации объемных индексов кровотока. Один из основоположников применения 3D-ангиографии в гинекологии J.L. Alcázar в 2008 г. предложил Международному обществу ультразвука в акушерстве и гинекологии (ISUOG) дать рекомендации по стандартизации настроек прикладной программы VOCAL [41], однако до сих пор такие рекомендации отсутствуют.

В связи с тем, что существующая доказательная база позволяет лишь теоретически обосновать возможность искажения VI, FI и VFI при реверберации и не дает количественной оценки степени этого влияния, необходимы экспериментальные

и клинические исследования, направленные на стандартизацию протоколов трехмерной доплерографии и верификацию достоверности объемных сосудистых индексов при наличии ультразвуковых артефактов.

Таким образом, реверберация в ультразвуковой диагностике матки и эндометрия имеет двойственное значение. С одной стороны, она может исказить изображение и затруднять диагностику, с другой – служить ценным индикатором акустических свойств тканей и наличия внутриполостных структур.

Закключение

Артефакт реверберации – неотъемлемая часть ультразвукового изображения, в том числе при исследовании матки и эндометрия. При неосведомленности он может служить источником диагностических ошибок, однако при правильной оценке становится диагностической подсказкой, отражающей физическое состояние полости матки.

Понимание природы реверберации, ее влияния на В-режим, цветовое и энергетическое картирование, а также осознание возможных искажений индексов VI, FI и VFI позволяют повысить точность и достоверность ультразвуковой диагностики. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на количественную оценку влияния артефактов и разработку стандартов для надежного анализа объемного кровотока в эндометрии.

**Участие авторов**

Озерская И.А. – концепция и дизайн исследования, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Казарян Г.Г. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста.

Минашкина Е.В. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста.

Арбузов Ю.О. – участие в научном дизайне.

Authors' participation

Ozerskaya I.A. – concept and design of the study, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

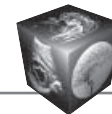
Kazaryan G.G. – review of publications, writing text, text preparation and editing.

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

Arbuzov Yu.O. – participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Ziskin M.C., Thickman D.I., Goldenberg N.J. et al. The comet tail artifact. *J. Ultrasound Med.* 1982; 1 (1): 1–7. <https://doi.org/10.7863/jum.1982.1.1.1>
2. Thickman D.I., Ziskin M.C., Goldenberg N.J., Linder B.E. Clinical manifestations of the comet tail artifact. *J. Ultrasound Med.* 1983; 2 (5): 225–230. <https://doi.org/10.7863/jum.1983.2.5.225>
3. Kremkau F.W., Taylor K.J. Artifacts in ultrasound imaging. *J. Ultrasound Med.* 1986; 5 (4): 227–237. <https://doi.org/10.7863/jum.1986.5.4.227>
4. Громов А.И., Кубова С.Ю. Ультразвуковые артефакты. М.: Издательский дом Видар М, 2007. 64 с. Gromov A.I., Kubova S.Yu. Ultrasonic artifacts. Moscow: Vidar M Publishing House, 2007. 64 p. (In Russian)
5. Feldman M.K., Katyal S., Blackwood M.S. US artifacts. *Radiographics.* 2009; 29 (4): 1179–1189. <https://doi.org/10.1148/rg.294085199>
6. Kuwano M., Maruyama H., Kondo T. et al. Multiple comet tail artifacts in the liver: a case of congenital hepatic fibrosis showing unusual biliary appearance. *J. Med. Ultrason.* (2001). 2014; 41 (3): 377–380. <https://doi.org/10.1007/s10396-014-0519-y>
7. Prabhu S.J., Kanal K., Bhargava P. et al. Ultrasound artifacts: classification, applied physics with illustrations, and imaging appearances. *Ultrasound Q.* 2014; 30 (2): 145–157. <https://doi.org/10.1097/RUQ.0b013e3182a80d34>
8. Hosek W.T., Gullett J. Soft tissue ultrasound and the comet tail artifact. *Acad. Emerg. Med.* 2010; 17 (6): e41–42. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2010.00757.x>
9. Bahçecioğlu A.B., Gürsoy A., Dizbay Sak S. et al. The sonographer's and pathologist's perspective of echogenic microfoci in papillary thyroid carcinoma. *Eur. Thyroid J.* 2023; 12 (6): e230108. <https://doi.org/10.1530/ETJ-23-0108>
10. Hodson D.Z., Kumwenda T., Wallrauch C. et al. Subtle Sonographic Signs of Disseminated Tuberculosis: A Case Report and Narrative Literature Review. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2024; 111 (3): 529–534. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.24-0100>
11. Marchetti P., De Peppo F., Ceriati E., Adorisio O. Comet-tail artefacts and abdominal pain: radiological mistake or an underestimated event? *BMJ Case Rep.* 2013; 2013: bcr2013009896. <https://doi.org/10.1136/bcr-2013-009896>
12. Safai Zadeh E., Görg C., Prosch H. et al. Lung Ultrasound and Pleural Artifacts: A Pictorial Review. *Diagnostics (Basel)*. 2024; 14 (2): 179. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14020179>
13. Lahel R.S., Mathur S. Sonographic "Comet Tail" Artifacts in the Urinary Bladder in a Case of Type V Hyperlipidemia: A Previously Unreported Association. *J. Med. Ultrason.* 2024; 32 (4): 334–336. https://doi.org/10.4103/jmu.jmu_79_23
14. Rana S.S., Gupta R. Comet Tail Artifacts in Pseudocyst on Endoscopic Ultrasound. *Dig. Dis. Sci.* 2024; 69 (5): 1522–1523. <https://doi.org/10.1007/s10620-024-08336-6>
15. Cheong I., Pérez Fernández I., Andriani O.C., Tamagnone F.M. Point-of-care ultrasound in the diagnosis of hepatic gas gangrene. *J. Ultrasound.* 2025. <https://doi.org/10.1007/s40477-025-00985-1>
16. Chou H.C., Chong K.M., Sim S.S. et al. Real-time tracheal ultrasonography for confirmation of endotracheal tube placement during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation.* 2013; 84 (12): 1708–1712. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.06.018>
17. Chen N., Chen H.J., Chen T. et al. Emphysematous thrombophlebitis caused by a misplaced central venous catheter: A case report. *Wld J. Clin. Cases.* 2023; 11 (29): 7207–7213. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v11.i29.7207>
18. Ozan E., Atac G.K., Gundogdu S. Twinkling artifact on color Doppler ultrasound: an advantage or a pitfall? *J. Med. Ultrason.* (2001). 2016; 43 (3): 361–371. <https://doi.org/10.1007/s10396-016-0715-z>
19. Tchelepi H., Ralls P.W. Color comet-tail artifact: clinical applications. *Am. J. Roentgenol.* 2009; 192 (1): 11–18. <https://doi.org/10.2214/AJR.07.3893>
20. Hügel U., Rosenov A., Baumgartner I., Thalhammer C. Farbkodierte Duplexsonografie der Gefäße in der Praxis: Artefakte [Vascular Color-Coded Duplex Ultrasound in Practice: Artifacts]. *Praxis (Bern 1994)*. 2019; 108 (10): 679–684. <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a003276> (In German)
21. Громов А.И., Сапожников О.А., Каприн А.Д. Доплеровский артефакт мерцания: физические механизмы и место в диагностической практике. Современное состояние вопроса. *Медицинская визуализация.* 2023; 27 (1): 120–134. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1206> Gromov A.I., Sapozhnikov O.A., Kaprin A.D. Doppler flicker artifact: physical mechanisms and place in diagnostic practice. Current state of the issue. *Medical Visualization.* 2023; 27 (1): 120–134. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1206> (In Russian)
22. Рязанов В.В., Садыкова Г.К., Железняк И.С., Куценко В.П., Либерт А.А., Постановов Р.А., Кузнецова Н.Ю., Столова Э.Н. Информативность доплеровского артефакта мерцания в диагностике конкрементов мочевыводящих путей. *Известия Российской военно-медицинской академии.* 2023; 42 (3): 285–292. <https://doi.org/10.17816/rmmar528480> Ryazanov V.V., Sadykova G.K., Zheleznyak I.S. et al. Information content of the Doppler flickering artifact in the diagnosis of urinary tract stones. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2023; 42 (3): 285–292. <https://doi.org/10.17816/rmmar528480> (In Russian)
23. Najarian K.E., Kurtz A.B. New observations in the sonographic evaluation of intrauterine contraceptive devices. *J. Ultrasound Med.* 1986; 5 (4): 205–210. <https://doi.org/10.7863/jum.1986.5.4.205>
24. Complete uterine perforation by an intrauterine contraceptive device. *Appl. Radiol.* 2005. <https://doi.org/10.1007/s10396-014-0519-y>



- appliedradiology.com/articles/complete-uterine-perforation-by-an-intrauterine-contraceptive-device?utm_source (дата обращения 9.12.2025)
25. Nowitzki K.M., Hoimes M.L., Chen B. et al. Ultrasonography of intrauterine devices. *Ultrasonography*. 2015; 34 (3): 183–194. <https://doi.org/10.14366/usg.15010>
 26. Демидов В.Н., Гус А.И. Патология полости матки и эндометрия. ВМК. Практическое пособие. Выпуск третий. М., 2001. 138 с.
Demidov V.N., Gus A.I. Pathology of the uterine cavity and endometrium. VMC. Practical manual. Third edition. Moscow, 2001. 138 p. (In Russian)
 27. Zalud I., Rocha F. Artifacts, Pitfalls and Normal Variants. Donald School J. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2012; 6 (1): 1–8. <http://doi.org/10.5005/jp-journals-10009-1221>
 28. Feng Y., Chen Y., Wu Q. et al. A retrospective case series at a tertiary hospital in China: ultrasonographic features of Struma ovarii. *BMC Cancer*. 2025; 25 (1): 1180. <https://doi.org/10.1186/s12885-025-14606-x>
 29. Feldman M.K., Katyal S., Blackwood M.S., Bönhof J.A. Ultrasound Artifacts – Part 1. *Ultraschall Med.* 2016; 37 (2): 140–153; quiz 154–155. <https://doi.org/10.1055/s-0041-107766>
 30. Демидов В.Н., Демидов Б.С., Марченко Л.А. Эхографические критерии хронического эндометрита. *Ультразвуковая диагностика в акушерстве, гинекологии и педиатрии*. 1993; 4: 21–28.
Demidov V.N., Demidov B.S., Marchenko L.A. Sonographic criteria for chronic endometritis. *Ultrasound Diagnostics in Obstetrics, Gynecology and Pediatrics*. 1993; 4: 21–28. (In Russian)
 31. Демидов В.Н., Гус А.И. Патология полости матки и эндометрия. ВМК. Практическое пособие. Выпуск четвертый. М.: БИНОМ, 2016. 160 с.
Demidov V.N., Gus A.I. Pathology of the uterine cavity and endometrium. VMC. Practical guide. Issue four. M.: BINOM, 2016. 160 p. (In Russian)
 32. Ribić M., Coce N., Filipović-Grčić L. et al. Comet tail artifacts in gray scale ultrasound and colour doppler ultrasound in various anatomical regions and their clinical significance. *Med.Sci.* 2025. 567 (70–71): 102–108. <https://doi.org/10.21857/94kl4c1zzm>
 33. Alcázar J.L. Three-dimensional ultrasound assessment of endometrial receptivity: a review. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2006; 4: 56. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-4-56>
 34. Ng E.H.Y., Chan C.C.W., Tang O.S. et al. Endometrial and subendometrial blood flows measured by three-dimensional power Doppler ultrasound in the prediction of pregnancy during IVF treatment. *Hum. Reprod.* 2006; 21 (1): 164–170. <https://doi.org/10.1093/humrep/dei277>
 35. Martins W.P., Raine-Fenning N.J. Analysis and acquisition reproducibility of 3D power Doppler. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2010; 36 (3): 392–393; author reply 393–394. <https://doi.org/10.1002/uog.7757>
 36. Liu Y., Yue Q., Wang L. et al. Using 2D/3D ultrasound observation of endometrial thickness, endometrial volume, and blood flow changes to predict the outcome of frozen embryo transfer cycles: a prospective study. *Quant. Imaging. Med. Surg.* 2023; 13 (6): 3915–3926. <https://doi.org/10.21037/qims-22-705>
 37. Terslev L., Diamantopoulos A.P., Døhn U.M. et al. Settings and artefacts relevant for Doppler ultrasound in large vessel vasculitis. *Arthr. Res. Ther.* 2017; 19 (1): 167. <https://doi.org/10.1186/s13075-017-1374-1>
 38. Baad M., Lu Z.F., Reiser I., Paushter D. Clinical Significance of US Artifacts. *Radiographics*. 2017; 37 (5): 1408–1423. <https://doi.org/10.1148/rg.2017160175>
 39. Quien M.M., Saric M. Ultrasound imaging artifacts: How to recognize them and how to avoid them. *Echocardiography*. 2018; 35 (9): 1388–1401. <https://doi.org/10.1111/echo.14116>
 40. Applebaum M. The uterine biophysical profile. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 1995; 5 (1): 67–68. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.1995.05010067.x>
 41. Alcázar J.L. Three-dimensional power Doppler derived vascular indices: what are we measuring and how are we Doing it? *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2008; 32 (4): 485–487. <https://doi.org/10.1002/uog.6144>

Для корреспонденции*: Озерская Ирина Аркадиевна – e-mail: ozerskaya_usd@mail.ru

Озерская Ирина Аркадиевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры ультразвуковой диагностики факультета непрерывного медицинского образования медицинского института ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН)” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Казарян Гаяне Геворковна – канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики ООО “Медскан”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>

Минашкина Елена Владимировна – врач ультразвуковой диагностики ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва; врач ультразвуковой диагностики Центра репродукции и генетики “Нова клиник” ООО “МедИнСервис”, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-3548-7944>

Арбузов Юрий Олегович – врач ультразвуковой диагностики ООО “Клиника лечения боли “МЕДИКА”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0006-4845-3561>

Contact*: Irina A. Ozerskaya – e-mail: ozerskaya_usd@mail.ru

Irina A. Ozerskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Faculty of Continuing Medical Education of the Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Gayane G. Kazaryan – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of ultrasound, LLC “Medskan”, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>

Elena V. Minashkina – Physician of Ultrasonographic Diagnostics, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); Physician of Ultrasonographic Diagnostics, Center for Reproduction and Genetics “Nova Clinic”, MedInService LLC, Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-3548-7944>

Yury O. Arbuzov – Physician of Ultrasonographic Diagnostics, Pain Treatment Clinic MEDICA LLC, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0009-0006-4845-3561>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1559>



Качество автоматизированного выявления синусита по результатам рентгенографии в условиях практического здравоохранения (проспективное диагностическое исследование)

© Бажин А.В.¹, Владимирский А.В.^{1,2}, Арзамасов К.М.¹,
Васильев Ю.А.¹, Семенов С.С.^{1*}

¹ ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”; 127051 Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1, Российская Федерация

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

Цель исследования: изучить диагностическую точность программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ) для диагностики верхнечелюстного и фронтального синусита (J01, J32) при его применении в условиях практического здравоохранения по данным рентгенографии.

Материал и методы. Проведено проспективное диагностическое исследование (10.2023–12.2024) по методологии STARD 2015. Индекс-тест – четыре анонимизированных ИИ-сервиса для анализа рентгенографии околоносовых пазух, интегрированные в ЕРИС ЕМИАС в рамках Московского Эксперимента. Референс-тест – оригинальная методология клинического мониторинга с двойным экспертным пересмотром, оценкой точности по критериям “трактовка” и “локализация”, расчетом чувствительности, специфичности и AUC. После тестирования в контуре ЕРИС ЕМИАС ИИ-сервисы работали с реальными данными, ежемесячно проходили клинический мониторинг.

Результаты. С октября 2023 г. по декабрь 2024 г. ИИ-сервисы проанализировали 126 547 рентгенограмм околоносовых пазух, из них 53% обработал ИИ-сервис-4. Объемы исследований варьировали в связи с разной продолжительностью работы сервисов.

Регулярный клинический мониторинг охватил 2320 рентгенограмм. Оценивалась правильность выявления патологии, точность ее классификации и локализации. Наивысшая диагностическая точность отмечена у ИИ-сервисов-1 и 2 (AUC 0,98 и 0,95; интегральная оценка – 95,1 и 83,3% соответственно). Они продемонстрировали высокую специфичность и точную локализацию патологий.

ИИ-сервисы-3 и 4 показали худшие результаты (AUC 0,89; интегральная оценка – 76,6 и 79,4% соответственно) с более низкой специфичностью у ИИ-сервиса-3 (0,65).

Выводы. В рамках Московского Эксперимента ИИ-сервисы успешно проанализировали 126 547 рентгенограмм околоносовых пазух (2023–2024 гг.), показав средний уровень точности (AUC 0,93) и качества (83,6%). Полученные результаты подтверждают применимость ИИ в клинической практике.

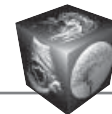
Различия в точности между сервисами требуют регулярного мониторинга безопасности и качества. Разработанные методологии позволяют эффективно проводить такой контроль. Достигнутый уровень качества открывает перспективы трансформации взаимодействия врачей разных специальностей, что станет темой будущих исследований.

Ключевые слова: искусственный интеллект; рентгенография; синусит; клинический мониторинг; ЕРИС ЕМИАС; программное обеспечение на основе технологий искусственного интеллекта

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Бажин А.В., Владимирский А.В., Арзамасов К.М., Васильев Ю.А., Семенов С.С. Качество автоматизированного выявления синусита по результатам рентгенографии в условиях практического здравоохранения (проспективное диагностическое исследование). *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 110–123. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1559>

Поступила в редакцию: 12.05.2025. Принята к печати: 30.05.2025. Опубликовано online: 11.02.2026.



The quality of automated detection of sinusitis based on radiography results in practical healthcare (prospective diagnostic study)

© Alexander V. Bazhin¹, Anton V. Vladzymyrskyy^{1, 2}, Kirill M. Arzamasov¹, Yuriy A. Vasilev¹, Serafim S. Semenov^{1*}

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 24/1, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation

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

Purpose. To study the diagnostic accuracy of software based on artificial intelligence technologies for the diagnosis of maxillary and frontal sinusitis (J01, J32) when used in practical healthcare.

Materials and methods. Prospective diagnostic study (10.2023–12.2024) using the STARD 2015 methodology. The Index Test is four anonymized AI services for analyzing the X-ray imaging of the paranasal sinuses, integrated into Unified Radiological Information Service (ERIS) as part of the Moscow Experiment. The Reference Standard is an original methodology of clinical monitoring with a double expert review, an assessment of accuracy according to the criteria of “interpretation” and “localization”, calculation of sensitivity, specificity and AUC. After testing in the ERIS circuit, the AI services worked with real data and underwent monthly clinical monitoring.

Results. From October 2023 to December 2024, AI services analyzed 126,547 radiographs of the paranasal sinuses, of which 53% were processed by AI service-4. The scope of the research varied due to the different duration of the services.

Regular clinical monitoring covered 2,320 radiographs. The correctness of pathology detection, the accuracy of its classification and localization were evaluated. The highest diagnostic accuracy was found in AI services-1 and 2 (AUC 0.98 and 0.95; integral score – 95.1% and 83.3%). They demonstrated high specificity and precise localization of pathologies.

AI services-3 and 4 demonstrated comparatively lower results (AUC 0.89; integral score – 76.6% and 79.4%), with lower specificity for AI service-3 (0.65).

Conclusions. As part of the Moscow Experiment, AI services successfully analyzed 126,547 radiographs of the paranasal sinuses (2023–2024), showing an average level of accuracy (AUC 0.93) and quality (83.6%). The results obtained confirm the applicability of AI in clinical practice.

Differences in accuracy between services require regular monitoring of safety and quality. The developed methodologies make it possible to effectively carry out such control. The achieved level of quality opens prospects for the transformation of the interaction of doctors of different specialties, which will be the topic of future research.

Keywords: artificial Intelligence; X-ray (Radiography); sinusitis; clinical Monitoring; unified Radiological Information Service (ERIS); software based on artificial intelligence technologies

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

For citation: Bazhin A.V., Vladzymyrskyy A.V., Arzamasov K.M., Vasilev Yu.A., Semenov S.S. The quality of automated detection of sinusitis based on radiography results in practical healthcare (prospective diagnostic study). *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 110–123. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1559>

Received: 12.05.2025.

Accepted for publication: 30.05.2025.

Published online: 11.02.2026.

Введение

В последние годы и в Российской Федерации, и в глобальной перспективе имеет место стойкая тенденция к росту заболеваемости синуситом [1–6]. Каждый год регистрируется свыше 10 млн случаев острого заболевания, а в целом до 17,0% взрослого населения страдает различными формами синусита [1–6]. Очевидно, что такое количество пациентов создает нагрузку на службы лучевой диагностики, особенно первичного звена

здравоохранения. Так, по данным статистической формы № 30 за 2023 г. количество выполненных рентгенограмм околоносовых пазух в Российской Федерации превысило 3,5 млн. Для более эффективного использования дефицитных кадровых ресурсов, сокращения сроков ожидания медицинской помощи и повышения ее качества необходимо использовать и те возможности автоматизации процессов, которые обеспечивают технологии искусственного интеллекта (ИИ). Однако потенци-



альные возможности требуют изучения в соответствии с принципами доказательной медицины.

Технологии ИИ в оториноларингологии находятся на начальном этапе своего развития. Ряд авторов отмечают наличие значительного потенциала ИИ для улучшения качества диагностических и лечебных процедур. Среди основных проблем указывают на возможные нарушения в области конфиденциальности персональных данных и общей информационной безопасности [7]. В России и в мире ведутся разработки решений для автоматизированного анализа медицинской визуализации в контексте диагностики заболеваний среднего уха, гортани, носоглотки [8–10]. Вместе с тем количество таких научных работ минимально, а качественно практически все они представляют собой ограниченные лабораторные исследования.

С 2020 г. в Москве проводится эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения города Москвы (mosmed.ai). В его рамках десятки продуктов на основе технологий ИИ (так называемые ИИ-сервисы) работают в условиях практического здравоохранения, проходя при этом всестороннюю оценку, в том числе с применением оригинальных, специально разработанных методологий. В настоящее время Московский Эксперимент – это крупнейшее в мире проспективное многоцентровое клиническое исследование применимости, безопасности и качества технологий ИИ в лучевой диагностике [11]. Уникальное отличие Московского Эксперимента заключается в том, что тестирование ИИ-сервисов на эталонных наборах данных (общепринятое и фактически осуществляемое в 90,0% научных публикациях на тему ИИ) – всего лишь один, относительно небольшой его этап. Ключевой и наиболее масштабный компонент Московского Эксперимента – это изучение ИИ-сервисов в условиях эксплуатации в практическом здравоохранении, т.е. в процессе их работы с потоком результатов лучевых исследований. Здесь открываются уникальные возможности для всестороннего изучения качества, точности и эффектов от внедрения технологий ИИ, причем в контексте решения конкретной клинической задачи.

Цель исследования: изучить диагностическую точность программного обеспечения на основе технологий ИИ для диагностики верхнечелюстного и фронтального синусита (J01, J32) при его применении в условиях практического здравоохранения.

Материал и методы

Дизайн: проспективное диагностическое исследование по методологии “STARD 2015”.

Период проведения исследования: 10.2023–12.2024 гг.

Индекс-тест (исследуемый метод) – программный продукт на основе технологий ИИ (ИИ-сервис) для анализа результатов рентгенографии околоносовых пазух, интегрированный в Единый радиологический информационный сервис Единой медицинской информационно-аналитической системы Москвы (ЕРИС ЕМИАС) в соответствии с процедурами Московского Эксперимента.

В исследование включены ИИ-сервисы:

1. AI RADIOLOGY SXR (АНО ВО “Университет Иннополис”).

2. АПК АрхиМед Ivory AI Nose X (ООО “АртВижн”).

3. Просвет. РГ лицевого черепа. Синусит (ООО “Оксиджен Технолоджиес Рус”).

4. А-рг-синусит (ООО “Эйрвэй ИИ”).

Для обеспечения непредвзятого изложения и оценки в последующем тексте статьи ИИ-сервисы анонимизированы.

Референс-тест: оригинальная методология клинического мониторинга работы технологий ИИ в условиях практического здравоохранения. Включает регулярные процедуры формирования выборки, отвечающей установленным требованиям; двойной экспертный пересмотр; оценку результатов работы ИИ-сервисов по критериям “трактовка (заключение)” и “локализация (маркировка)” патологии, определение интегральной клинической оценки (стремится к 100,0%); построение четырехпольной таблицы результатов и расчет показателей чувствительности, специфичности, площади под характеристической кривой [12–14].

В рамках Московского Эксперимента [11] каждый ИИ-сервис интегрировался в тестовый контур ЕРИС ЕМИАС и проходил процедуры входного тестирования. При выполнении установленных требований к надежности и качеству ИИ-сервис получал допуск в промышленный контур ЕРИС ЕМИАС для работы с реальным потоком результатов лучевых исследований. Ежемесячно проводились процедуры клинического мониторинга, позволяющие оценивать качество и точность работы ИИ-сервиса в условиях практического здравоохранения.

Ежемесячный мониторинг каждого ИИ-сервиса проводился на всей совокупности данных, доступной в рамках Московского Эксперимента, т.е. анализировались все исследования, направленные на обработку ИИ-сервисам за отчетный период. Для клинической части мониторинга формиро-



валась подвыборка в соответствии с утвержденными нормативными документами и методическими подходами Московского Эксперимента.

Для направления “диагностика верхнечелюстного и фронтального синусита (J01, J32)” на разных этапах Московского Эксперимента объемы выборок составляли 80 или 400 исследований, что соответствовало установленным регламентам и этапам проведения мониторинга ИИ-сервисов. Итоговый размер выборки для каждого ИИ-сервиса в данной работе определяется как сумма всех подвыборок, сформированных за весь исследуемый период, с учетом количества отчетных периодов, которые прошел каждый сервис.

Для статистического анализа данных использовались стандартные методы оценки диагностической точности, включая построение четырехпольных таблиц и расчет чувствительности, специфичности, площади под ROC-кривой (AUC). Расчеты проводились с использованием Python (библиотеки pandas, scikit-learn, statsmodels). Для каждой диагностической оценки представлены 95% доверительные интервалы, рассчитанные методом Уилсона (для чувствительности и специфичности), методом ДеЛонга (для AUROC).

Результаты исследования

С октября 2023 г. по декабрь 2024 г. ИИ-сервисами для выявления синусита проанализированы результаты 126 547 рентгенограмм околоносовых пазух. Наибольшую долю из них (53,0%) обработал ИИ-сервис-4. Отличия в объемах проанализированных исследований обусловлены различной длительностью работы ИИ-сервисов в Эксперименте (табл. 1).

Результаты работы ИИ-сервисов в виде дополнительной серии изображений и проекта текстового описания сохранялись в ЕРИС ЕМИАС и становились доступны врачам-рентгенологам для формирования окончательного протокола. Согласно утвержденным базовым диагностическим требованиям, ИИ-сервисы выявляли рентгенологические признаки отека слизистой или наличия жидкости, содержимого в пазухе (в виде наличия затемнения околоносовых пазух, включая снижение или отсутствие пневматизации, формирование горизонтального уровня жидкость–воздух в пазухе). Соответственно результаты анализа содержали вероятность наличия патологии (в виде числа); локализацию патологических находок (в виде маркировки и текста) с указанием конкретной пазухи и находок в ней; указание наличия горизонтального уровня жидкости или тотального отсутствия пневматизации околоносовых пазух, дефектов костной стенки пазухи (с их маркировкой); пло-

Таблица 1. Объемы рентгенограмм околоносовых пазух, проанализированные ИИ-сервисами в период исследования

Table 1. The number of X-ray images of the paranasal sinuses analyzed by AI-services during the study period

ИИ-сервисы AI services	Количество обработанных исследований Number of processed studies	
	абс. / abs.	%
ИИ-сервис-1 / AI-service-1	11 982	9.5
ИИ-сервис-2 / AI-service-2	11 465	9.1
ИИ-сервис-3 / AI-service-3	35 999	28.4
ИИ-сервис-4 / AI-service-4	67 101	53.0
Всего / Total	126 547	100.0

Таблица 2. Объемы рентгенограмм околоносовых пазух, включенных в клинический мониторинг качества ИИ-сервисов

Table 2. The number of X-rays of the paranasal sinuses included in the clinical monitoring of the quality of AI services

ИИ-сервисы AI-services	Количество обработанных исследований, включенных в клинический мониторинг Number of processed studies included in clinical monitoring	
	абс. / abs.	%
ИИ-сервис-1 / AI-service-1	400	17.2
ИИ-сервис-2 / AI-service-2	400	17.2
ИИ-сервис-3 / AI-service-3	400	17.2
ИИ-сервис-4 / AI-service-4	1120	48.3
Всего / Total	2320	100.0

щадь затемнения в процентах от общей площади пазухи [15].

Для каждого ИИ-сервиса регулярно проводились процедуры клинического мониторинга; всего в них были включены результаты 2320 рентгенограмм околоносовых пазух (табл. 2). Как и в предыдущей таблице, отличия в объемах включенных исследований обусловлены различными сроками работы ИИ-сервисов в Московском Эксперименте.

В соответствии с оригинальной методологией, разработанной и верифицированной в рамках Московского Эксперимента, в каждом случае оценивалась правильность выявления и классифика-



Таблица 3. Результаты клинического мониторинга качества ИИ-сервисов для анализа рентгенограмм околоносовых пазух

Table 3. Results of clinical monitoring of the quality of AI services for the analysis of paranasal sinuses based on radiography data

Результат Results	ИИ-сервис-1 AI-service-1	ИИ-сервис-2 AI-service-2	ИИ-сервис-3 AI-service-3	ИИ-сервис-4 AI service-4
Чувствительность (95% ДИ) Sensitivity (95% CI)	0.913 (0.874–0.952)	0.861 (0.816–0.905)	0.970 (0.946–0.994)	0.851 (0.786–0.915)
Специфичность (95% ДИ) Specificity (95% CI)	0.982 (0.955–1.000)	0.943 (0.894–0.992)	0.650 (0.604–0.695)	0.851 (0.800–0.901)
AUROC (95% ДИ) AUROC (95% CI)	0.983 (0.965–1.000)	0.954 (0.928–0.980)	0.891 (0.865–0.916)	0.893 (0.859–0.927)
Клиническая оценка, % Clinical assessment, %	95.100	83.300	76.600	79.400

ции патологии, а также точность ее локализации, интегрально определялась клиническая оценка [11, 13].

Результаты клинического мониторинга представлены в табл. 3.

В условиях практического здравоохранения наиболее высокий уровень диагностической точности отмечен у ИИ-сервиса-1 – площадь под характеристической кривой составила 0,98. Практически идентичным оказался ИИ-сервис-2, этот же показатель у него составил 0,95. Оба решения имели более высокую специфичность, нежели чувствительность, т.е. на фоне некоторого риска пропуска случаев с синуситом имела место высокая вероятность правильной его дифференциальной диагностики в случае выявления патологических признаков.

Также ИИ-сервисы-1 и 2 отличала более высокая интегральная клиническая оценка – 95,1 и 83,3% соответственно, что свидетельствовало о точности определения не только факта наличия синусита, но и локализации процесса, а также выполняемых измерений.

На этом фоне ИИ-сервисы-3 и 4 отличались принципиально худшими показателями: клиническая оценка составила 76,6 и 79,4%, площадь под характеристической кривой – лишь 0,89. ИИ-сервис-3 отличался самой низкой специфичностью (0,65).

Примеры с результатами работы ИИ-сервисов представлены на рис. 1–6.

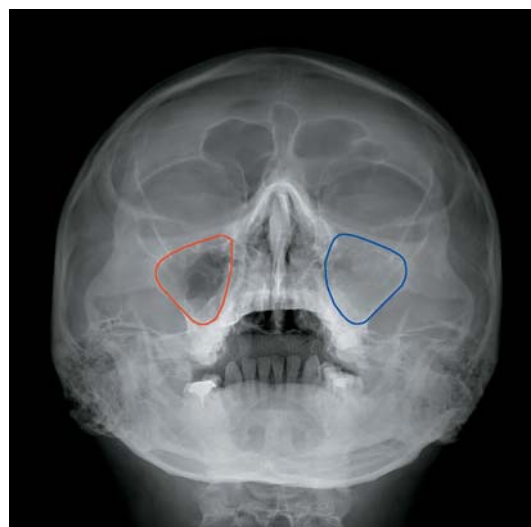


Рис. 1.

Fig. 1.

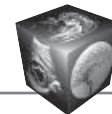


Рис. 1. Пример некорректной оценки ИИ-сервисом-3 рентгенограммы околоносовых пазух: двусторонний гайморит выявлен верно (истинно положительный результат), фронтит справа пропущен (ложноотрицательный результат). Слева – рентгенограмма черепа в носоподбородочной проекции (мужчина 32 лет). Справа – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса с результатами анализа рентгенограммы (красный контур – снижение пневматизации околоносовых пазух, синий контур – отсутствие пневматизации). Визуализируются признаки правостороннего фронтита и двустороннего гайморита (в правой лобной пазухе – горизонтальный уровень газ-жидкость до половины объема; в правой верхнечелюстной пазухе – тотальное снижение воздушности; в левой верхнечелюстной пазухе – снижение воздушности в проекции альвеолярной бухты). Заключение от сервиса: “снижение пневматизации в правой гайморовой пазухе, пазуха затемнена на 41%; отсутствие пневматизации в левой гайморовой пазухе, пазуха затемнена на 100%”.

Fig. 1. An example of an incorrect assessment of the paranasal sinus X-ray by the AI-service-3: bilateral sinusitis was detected correctly (true-positive result), frontal sinusitis on the right was missed (false-negative result). On the left is an X-ray of the skull in the occipitomental projection (male, 32 years old). On the right is an image from an additional series of the AI-service with the results of the X-ray analysis (the red contour is a decrease in the pneumatization of the paranasal sinuses, the blue contour is the absence of pneumatization). Signs of right-sided frontal sinusitis and bilateral sinusitis are visualized (in the right frontal sinus, a horizontal gas-liquid level of up to half the volume; in the right maxillary sinus, a total decrease in airiness; in the left maxillary sinus, a decrease in airiness in the projection of the alveolar bay). Conclusion from the service: reduced pneumatization in the right maxillary sinus, the sinus is darkened by 41%; no pneumatization in the left maxillary sinus, the sinus is darkened by 100%.

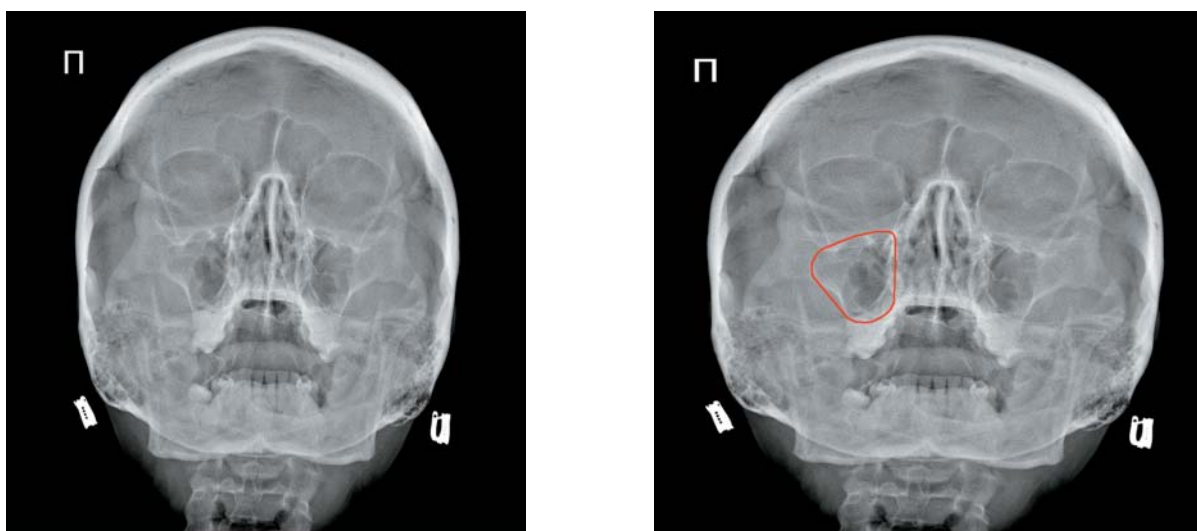


Рис. 2. Пример ложноположительной оценки ИИ-сервисом-3 рентгенограммы околоносовых пазух: выявлены признаки синусита при их отсутствии. Слева – рентгенограмма черепа в носоподбородочной проекции (женщина, 42 года). Справа – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса с результатами анализа рентгенограммы (красный контур – снижение пневматизации околоносовых пазух). Визуализируются искривление носовой перегородки, утолщение слизистой носовых ходов. Заключение от сервиса: “рентгенологические признаки хронического синусита: снижение пневматизации в правой гайморовой пазухе, пазуха затемнена на 14%”.

Fig. 2. An example of a false-positive assessment of the AI-service 3 radiographs of the paranasal sinuses: signs of sinusitis have been identified in their absence. On the left is an X-ray of the skull in the occipitomental projection (female, 42 years old). On the right is an image from an additional series of the AI service with the results of the X-ray analysis (the red contour is a reduction in the pneumatization of the paranasal sinuses). Curvature of the nasal septum and thickening of the nasal mucosa are visualized. Conclusion from the service: radiological signs of chronic sinusitis: reduced pneumatization in the right maxillary sinus, the sinus is darkened by 14%.

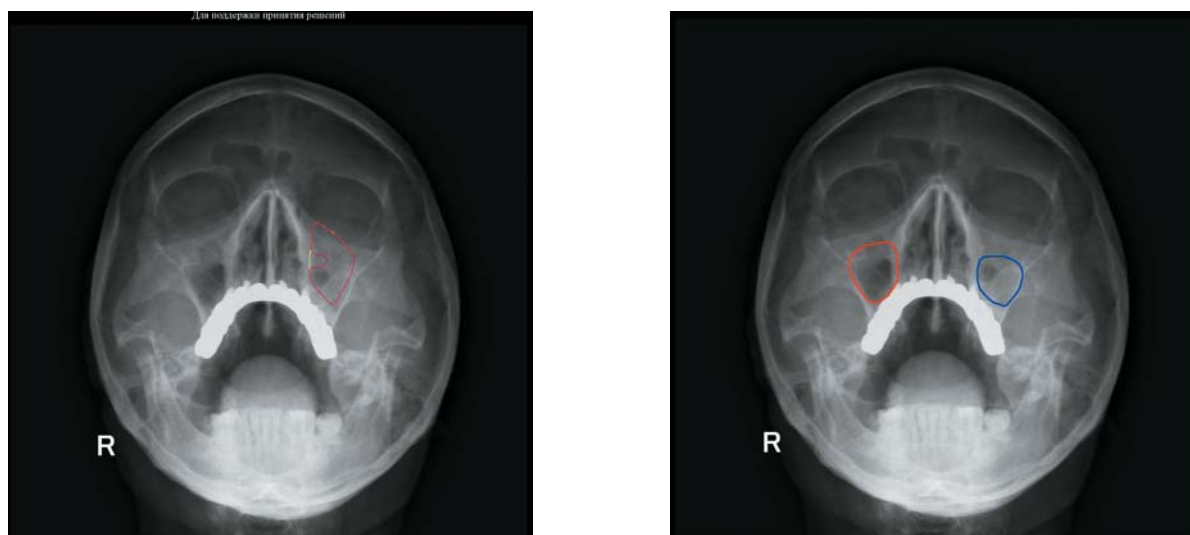


Рис. 3. Пример истинно положительной оценки и некорректной локализации (пазухи и патологические изменения выбраны правильные, но контуры неточные) ИИ-сервисом-2 и ИИ-сервисом-3 рентгенограммы околоносовых пазух (женщина 66 лет). Слева – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса-2 с результатами анализа рентгенограммы (желтый контур – границы околоносовых пазух, красный контур – снижение пневматизации околоносовых пазух). Справа – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса-3 с результатами анализа рентгенограммы (красный контур – снижение пневматизации околоносовых пазух, синий контур – отсутствие пневматизации). Визуализируется незначительное утолщение слизистой правой верхнечелюстной пазухи, субтотальное затемнение левой верхнечелюстной пазухи. Заключение от ИИ-сервиса-2: “снижение пневматизации левой верхнечелюстной пазухи с площадью затемнения 90,86%, левосторонний верхнечелюстной синусит”. Заключение от ИИ-сервиса-3: “снижение пневматизации в правой гайморовой пазухе, пазуха затемнена на 43%; отсутствие пневматизации в левой гайморовой пазухе, пазуха затемнена на 95%”.

Fig. 3. An example of a true positive assessment and incorrect localization (sinuses and pathological changes are correct, but the contours are inaccurate) of AI-service-2 and AI-service-3 radiographs of the paranasal sinuses (female, 66 years old). On the left is an image from the additional series AI-service-2 with the results of the X-ray analysis (the yellow contour is the boundaries of the paranasal sinuses, the red contour is the reduction of pneumatization of the paranasal sinuses). On the right is an image from the additional series AI-service-3 with the results of the X-ray analysis (the red contour is a decrease in the pneumatization of the paranasal sinuses, the blue contour is the absence of pneumatization). There is a slight thickening of the mucosa of the right maxillary sinus, a subtotal darkening of the left maxillary sinus. Conclusion from AI-service-2: reduced pneumatization of the left maxillary sinus with a darkening area of 90.86%, left-sided maxillary sinusitis. Conclusion from AI-service-3: reduction of pneumatization in the right maxillary sinus, the sinus is darkened by 43%; there is no pneumatization in the left maxillary sinus, the sinus is darkened by 95%.

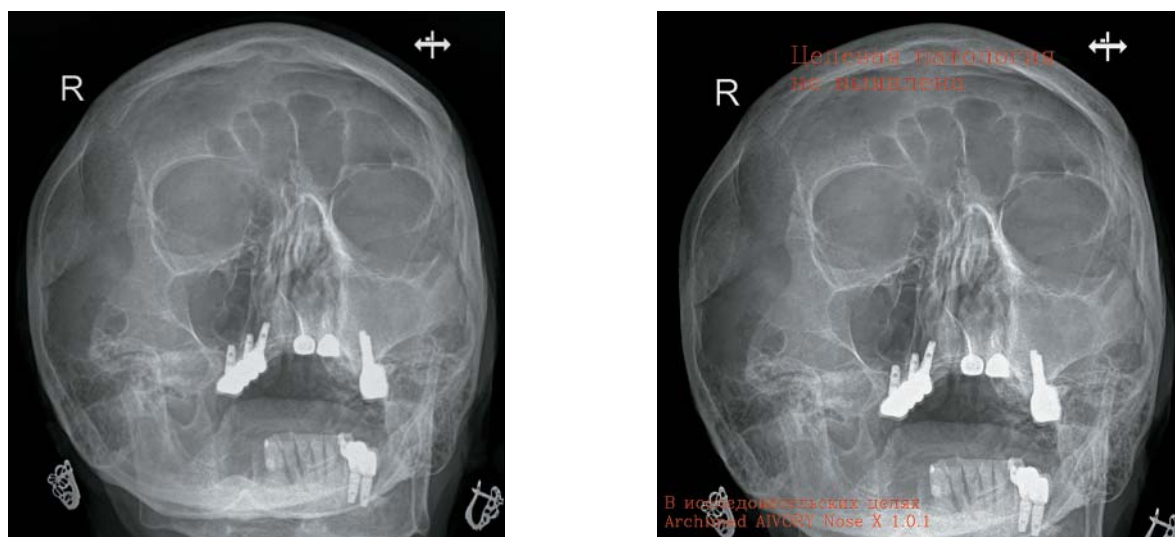
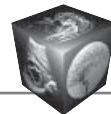


Рис. 4. Пример ложноотрицательной оценки ИИ-сервисом-4 рентгенограммы околоносовых пазух. Слева – рентгенограмма черепа в носоподбородочной проекции (женщина 76 лет). Справа – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса с результатами анализа рентгенограммы. Визуализируется тотальное затемнение левой верхнечелюстной пазухи. Заключение от сервиса: “целевая патология не выявлена”.

Fig. 4. An example of a false-negative assessment of the AI-service-4 X-ray of the paranasal sinuses. On the left is an X-ray of the skull in the occipitomental projection (76-year-old woman). On the right is an image from an additional series of the AI service with the results of the X-ray analysis. Total darkening of the left maxillary sinus is visualized. The conclusion from the service: no target pathology has been identified.

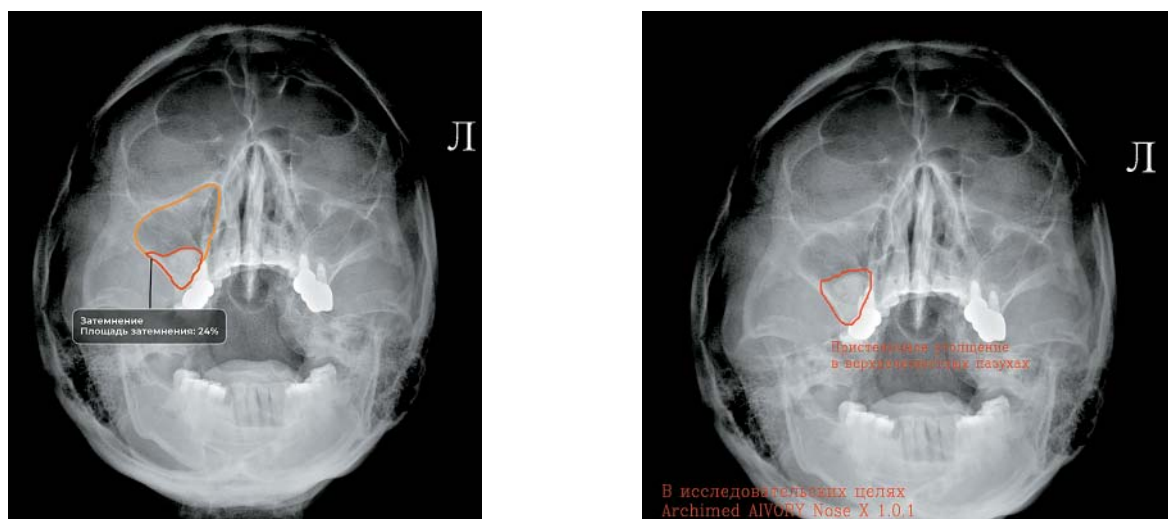


Рис. 5. Пример истинноположительной оценки ИИ-сервисом-1 и ИИ-сервисом-4 рентгенограммы околоносовых пазух (женщина 55 лет). Слева – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса-1 с результатами анализа рентгенограммы (оранжевый контур – придаточные пазухи носа с патологией, красный контур – затемнения в придаточных пазухах носа). Справа – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса-4 с результатами анализа рентгенограммы (красный контур – патологические находки). Визуализируется локальное утолщение слизистой правой верхнечелюстной пазухи, утолщение слизистой носовых ходов. Заключение от ИИ-сервиса-1: “правосторонний верхнечелюстной синусит”. Заключение от ИИ-сервиса-4: “пристеночное утолщение в правой верхнечелюстной пазухе, занимающее 26% площади пазухи”.

Fig. 5. An example of a true positive assessment of AI-service-1 and AI-service-4 radiographs of the paranasal sinuses (female, 55 years old). On the left is an image from the additional series of AI-service-1 with the results of X-ray analysis (the orange contour is the paranasal sinuses with pathology, the red contour is darkening in the paranasal sinuses). On the right is an image from the additional series AI-service-4 with the results of the X-ray analysis (red outline – pathological findings). A local thickening of the mucous membrane of the right maxillary sinus, thickening of the mucous membrane of the nasal passages is visualized. Conclusion from AI-service-1: right-sided maxillary sinusitis. Conclusion from AI-service-4: Parietal thickening in the right maxillary sinus, occupying 26% of the sinus area.

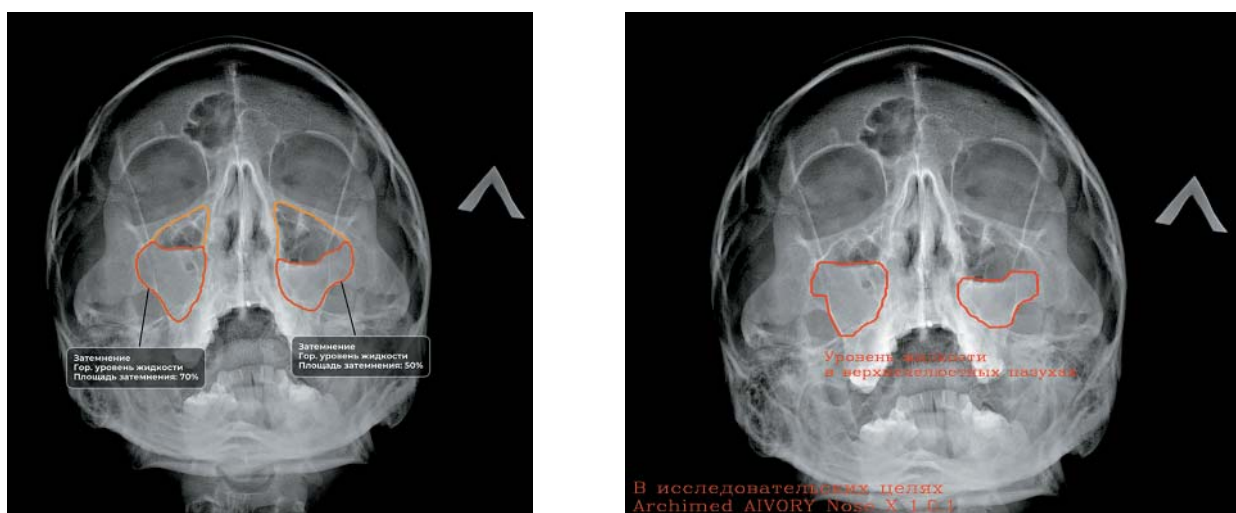


Рис. 6. Пример некорректной оценки ИИ-сервисом-1 и ИИ-сервисом-4 рентгенограммы околоносовых пазух (мужчина 30 лет): двусторонний гайморит выявлен верно (истинно положительный результат), фронтит слева пропущен (ложноотрицательный результат). Слева – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса-1 с результатами анализа рентгенограммы (оранжевый контур – придаточные пазухи носа с патологией, красный контур – затемнения в придаточных пазухах носа). Справа – изображение из дополнительной серии ИИ-сервиса-4 с результатами анализа рентгенограммы (красный контур – патологические находки). Визуализируются признаки двустороннего гайморита (горизонтальный уровень жидкости до верхней трети справа и до средней трети слева), левостороннего фронтита (снижение воздушности левой лобной пазухи). Заключение от ИИ-сервиса-1: “двусторонний верхнечелюстной синусит”. Заключение от ИИ-сервиса-4: “жидкость в левой верхнечелюстной пазухе, занимающая 41% площади пазухи; жидкость в правой верхнечелюстной пазухе, занимающая 57% площади пазухи”.

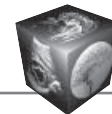
Fig. 6. An example of an incorrect assessment of the AI-service-1 and AI-service-4 radiographs of the paranasal sinuses (male, 30 years old): bilateral sinusitis was detected correctly (true-positive result), frontal sinusitis on the left was missed (false-negative result). On the left is an image from the additional series of AI-service-1 with the results of X-ray analysis (the orange contour is the paranasal sinuses with pathology, the red contour is darkening in the paranasal sinuses). On the right is an image from the additional series AI-service-4 with the results of the X-ray analysis (red outline – pathological findings). Signs of bilateral sinusitis (horizontal fluid level up to the upper third on the right and to the middle third on the left), left-sided frontal sinusitis (decreased airiness of the left frontal sinus) are visualized. Conclusion from AI-service-1: bilateral maxillary sinusitis. Conclusion from AI-Service-4: fluid in the left maxillary sinus, occupying 41% of the sinus area; fluid in the right maxillary sinus, occupying 57% of the sinus area.

Обсуждение

Вопросы применения технологий ИИ для диагностики синуситов рассматриваются, фактически, в единичных научных статьях. Например, в два систематических обзора 2024 г. по данной тематике включено всего 24 статьи (10 об автоматизированной обработке результатов компьютерной томографии и 14 – рентгенографии) [16, 17]. Одиночные работы посвящены оппортунистическому выявлению синуситов на результатах ортопантомографии и конусно-лучевой компьютерной томографии в стоматологической практике [18–20]. Такая ситуация объясняется менее выраженной социально-экономической и медицинской значимостью воспалительных заболеваний околоносовых пазух по сравнению с такими фундаментальными проблемами здравоохранения, как онкологические, хронические неинфекционные заболевания, туберкулез и пр. Вместе с тем в рамках

отдельной взятой клинической специальности – оториноларингологии – вопросы быстрой и точной диагностики синуситов чрезвычайно важны в силу высокой распространенности этой патологии. Существенный факт состоит в том, что порядка 19,4% пациентов с этим заболеванием нуждается в неотложном лечении в условиях стационара [1–6, 21]. При этом данные пациенты могут первично обращаться к смежным с оториноларингологами специалистами: врачам-стоматологам, врачам челюстно-лицевым хирургам. Поэтому от корректной и быстрой диагностики зависят не только нагрузка на соответствующие медицинские организации, но и правильная маршрутизация пациентов, а следовательно, расход разных видов ресурсов системы здравоохранения в целом.

Большинство научных статей о применении ИИ для дифференциальной диагностики синусита сфокусированы на применении методов радиоми-



ческого анализа результатов компьютерной или магнитно-резонансной томографии [16, 22–24]. Это важное, но совершенно отдельное направление, причем практически неактуальное для первичного звена здравоохранения. Радиомика в сочетании с высокотехнологичными лучевыми исследованиями – это преимущественно инструмент специализированной медицинской помощи, оказываемой в условиях стационара. На этом фоне наше исследование посвящено автоматизированному анализу результатов рентгенографии, поэтому оно направлено на решение более массовой проблемы быстрой и точности диагностики синусита при оказании медицинской помощи в амбулаторных условиях.

В научных статьях, посвященных автоматизированному анализу результатов рентгенографии, представлено описание процессов разработки и сопоставления точности моделей. В систематическом обзоре о применении ИИ и машинного обучения в ринологии, опубликованном в 2023 г., удалось собрать 39 статей, из которых 29 (почти 75,0%) носили исключительно “технический характер”; разработанные модели не испытывали на реальных клинических данных, а заявленные метрики точности невозможно было подтвердить, так как разработчики не помещали код своих программных решений в открытом доступе [25]. Очевидно, что для медицинской науки и практики ценность таких публикаций стремится к нулю.

На этом фоне особенно ценными являются исследования, подтверждающие диагностическую точность программных решений на основе технологий ИИ в условиях реальной клинической практики. Так, в недавнем исследовании на базе городской клинической больницы была проведена оценка сервиса для анализа рентгенограмм органов грудной клетки. Полученные результаты подтвердили высокую скорость формирования предварительного заключения (до 15 с) при сохранении роли врача в интерпретации и принятии окончательного диагностического решения [26].

Дополнительный интерес вызывает направление, связанное с учетом индивидуального стиля аннотирования врачей-рентгенологов при обучении нейросетей: как показано в исследовании Е.Д. Никитина, включение информации о врачеразметчике в архитектуру модели может значительно повысить ее точность при детекции патологических изменений [27].

По данным опубликованного в 2024 г. систематического обзора, диапазон общей точности моделей ИИ для диагностики синусита на результатах рентгенографии составляет 0,757–0,997, а площади под характеристической кривой –

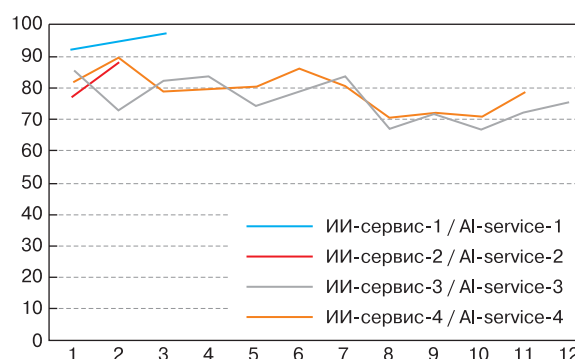


Рис. 7. Динамика уровня клинической оценки ИИ-сервисов для анализа результатов рентгенографии с целью выявления признаков синусита (по оси абсцисс – условные периоды наблюдения, по оси ординат – уровень оценки в процентах).

Fig. 7. Dynamics of the level of clinical assessment of AI services for analyzing X-ray results to identify signs of sinusitis (on the abscissa axis – conditional observation periods, on the ordinate axis – the level of assessment in percent).

0,7–0,997 [17]. Однако все эти данные получены исключительно в лабораторных условиях, т.е. при тестировании алгоритмов на наборах данных (в дизайне ретроспективного диагностического исследования).

Нами проведено изучение качества и точности ИИ-сервисов в условиях практического здравоохранения. Исследуемые программные продукты работали с потоком рентгенограмм околоносовых пазух, выполняемых в городских поликлиниках на различном оборудовании, в том числе с наличием различных отклонений в качестве позиционирования (укладки) пациентов. По оригинальной методике проводился регулярный мониторинг, позволивший объективно охарактеризовать диагностическую ценность технологий ИИ для решения задач диагностики заболеваний ЛОР-органов.

Полученные нами средние значения клинической оценки (83,6%) и площади под характеристической кривой (0,93) позволяют утверждать, что технологии ИИ потенциально применимы для диагностики верхнечелюстного и фронтального синуситов по данным рентгенографии, в том числе при оказании медицинской помощи в амбулаторных условиях. Вместе с тем качество работы конкретных программных продуктов в реальных условиях практического здравоохранения значительно варьирует. От периода к периоду значения точности и качества (клинической оценки) колеблются; крайне редко наблюдаются периоды стабильности (рис. 7).



Это означает, что программные решения на основе технологий ИИ нуждаются в постоянном мониторинге, даже будучи допущенными к применению в системе здравоохранения в статусе медицинского изделия. В рамках Московского Эксперимента разработчикам ИИ-сервисов предоставляется обширная обратная связь, позволяющая им дорабатывать и улучшать свои продукты.

Ограничение данного исследования связано с разными периодами работы ИИ-сервисов в условиях практического здравоохранения, соответственно с разными объемами выборок, сформированных для регулярного клинического мониторинга.

Перспективы дальнейших исследований состоят в изучении результативности и эффективности ИИ-сервисов для автоматизированной диагностики синуситов с точки зрения оценки их влияния на трудовые операции и производственные процессы в здравоохранении, показатели деятельности медицинских организаций.

Выводы

1. В рамках Московского Эксперимента внедрен ряд ИИ-сервисов для диагностики верхнечелюстного и фронтального синуситов, которые за период 2023–2024 гг. успешно проанализировали 126 547 рентгенограмм околоносовых пазух.

2. Средний уровень диагностической точности (площадь под характеристической кривой) составил 0,93, а диагностического качества (интегральной клинической оценки) – 83,6%; это свидетельствует о применимости соответствующих программных продуктов на основе технологий искусственного интеллекта в практическом здравоохранении.

3. Программные продукты различаются между собой уровнем точности и качества, что требует тщательного выбора оптимального решения, а в целом – регулярного мониторинга безопасности и качества. Разработанные и валидированные в рамках Московского Эксперимента методологии и технические решения позволяют осуществлять такой мониторинг эффективно и с минимальными затратами.

4. Достигнутый уровень качества ИИ-сервисов для диагностики верхнечелюстного и фронтального синуситов позволяет рассмотреть вопрос трансформации процессов взаимодействия врачей-рентгенологов, врачей-отоларингологов, а также врачей смежных специальностей: стоматологов и челюстно-лицевых хирургов, чему будут посвящены дальнейшие исследования.

Таким образом, использование технологий искусственного интеллекта для диагностики сину-

ситов в широкой клинической практике продемонстрировало, что соответствующие решения уже сегодня достигают уровня, необходимого для существенного повышения эффективности рентгенологической диагностики. Результаты эксперимента свидетельствуют не только о зрелости современных ИИ-продуктов, но и подчеркивают важность системного подхода к их оценке, внедрению и постоянному мониторингу. Полученный опыт подтверждает целесообразность дальнейшего развития и масштабирования подобных сервисов, а также актуальность трансформации традиционных моделей взаимодействия между специалистами различных медицинских направлений в условиях цифровизации здравоохранения.

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР “Разработка платформы подготовки наборов данных лучевых диагностических исследований” (№ ЕГИСУ: 123031500003-8) в соответствии с Приказом от 17.12.2024 № 1184 “Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 годов” Департамента здравоохранения города Москвы.

Source of funding. This paper was prepared by a team of authors as a part of the research and development project “Development of a platform to generate datasets containing diagnostic imaging studies” (EGISU No 123031500003-8) in accordance with Order No. 1184 dated December 17, 2024: “On approval of state assignments funded from the Moscow city budget to state budgetary (autonomous) institutions subordinated to the Moscow Healthcare Department for 2025 and the planning period of 2026 and 2027”.

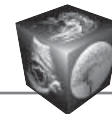
Участие авторов

Бажин А.В. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Владимирский А.В. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Арзамасов К.М. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Васильев Ю.А. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.



Семенов С.С. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

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

Vladymyrsky A.V. – concept and design of the study, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Arzamasov K.M. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, writing text, approval of the final version of the article.

Vasilev Yu.A. – concept and design of the study, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Semenov S.S. – collection and analysis of data, statistical analysis, writing text, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы

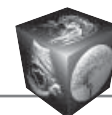
- Аксенова А.В., Брико Н.И., Клейменов Д.А. Хронические фарингиты, назофарингиты, синуситы и риниты – эпидемиологические показатели распространенности и заболеваемости в Москве и Российской Федерации с 1996 по 2009 г. *Российская оториноларингология*. 2012; 2 (57): 11–19.
- Джураева Ш.Ф., Рахимов З.К. Эпидемиология верхнечелюстного одонтогенного синусита и принципы лечения пациентов в стационарных условиях. *Интегративная стоматология и челюстно-лицевая хирургия*. 2022; 1 (1): 50–54.
- Колосов В.П., Манаков Л.Г., Перельман Ю.М., Самсонов В.П. Хронические респираторные заболевания: эпидемиологический мониторинг и профилактика. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2020; 76: 8–18. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-76-8-18>
- Шкуракова Е.А., Гавенене Е.Н. Исследования заболеваемости синуситами в г. Новочеркасск. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2024; 7 (145): 1–5. <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.72>
- Ali M.A., Taishan W.S., Almaymoni A.A. et al. Prevalence of Ear, Nose, and Throat Problems in Saudi Arabia: A Cross-Sectional Study. *Cureus*. 2025; 17 (1): e76927. <https://doi.org/10.7759/cureus.76927>
- Tuladhar A.S., Bhattarai A., Bimali S. et al. Sinusitis among Patients Undergoing CT Scan of Paranasal Sinuses in a Tertiary Care Centre: A Descriptive Cross-sectional Study. *J. Nepal Med. Assoc.* 2022; 60 (254): 857–860. <https://doi.org/10.31729/jnma.7595>
- Haider S.P., Sharaf K., Baumeister P., Reichel C.A. Künstliche Intelligenz in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde [Artificial intelligence in otorhinolaryngology]. *HNO*. 2022; 70 (2): 87–93. <https://doi.org/10.1007/s00106-021-01095-0> (In German)
- Wu Q., Wang X., Liang G. et al. Advances in Image-Based Artificial Intelligence in Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery: A Systematic Review. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2023; 169 (5): 1132–1142. <https://doi.org/10.1002/ohn.391>
- Калинин Д.И., Карякин А.А., Захарченко У.Р., Морозова Д.А., Карякина О.Е., Попов Н.В. Создание интеллектуальной системы анализа изображений барабанной перепонки для дифференциальной диагностики заболеваний уха. *Бюллетень Северного государственного медицинского университета*. 2023; 2 (50): 35–40.
- Каибханов У.К., Широкова В.И. Использование нейросети для диагностики заболеваний в оториноларингологии. В сборнике: Мечниковские чтения-2024. Материалы 97-й Всероссийской научно-практической конференции студенческого научного общества с международным участием. С.-Пб., 2024: 651–653.
- Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Арзамасов К.М., Андрейченко А.Е., Гомболевский В.А., Кульберг Н.С., Омелянская О.В., Павлов Н.А., Решетников Р.В., Сергунова К.А., Шарова Д.Е., Шулькин И.М. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента: Монография. М.: Издательские решения, 2022. 388 с. <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/kompyuternoe-zrenie-v-luchevoj-dagnostike-pervyj-etap-moskovskogo-eksperimenta?ysclid=mjzoej1vqe83567861>
- Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., Арзамасов К.М. Подходы к формированию наборов данных в лучевой диагностике. *Врач и информационные технологии*. 2023; 4: 14–23. https://doi.org/10.25881/18110193_2023_4_14
- Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Арзамасов К.М., Четвериков С.Ф., Румянцев Д.А., Зеленова М.А. Методология тестирования и мониторинга программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для медицинской диагностики. *Digital Diagnostics*. 2023; 4 (3): 252–267. <https://doi.org/10.17816/DD321971>
- Клинические испытания систем искусственного интеллекта (лучевая диагностика). – Москва: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, 2023. 40 с.
- Базовые рекомендации к работе сервисов искусственного интеллекта для лучевой диагностики: методические рекомендации / Составители С.П. Морозов, Л.Р. Абуладзе, А.Е. Андрейченко и др. Серия “Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики”. Вып. 119. М.: ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”, 2022. 68 с.
- Darbari Kaul R., Sacks P.L., Thiel C. et al. Radiomics of the Paranasal Sinuses: A Systematic Review of Computer-Assisted Techniques to Assess Computed Tomography Radiological Data. *Am. J. Rhinol. Allergy*. 2024: 19458924241304082. <https://doi.org/10.1177/19458924241304082>
- Wu Z., Yu X., Chen Y. et al. Deep learning in the diagnosis of maxillary sinus diseases: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2024; 53 (6): 354–362. <https://doi.org/10.1093/dmfr/twae031>
- Turosz N., Chęcińska K., Chęciński M. et al. Applications of artificial intelligence in the analysis of dental panoramic radiographs: an overview of systematic reviews. *Dentomaxillofac. Radiol.* 2023; 52 (7): 20230284. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20230284>



19. Webster S., Fraser J. Artificial intelligence and dental panoramic radiographs: where are we now? *Evid. Based Dent.* 2024; 25 (1): 43–44. <https://doi.org/10.1038/s41432-024-00978-9>
20. Попадюк В.И., Балашова М.Е., Хабазе З.С., Елисеева Т.А., Козлова З.В., Фокина С.А. Алгоритм диагностического исследования верхних дыхательных путей по данным КЛКТ. *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae.* 2023; 29 (4): 4–11.
21. Касаткин А.Н., Фомина А.В. Анализ распространенности заболеваний ЛОР-органов и их медико-социальная значимость. *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики.* 2024; 2: 338–351. <https://doi.org/10.24412/2312-2935-2024-2-338-351>
22. He S., Chen W., Wang X. et al. Deep learning radiomics-based preoperative prediction of recurrence in chronic rhinosinusitis. *iScience.* 2023; 26 (4): 106527. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106527>
23. Wang Y., Han Q., Wen B. et al. Development and validation of a prediction model for malignant sinonasal tumors based on MR radiomics and machine learning. *Eur. Radiol.* 2025; 35: 2074–2083. <https://doi.org/10.1007/s00330-024-11033-7>
24. Zhu K.Z., He C., Li Z. et al. Development and multicenter validation of a novel radiomics-based model for identifying eosinophilic chronic rhinosinusitis with nasal polyps. *Rhinology.* 2023; 61 (2): 132–143. <https://doi.org/10.4193/Rhin22.361>
25. Bulfamante A.M., Ferella F., Miller A.M. et al. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in rhinology: a systematic review. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2023; 280 (2): 529–542. <https://doi.org/10.1007/s00405-022-07701-3>
26. Бородулин Б.Б., Гогоберидзе Ю.Т., Жилинская К.В., Просвиркин И.А., Сабитов Р.А. Опыт применения искусственного интеллекта для автоматизированного анализа цифровых рентгенограмм в условиях городской больницы. *Digital Diagnostics.* 2024; 5 (S1): 127–129. <https://doi.org/10.17816/DD629896>
27. Никитин Е.Д. Моделирование индивидуального стиля разметки врача-рентгенолога для улучшения точности нейронных сетей. *Digital Diagnostics.* 2023; 4 (S1): 99–101. <https://doi.org/10.17816/DD430358>
5. Ali M.A., Taishan W.S., Almaymoni A.A. et al. Prevalence of Ear, Nose, and Throat Problems in Saudi Arabia: A Cross-Sectional Study. *Cureus.* 2025; 17 (1): e76927. <https://doi.org/10.7759/cureus.76927>
6. Tuladhar A.S., Bhattarai A., Bimali S. et al. Sinusitis among Patients Undergoing CT Scan of Paranasal Sinuses in a Tertiary Care Centre: A Descriptive Cross-sectional Study. *J. Nepal Med. Assoc.* 2022; 60 (254): 857–860. <https://doi.org/10.31729/jnma.7595>
7. Haider S.P., Sharaf K., Baumeister P., Reichel C.A. Künstliche Intelligenz in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde [Artificial intelligence in otorhinolaryngology]. *HNO.* 2022; 70 (2): 87–93. <https://doi.org/10.1007/s00106-021-01095-0> (In German)
8. Wu Q., Wang X., Liang G. et al. Advances in Image-Based Artificial Intelligence in Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery: A Systematic Review. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2023; 169 (5): 1132–1142. <https://doi.org/10.1002/ohn.391>
9. Kalinin D.I., Karyakin A.A., Zakharchenko U.R. et al. Development of an intelligent image analysis system for differential diagnosis of ear diseases. *Bulletin of the Northern State Medical University.* 2023; 2 (50): 35–40. (In Russian)
10. Kaibkhanov U.K., Shirokova V.I. Application of neural networks for disease diagnostics in otorhinolaryngology. In: Mechnikov Readings-2024. Materials of the 97th All-Russian Scientific and Practical Conference of the Student Scientific Society with International Participation. Saint Petersburg, 2024: 651–653. (In Russian)
11. Vasilyev Yu.A., Vladimirovskiy A.V., Arzamasov K.M. et al. Computer Vision in Radiology: The First Stage of the Moscow Experiment: Monograph. Moscow: Publishing Solutions, 2022. 388 p. (In Russian) <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/kompyuternoe-zrenie-v-luchevoj-dagnostike-pervyj-etap-moskovskogo-eksperimenta?ysclid=mjzoej1vqe83567861> (In Russian)
12. Bobrovskaya T.M., Vasilyev Yu.A., Nikitin N.Yu., Arzamasov K.M. Approaches to dataset formation in radiology. *Doctor and Information Technologies.* 2023; 4: 14–23. https://doi.org/10.25881/18110193_2023_4_14 (In Russian)
13. Vasilyev Yu A., Vladimirovskiy A.V., Omelyanskaya O.V. et al. Methodology for testing and monitoring artificial intelligence-based software for medical diagnostics. *Digital Diagnostics.* 2023; 4 (3): 252–267. <https://doi.org/10.17816/DD321971> (In Russian)
14. Clinical Trials of Artificial Intelligence Systems (Radiology). – Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, 2023. 40 p. (In Russian)
15. Basic Guidelines for the Operation of Artificial Intelligence Services for Radiology: Methodological Recommendations / Comp. by S.P. Morozov, L.R. Abuladze, A.E. Andreichenko et al. Series “Best Practices in Radiology and Instrumental Diagnostics”. Issue 119. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, 2022. 68 p. (In Russian)
16. Darbari Kaul R., Sacks P.L., Thiel C. et al. Radiomics of the Paranasal Sinuses: A Systematic Review of Computer-Assisted Techniques to Assess Computed Tomography Radiological Data. *Am. J. Rhinol. Allergy.* 2024: 19458924241304082. <https://doi.org/10.1177/19458924241304082>

References

1. Aksenova A.V., Briko N.I., Kleymenov D.A. Chronic pharyngitis, nasopharyngitis, sinusitis, and rhinitis: epidemiological prevalence and incidence rates in Moscow and the Russian Federation from 1996 to 2009. *Russian Otorhinolaryngology.* 2012; 2 (57): 11–19. (In Russian)
2. Juraeva Sh.F., Rakhimov Z.K. Epidemiology of maxillary odontogenic sinusitis and principles of inpatient treatment. *Integrative Dentistry and Maxillofacial Surgery.* 2022; 1 (1): 50–54. (In Russian)
3. Kolosov V.P., Manakov L.G., Perelman Yu.M., Samsonov V.P. Chronic respiratory diseases: epidemiological monitoring and prevention. *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration.* 2020; 76: 8–18. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-76-8-18> (In Russian)
4. Shkurakova E.A., Gavenene E.N. Study of sinusitis incidence in Novocherkassk. *International Research Journal.* 2024; 7 (145): 1–5. <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.72> (In Russian)



17. Wu Z., Yu X., Chen Y. et al. Deep learning in the diagnosis of maxillary sinus diseases: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2024; 53 (6): 354–362. <https://doi.org/10.1093/dmfr/twae031>
18. Turosz N., Chęcińska K., Chęciński M. et al. Applications of artificial intelligence in the analysis of dental panoramic radiographs: an overview of systematic reviews. *Dentomaxillofac. Radiol.* 2023; 52 (7): 20230284. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20230284>
19. Webster S., Fraser J. Artificial intelligence and dental panoramic radiographs: where are we now? *Evid. Based Dent.* 2024; 25 (1): 43–44. <https://doi.org/10.1038/s41432-024-00978-9>
20. Popadyuk V.I., Balashova M.E., Khabadze Z.S. et al. Diagnostic algorithm for upper airway examination based on CBCT data. *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae.* 2023; 29 (4): 4–11. (In Russian)
21. Kasatkin A.N., Fomina A.V. Analysis of the prevalence of ENT diseases and their medical and social significance. *Modern Problems of Healthcare and Medical Statistics.* 2024; 2: 338–351. <https://doi.org/10.24412/2312-2935-2024-2-338-351> (In Russian)
22. He S., Chen W., Wang X. et al. Deep learning radiomics-based preoperative prediction of recurrence in chronic rhinosinusitis. *iScience.* 2023; 26 (4): 106527. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106527>
23. Wang Y., Han Q., Wen B. et al. Development and validation of a prediction model for malignant sinonasal tumors based on MR radiomics and machine learning. *Eur. Radiol.* 2025; 35: 2074–2083. <https://doi.org/10.1007/s00330-024-11033-7>
24. Zhu K.Z., He C., Li Z. et al. Development and multicenter validation of a novel radiomics-based model for identifying eosinophilic chronic rhinosinusitis with nasal polyps. *Rhinology.* 2023; 61 (2): 132–143. <https://doi.org/10.4193/Rhin22.361>
25. Bulfamante A.M., Ferella F., Miller A.M. et al. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in rhinology: a systematic review. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2023; 280 (2): 529–542. <https://doi.org/10.1007/s00405-022-07701-3>
26. Borodulin B.B., Gogoberidze Y.T., Zhilinskaya K.V. et al. Experience of using artificial intelligence for automated analysis of digital radiographs in a city hospital setting. *Digital Diagnostics.* 2024; 5 (S1): 127–129. <https://doi.org/10.17816/DD629896> (In Russian)
27. Nikitin E.D. Modeling the individual annotation style of a radiologist to improve the accuracy of neural networks. *Digital Diagnostics.* 2023; 4 (S1): 99–101. <https://doi.org/10.17816/DD430358> (In Russian)

Для корреспонденции*: Семенов Серафим Сергеевич – e-mail: SemenovSS3@zdrav.mos.ru

Бажин Александр Владимирович – канд. мед. наук, заместитель директора по образовательной деятельности ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3198-1334>

Владимирский Антон Вячеславович – доктор мед. наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”; профессор кафедры информационных технологий и обработки медицинских данных ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Арзамасов Кирилл Михайлович – канд. мед. наук, руководитель отдела ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, главный врач ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5283-5961>

Семенов Серафим Сергеевич – младший научный сотрудник ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2585-0864>

Contact*: Serafim S. Semenov – e-mail: SemenovSS3@zdrav.mos.ru

Alexander V. Bazhin – Cand. of Sci. (Med.), Deputy Director for Educational Activities, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3198-1334>

Anton V. Vladymyrsky – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director for Scientific Work, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; Professor of the Department of Information Technology and Medical Data Processing, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Kirill M. Arzamasov – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

Yuriy A. Vasilev – Cand. of Sci. (Med.), Chief Medical Officer, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5283-5961>

Serafim S. Semenov – Junior Researcher, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2585-0864>



Диагностическая точность технологий искусственного интеллекта при анализе результатов магнитно-резонансной томографии для выявления дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела

© Тхакахова Р.А.^{1*}, Владзимирский А.В.¹, Арзамасов К.М.^{1,2}

¹ ГБУЗ города Москвы "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы"; 127051 Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО "Самарский государственный медицинский университет" Минздрава России; 443099 Самара, ул. Чапаевская, д. 89, Российская Федерация

Дегенеративные заболевания позвоночника – одна из ключевых медицинских проблем, являющаяся частой причиной хронических болей, снижения качества жизни и трудоспособности. Современные подходы к терапии, включая консервативные методики и хирургические вмешательства, не всегда демонстрируют достаточную клиническую эффективность, что актуализирует вопросы совершенствования диагностических возможностей.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) – основной метод визуализации патологий позвоночника, обеспечивающий детальную оценку структур, включая межпозвонковые диски, спинной мозг и окружающие ткани. Рутинная практика МР-диагностики сопряжена с существенными методическими сложностями, такими как необходимость выполнения многочисленных стандартизированных измерений. Внедрение искусственного интеллекта в радиологию предлагает решение этих проблем: алгоритмы способны автоматизировать обработку изображений, ускоряя анализ и повышая точность диагностики.

Цель исследования: оценить диагностическую точность автоматизированного выявления дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника при проведении МРТ с применением технологий искусственного интеллекта.

Материал и методы. Проведено ретроспективное диагностическое исследование, количество исследований – 100. В качестве индекс-теста использованы сервисы искусственного интеллекта (далее называемые сервис ИИ-1, ИИ-2, ИИ-3), интегрированные в Единую радиологическую информационную систему (ЕРИС) в составе Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕМИАС).

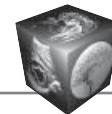
Тестовый набор данных, подготовленный тремя экспертами на основе МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника (T2sag, T2ax, срез 4 мм). Критерии включения: пациенты 18–90 лет без артефактов или сопутствующих заболеваний. Оценка ИИ-сервисов включала анализ дегенеративных изменений: дорсальные выпячивания межпозвонковых дисков; размеры (передне-заднего размера дурального мешка на аксиальных и сагиттальных изображениях, фронтального размера дурального мешка на аксиальных изображениях) и площадь дурального мешка.

Результаты. Сервисы ИИ-1 и ИИ-3 показали высокую диагностическую точность ($AUC > 0,95$), что позволяет рекомендовать их для клинического применения. Сервис ИИ-2 продемонстрировал метрики значительно ниже заявленных ($AUC < 0,95$), что ограничивает практическое использование и требует доработки.

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует высокий потенциал технологий искусственного интеллекта для автоматизации МРТ-диагностики дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника. Два из трех протестированных ИИ-сервисов (ИИ-1 и ИИ-3) показали высокую диагностическую точность ($AUC > 0,95$), что позволяет рекомендовать их для внедрения в клиническую практику с целью повышения эффективности и стандартизации анализа нейровизуализации. В то же время значительное расхождение заявленных и реальных метрик третьего сервиса (ИИ-2) подчеркивает необходимость строгой валидации алгоритмов перед их использованием в рутинной диагностике.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; искусственный интеллект; дегенеративные заболевания позвоночника; межпозвонковый диск

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.



Для цитирования: Тхакахова Р.А., Владимирский А.В., Арзамасов К.М. Диагностическая точность технологий искусственного интеллекта при анализе результатов магнитно-резонансной томографии для выявления дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (2): 124–134. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1580>

Поступила в редакцию: 22.06.2025. **Принята к печати:** 12.03.2026. **Опубликована online:** 12.05.2026.

Diagnostic accuracy of artificial intelligence technologies in analyzing magnetic resonance imaging results for detecting degenerative changes in the lumbosacral spine

© Regina A. Tkhakakhova^{1*}, Anton V. Vladzimirsky¹, Kirill M. Arzamasov^{1, 2}

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 24-1, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation

² Samara State Medical University; 89, Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russian Federation

Degenerative spinal diseases are a major medical problem and a common cause of chronic pain, reduced quality of life, and loss of work capacity. Modern treatment approaches, including conservative methods and surgical interventions, do not always demonstrate sufficient clinical efficacy, highlighting the need for improved diagnostic capabilities.

Magnetic resonance imaging is the primary modality for visualizing spinal pathologies, providing a detailed assessment of structures, including intervertebral discs, the spinal cord, and surrounding tissues. However, routine MRI diagnostics face significant methodological challenges, such as the need to perform numerous standardized measurements. The integration of artificial intelligence into radiology offers a solution to these problems: algorithms can automate image processing, speeding up analysis and enhancing diagnostic accuracy.

Objective: To evaluate the diagnostic accuracy of automated detection of degenerative changes in the lumbosacral spine using AI-assisted MRI.

Materials and methods. A retrospective diagnostic study was conducted, comprising 100 examinations. Artificial intelligence services (hereinafter referred to as AI service 1, AI-2, AI-3) integrated into the Unified Radiological Information System (URIS) of the Moscow Unified Medical Information and Analytical System (EMIAS) were used as the index test.

A test dataset was prepared by three experts based on MRI scans of the lumbosacral spine (T2 sagittal, T2 axial, 4 mm slice thickness). Inclusion criteria were patients aged 18–90 years without artifacts or comorbid pathologies. The evaluation of the AI services involved analyzing degenerative changes: dorsal intervertebral disc protrusions; measurements (anteroposterior diameter of the dural sac on axial and sagittal images, transverse diameter of the dural sac on axial images); and the cross-sectional area of the dural sac.

Conclusion. Calibration testing confirmed the importance of evaluating the effectiveness of AI services in medicine. AI-1 and AI-3 demonstrated high reliability (AUC > 0.95), making them suitable for clinical use. AI-2 requires refinement, as its performance metrics were significantly lower than claimed and further declined in external validation, limiting its practical application.

Keywords: magnetic resonance imaging; artificial intelligence; degenerative spinal diseases; intervertebral disc

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

For citation: Tkhakakhova R.A., Vladzimirsky A.V., Arzamasov K.M. Diagnostic accuracy of artificial intelligence technologies in analyzing magnetic resonance imaging results for detecting degenerative changes in the lumbosacral spine. *Medical Visualization*. 2026; 30 (2): 124–134. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1580>

Received: 22.06.2025.

Accepted for publication: 12.03.2026.

Published online: 12.05.2026.



Введение

Дегенеративные заболевания позвоночника характеризуются прогрессирующими дегенеративно-дистрофическими изменениями тканей позвоночных сегментов –деградацией тканей межпозвонковых дисков, суставов, связочного аппарата [1], сопровождающие их болевые и неврологические симптомы являются одной из ключевых проблем современного здравоохранения. Это связано с постоянным высоким числом пациентов трудоспособного возраста, нередко неудовлетворительными результатами консервативного лечения и частыми рецидивами болевого синдрома после хирургического вмешательства. Боли в спине ограничивают повседневную активность, снижают качество жизни и негативно влияют на психоэмоциональное состояние пациентов [2]. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника (ДДЗП) встречаются у 80% населения и составляют до 90% всех случаев хронических заболеваний [3]. Некоторые исследования показывают, что распространенность ДДЗП и нарушений функции позвоночника составляет 122 случая на каждую тысячу человек взрослого населения, при этом спондилогенные боли испытывают от 80 до 100% людей [4]. ДДЗП с сопутствующим спондилогенным болевым синдромом занимает второе место по частоте обращений к врачам после респираторных заболеваний и третье по частоте госпитализаций [5].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) позвоночника является одним из наиболее распространенных методов инструментальной диагностики, позволяющим детально оценить различные патологические изменения в области дегенеративных заболеваний позвоночника. Благодаря высокому контрастному разрешению МРТ предоставляет возможность тщательного изучения паравертебральных мягких тканей, межпозвонковых дисков, суставов, связочного аппарата. Мультипланарные изображения, получаемые при МРТ, значительно расширили диагностические возможности, позволяя точно определять уровень и протяженность патологических изменений, а также степень сужения позвоночного канала и наличие фрагментов тел позвонков, межпозвонковых дисков, гематом и рубцовых образований. Современное техническое оборудование и специализированное программное обеспечение дают возможность точного измерения размеров тел позвонков, межпозвонковых дисков и позвоночного канала. МРТ занимает ведущие позиции в диагностике опухолевых процессов, затрагивающих позвоночник [6].

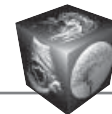
В ежедневной практике врача-рентгенолога кабинета МРТ исследования позвоночника являются наиболее распространенными, при этом большое количество измерений, которые необходимо проводить при оценке позвоночника, занимает значительное время в работе врача-рентгенолога [7]. Трудоемкость обработки изображений и субъективность интерпретации результатов не только увеличивают время проведения исследования, но и повышают риск пропуска патологии.

В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) активно внедряются в медицинскую диагностику, предлагая автоматизированные решения для анализа медицинских изображений [8]. ИИ-сервисы способны обрабатывать большие объемы данных, выявлять патологические изменения с высокой точностью и снижать нагрузку на врачей.

Работа А. Jamaludin и соавт. была направлена на автоматизацию процесса оценки межпозвонковых дисков и тел позвонков. Были получены изображения 12 018 отдельных дисков и проведена оценка. Первым этапом выполнялось оконтуривание тел позвонков, затем – дисков. Диски и тела позвонков анализируются по 6 признакам с помощью искусственной нейронной сети:

- классификации дегенеративных изменений межпозвонковых дисков Pfirrmann (I–V);
 - наличию спондилолистеза;
 - степени снижения высоты межпозвонковых дисков;
 - оценке стеноза позвоночного канала;
 - наличию дефекта замыкательных пластин тел позвонков;
 - изменению сигнала от костного мозга тел позвонков (согласно классификации Modic).
- Система достигла точности 95,6% для детекции тел позвонков, ошибки были связаны с наличием переходного позвонка или низким качеством изображения [9].

Инструмент LabelImg для маркировки МРТ на предмет выпуклостей межпозвонкового диска и спондилолистеза использовался для маркировки МРТ-снимков 604 пациентов врачами с клиническим опытом. Для проверки валидности и практической применимости модели PP-YOLOv2 наборы данных МРТ по заболеваниям позвоночника были обучены на трех моделях обнаружения объектов: YOLOv3, YOLOv5 и PP-YOLOv2. Значения mAP (точность, полнота и средняя точность) для трех моделей составили 70,64, 86,66 и 90,08% соответственно. Данное программное обеспечение автоматически устанавливает вспомогательные диагнозы за 14,5 с на стандартном компьютере, значительно быстрее врачей, диагностирующих заболевания



позвоночника человека, на что обычно требуется 10 мин, а его точность, составляющая 98%, сопоставима с точностью опытных врачей при сравнении различных методов диагностики [10].

Развитие ИИ открывает возможности для быстрого, точного и стабильного анализа изображений. ИИ, обученный на обширных наборах данных, может превзойти экспертов-людей в обработке медицинских изображений. Однако эффективность таких технологий требует тщательной оценки на эталонных наборах данных, чтобы гарантировать их надежность и соответствие клиническим требованиям.

Цель исследования: оценить диагностическую точность автоматизированного выявления дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника при проведении МРТ с использованием искусственного интеллекта.

Материал и методы

Основной тест (исследуемый метод) представляет собой программный продукт, использующий технологии ИИ (ИИ-сервис) и интегрированный в Единый радиологический информационный сервис Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕРИС ЕМИАС) в соответствии с процедурами Московского эксперимента (эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения) [11]. В ходе исследования мы анонимизировали и рандомизировали наименования ИИ-сервисов с последующим использованием условных наименований: ИИ-1, ИИ-2 и ИИ-3.

Тестирование на эталонных наборах данных – это одна из стандартных процедур Московского эксперимента, предназначенная для определения возможности доступа нового ИИ-сервиса к работе с потоком данных в условиях эксперимента,

Референс-тест: эталонный набор данных ($n = 100$) [12], подготовленный по оригинальной методологии путем экспертного пересмотра 3 врачами с опытом работы более 5 лет работы по данному виду исследований. Данные деперсонализированы в соответствии с законодательством Российской Федерации (Закон № 152-ФЗ).

Критерии включения в набор данных:

1) мужчины и женщины в возрасте от 18 до 90 лет;

2) наличие результатов МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника, выполненных при оказании плановой медицинской помощи в амбулаторных условиях;

3) протокол исследования: T2sag (T2-взвешенные изображения в сагиттальной плоскости), T2ax (T2-взвешенные изображения в аксиальной плоскости), толщина среза 4 мм.

Критерии не включения в набор данных:

1) двигательные артефакты, артефакты от инородных объектов на уровне исследования;

2) размеры зон интереса значительно превышают среднестатистические объемы поражения, в частности дорсальные выпячивания размером менее 3 мм;

3) наличие сопутствующих признаков патологий пояснично-крестцового отдела позвоночника (онкологических нозологий, образований, изменений воспалительного характера).

Использована ранее разработанная методология тестирования ИИ-сервисов на этапах жизненного цикла [13]. В процессе тестирования были оценены в соответствии с базовыми диагностическими требованиями (БДТ) [14] критерии, коррелирующие с дегенеративными изменениями в пояснично-крестцовом отделе позвоночника. К числу данных критериев относятся:

– наличие дорсальных выпячиваний межпозвонковых дисков, выходящих за пределы дисковых пространств в области исследования и проникающих в просвет позвоночного канала на каждом уровне с указанием размеров (дифференциальная оценка на протрузии и грыжи не проводилась).

Размеры костного позвоночного канала на сагиттальных и аксиальных срезах, а также площадь дурального мешка, ограниченного твердой мозговой оболочкой:

– передне-заднего размера дурального мешка на аксиальных изображениях,

– фронтального размера дурального мешка на аксиальных изображениях,

– передне-заднего размера дурального мешка на сагиттальных изображениях,

– площади просвета дурального мешка на уровне дисков на аксиальных срезах [15].

Под целевой патологией принимались вышеописанные признаки. Наличие хотя бы одного из перечисленных признаков считалось за патологию, отсутствие всех перечисленных признаков – за норму. В качестве результата обработки исследования ИИ-сервисы возвращали дополнительную графическую серию с маркировкой (рис. 1–4) и дополнительную серию, содержащую текстовое заключение (рис. 5). Набор данных направлялся на анализ каждому ИИ-сервису посредством тестового контура ЕРИС ЕМИАС. Критерии включения в исследование предусматривали наличие ответов от всех ИИ-сервисов. Результаты автоматизированного анализа сопоставлялись с эталонной



Рис. 1. Пример некорректной работы – не определена протрузия L4–L5.

Fig. 1. Example of incorrect operation – L4–L5 disc protrusion not detected.



Рис. 2. Пример некорректной работы – не определена протрузия L5–S1.

Fig. 2. Example of incorrect operation – L5–S1 disc protrusion not detected.



Рис. 3. Пример корректной работы – верно определены дорсальные выпячивания на уровне L4–L5 и L5–S1.

Fig. 3. Example of correct operation – dorsal protrusions at the L4–L5 and L5–S1 levels correctly identified.

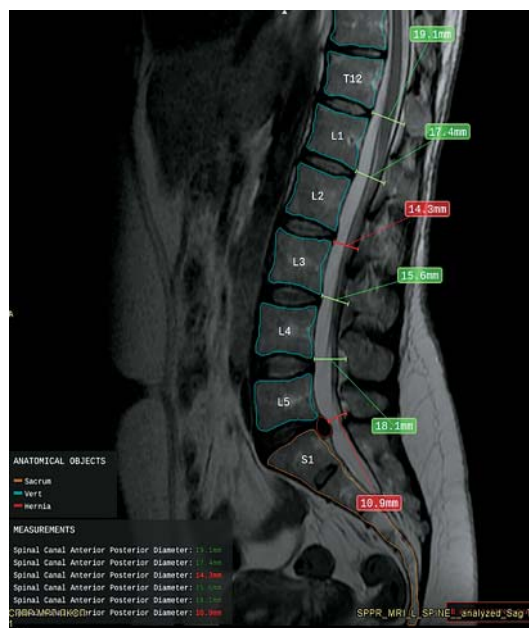


Рис. 4. Пример корректной работы – верно определено дорсальное выпячивание на уровне L5–S1.

Fig. 4. Example of correct operation – dorsal protrusion at the L5–S1 level correctly identified.

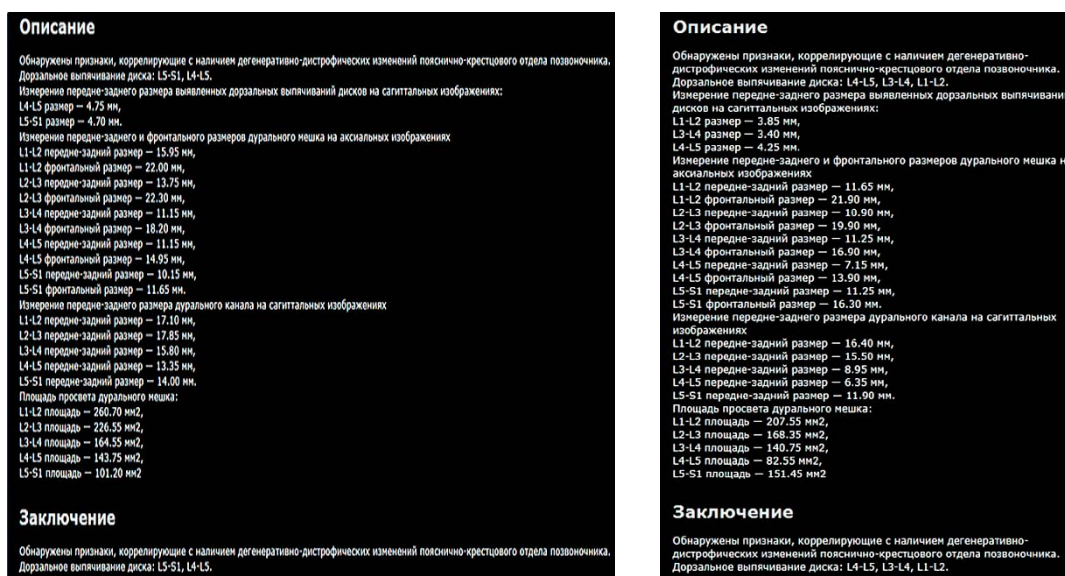
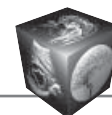


Рис. 5. Примеры текстового заключения.

Fig. 5. Examples of text conclusions.

разметкой и оценивались как истинно положительные или отрицательные, ложноположительные или отрицательные.

Статистическая обработка данных

Оценка диагностической точности алгоритмов ИИ проводилась с использованием ROC-анализа. Порог активации определялся по индексу Юдена [16]. Площадь под характеристической кривой была рассчитана с 95% доверительным интервалом (ДИ) методом Делонга [17]. Для определения оптимального порогового значения использовался максимум индекса Юдена, на основе которого были определены такие метрики, как чувствительность, специфичность и точность [18]. Сравнительный анализ AUC проводился с использованием перестановочного теста [19]. Проверялась нулевая гипотеза H_0 об отсутствии различий между ROC-кривыми против альтернативной гипотезы H_1 , утверждающей наличие различий, при уровне значимости $p < 0,05$.

При тестировании программного обеспечения, основанного на технологии ИИ, было учтено, что число исследований, показывающих наибольшую неоднородность значений AUCROC (максимальное отклонение от среднего), варьирует в зависимости от соотношения классов. Баланс классов устанавливается в соответствии с имеющимся в наборе данных классов, так, при доле патологии, 10% минимальный объем выборки составляет 190, при повышении доли патологии, минимальный объем выборки уменьшается и при 50% соот-

ветствует 70. В используемом наборе данных баланс классов был 1:1, соответственно мы взяли 100 исследований с запасом (на случай возникновения технических дефектов в обработке исследований) [20].

Этическая экспертиза

Настоящее исследование выполнено в рамках Эксперимента по внедрению передовых технологий компьютерного зрения для обработки медицинских изображений с последующим использованием в московской системе здравоохранения. Проект получил одобрение этического комитета (протокол №2 НЭК МРО РОПР от 20.02.2020) и зарегистрирован в международной базе клинических исследований ClinicalTrials под идентификационным номером NCT04489992.

Результаты исследования

ИИ-сервисы: ИИ-1, ИИ-2, ИИ-3 осуществили обработку эталонного набора данных, полученные значения показателей точности приведены в табл. 1.

ИИ-1 и ИИ-3 продемонстрировали высокие и стабильные показатели точности, чувствительности, специфичности и AUCROC, что делает их наиболее надежными для использования в практическом здравоохранении. ИИ-2 требует доработки, так как его показатели значительно ниже заявленных, что может ограничивать его применение в реальных условиях. У ИИ-2 отмечено отклонение от заявленного значения чувствительности

**Таблица 1.** Оценка диагностической точности и качества ИИ-сервисов для анализа результатов МРТ пояснично-крестцового отдела с целью дегенеративных изменений**Table 1.** Assessment of the diagnostic accuracy and quality of AI services for analyzing lumbar spine MRI results for degenerative changes

ИИ-сервис / Показатели точности AI Service / Accuracy Metrics	ИИ-1 AI-1	ИИ-2 AI-2	ИИ-3 AI-3			
Заявленные значения / Declared values						
Точность / Accuracy	0.930	0.980	0.900			
Чувствительность/ Sensitivity	0.972	0.980	0.960			
Специфичность / Specificity	0.940	0.890	0.870			
AUCROC	0.920	0.970	0.950			
Результаты калибровочных тестирований / Calibration test results						
	Полученные значения Obtained values	95% ДИ 95% CI	Полученные значения Obtained values	95% ДИ 95% CI	Полученные значения Obtained values	95% ДИ 95% CI
Точность / Accuracy	0.975	0.966–1.000	0.865	0.833–0.955	0.970	0.975–1.000
Чувствительность/ Sensitivity	0.970	0.940–1.000	0.890	0.830–0.950	0.980	0.950–1.000
Специфичность / Specificity	0.980	0.940–1.000	0.840	0.740–0.940	0.960	0.910–1.000
AUCROC	0.960	0.910–1.000	0.940	0.870–1.000	1.000	1.000–1.000

на 10%. Таким образом, результаты исследования подчеркивают важность калибровочного тестирования для оценки реальной эффективности ИИ-сервисов в медицинской диагностике.

Примеры корректной и некорректной работы ИИ-сервисов представлены на рис. 1–4.

Обсуждение

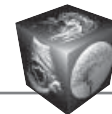
Дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника остаются одной из ключевых проблем современной медицины, приводя к хроническому болевому синдрому, снижению качества жизни и значительным экономическим затратам на лечение. В настоящее время МРТ – это лучший доступный инструмент визуализации для просмотра заболеваний мягких тканей, играющий роль в ведении болей в спине и планировании хирургического лечения [21]. Использование МРТ в медицине растет из-за клинических преимуществ и повышения безопасности пациентов.

По данным многопрофильных исследований оценки хронометража среднее время интерпретации МРТ в ряде работ составляет порядка 15–20 мин и может увеличиваться при анализе более сложных исследований, тогда как для компьютерной томографии и рентгенографии оно, как правило, меньше и нередко ограничивается несколькими минутами [22]. Увеличение сложности протоколов и числа последовательностей в стандартных

МРТ-исследованиях приводит к дополнительной когнитивной нагрузке и повышает риск диагностических ошибок при дефиците времени.

Проведенное ретроспективное диагностическое исследование трех ИИ-сервисов, в котором мы самостоятельно рассчитывали оптимальный порог, выявило существенные различия в их диагностической точности при выявлении дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника. ИИ-1 продемонстрировал высокую точность (0,975), превысив заявленные значения (0,93). Чувствительность (0,97) и специфичность (0,98) также оказались на высоком уровне, что подтверждает его надежность. Однако AUCROC (0,96) несколько уступает ИИ-3, что может указывать на менее стабильную работу при различной степени выраженности патологий. ИИ-2 показал снижение точности (0,865 против заявленных 0,98), а также чувствительности (0,89 против 0,98). ИИ-3 проявил себя как наиболее стабильный и точный алгоритм: точность 0,97 (при заявленных 0,9); чувствительность 0,98 (практически идеальная); специфичность 0,96 (высокая способность исключать ложноположительные случаи); AUCROC 1,0 (максимальное возможное значение, что свидетельствует о выдающейся диагностической эффективности).

Сервис ИИ-3 может рассматриваться как наиболее надежный инструмент для автоматизированного анализа МРТ позвоночника, демон-



стрируя превосходство не только над другими ИИ-сервисами, но и над заявленными характеристиками. ИИ-1 также показал высокие результаты, но требует дополнительной валидации на более разнообразных клинических данных. ИИ-2 оказался менее воспроизводимым в реальных условиях, что подчеркивает необходимость доработки алгоритма. Различия в точности между сервисами указывают на важность тщательного тестирования.

Научные группы, как в России, так и за рубежом, работают над созданием ИИ-систем для диагностики ДДЗП по МРТ-изображениям. Как показано в систематическом обзоре R. Compte и соавт. (2023), существующие разработки используют методы машинного обучения для анализа: дегенеративных изменений межпозвонковых дисков, грыж различного типа, протрузий, патологических изменений Modic. Были включены модели, использующие глубокое обучение, опорные векторные машины. Из 27 включенных исследований 22 были направлены на разработку алгоритма, 2/27 сообщили о разработке и внешней проверке [23] и 3/27 были сосредоточены исключительно на внешней проверке [24]. Большинство исследований (24/27) использовали ретроспективные, уже существующие наборы данных из больничных или университетских коллекций; однако 4/27 исследований (24/27) использовали проспективно изучали сканы пациентов. 16 исследований с наборами данных изображений использовали алгоритмы глубокого обучения. Модели глубокого обучения в среднем имели точность 87,0% (SD 7,0%), специфичность 90,4% (SD 6,3%) и чувствительность 88,2% (SD 7,2%). 8/25 исследований сравнивали производительность нескольких классических алгоритмов машинного обучения, основанных на глубоких нейронных сетях (DL). Другие исследования использовали неспецифические алгоритмы, которые были указаны как пользовательские модели (2/25). Большинство исследований, включенных в этот систематический обзор, использовали модели глубокого обучения для классификации или градации дегенеративных изменений межпозвонкового диска по критериям Пфиррмана или МК. Можно ожидать, что модели глубокого обучения, состоящие из сложных многослойных входных сетей, превзойдут другие алгоритмы для чтения МРТ позвоночника. Это ожидание было отражено в выборе многих авторов исследований в этом обзоре в пользу использования моделей глубокого обучения. Однако результаты исследования не показывают различий в производительности DL по сравнению с другими подходами МО. Алгоритмы глубокого обучения, как правило, имеют высокий уро-

вень ложноположительных ошибок и их трудно калибровать [25].

Проведенное нами исследование можно классифицировать как внешнюю независимую валидацию на ограниченном наборе данных. Заявленные разработчиком значения являются внутренней валидацией компании разработчика. Исследование подтвердило высокую обобщающую способность разработанных алгоритмов: их диагностическая точность не снизилась при внешней валидации, причем для ИИ-3 показатели оказались выше верхней границы 95% ДИ. Важно понимать, что подобные испытания на эталонных данных представляют собой только начальную стадию внедрения ИИ-решений в систему здравоохранения.

Подавляющее большинство опубликованных исследований не включает апробацию алгоритмов ИИ в реальной клинической практике. Разработчики программного обеспечения, основанного на технологиях ИИ, часто не раскрывают метрики диагностической точности своих продуктов. Существующие классификации программного обеспечения на основе ИИ, разработанные другими авторами, сосредоточены на технических характеристиках систем, в то время как клиническая применимость остается вне их внимания [26]. В связи с этим остаются нерешенными ключевые вопросы, такие как воспроизводимость результатов ИИ на новых данных, возможность масштабирования внедрения, клиническая значимость полученных показателей. В качестве примера возьмем данные нашего исследования: у одного из ИИ-сервисов расхождение между заявленной и фактической точностью около 10%. Это свидетельствует о том, что при работе с эталонным набором, не входившими в обучающую выборку, диагностическая эффективность алгоритма может существенно снижаться. В связи с этим основной задачей дальнейших исследований мы считаем оценки стабильности и диагностической точности ИИ-сервисов в условиях рутинной работы отделений лучевой диагностики, в частности при выявлении дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника. Только после решения этой задачи можно переходить к анализу результативности и эффективности подобных технологий в клинической практике. Дальнейшее развитие исследований должно быть направлено на расширение выборки пациентов, оценку точности проводимых измерений и воспроизводимости алгоритмов при потоковой обработке МР-исследований и создание систем постоянного мониторинга качества работы ИИ-сервисов в условиях реального клинического процесса.



Заключение

Проведенное исследование автоматизированного выявления дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника при проведении МРТ с применением ИИ на основе результатов калибровочного тестирования выявило, что этап внешней оценки ИИ-сервисов играет решающую роль в объективном подтверждении их диагностической эффективности. Сопоставление заявленных и фактических метрик показало расхождение до 10%, демонстрируя необходимость системной процедуры валидации, обеспечивающей надежную оценку качества медицинского программного обеспечения. Полученные значения метрик диагностической точности подтверждают значительный потенциал ИИ-технологий для повышения эффективности диагностики дегенеративных заболеваний позвоночника, что может способствовать сокращению времени анализа изображений, повышению точности интерпретации и снижению влияния человеческого фактора при рутинной работе рентгенологов.

Источник финансирования

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР "Научные методологии устойчивого развития технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике" (№ ЕГИСУ: № 123031500004-5) в соответствии с Приказом от 17.12.2024 № 1184 "Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 годов" Департамента здравоохранения города Москвы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии как явных, так и потенциальных конфликтов интересов, которые могли бы повлиять на содержание данной публикации.

Вклад авторов

Все указанные авторы соответствуют критериям Международного комитета редакторов медицинских журналов (ICMJE): участвовали в разработке концепции исследования, внесли значимый вклад в проведение работы, принимали активное участие в подготовке рукописи. Каждый автор ознакомился с финальной версией статьи и дал согласие на ее публикацию.

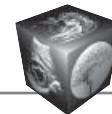
Authors' participation

All listed authors meet the criteria of the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE): they

participated in the study conception, made a significant contribution to the conduct of the work, and actively participated in the preparation of the manuscript. Each author reviewed the final version of the article and consented to its publication.

Список литературы [References]

1. Тюрников В.М. Дегенеративно-дистрофические поражения позвоночника: диагностика, клиника и лечение. *РМЖ*. 2008; 26: 1739.
Tyurnikov V.M. Degenerative-dystrophic lesions of the spine: diagnosis, clinical features, and treatment. *RMJ*. 2008; 26: 1739. (In Russian)
2. Подчуфарова Е.В., Яхно Н.Н., Алексеев В.В., Аведисова А.С., Чахава К.О., Ершова Е.М., Протасенко Т.В. Хронические болевые синдромы пояснично-крестцовой локализации: значение структурных скелетно-мышечных расстройств и психологических факторов. *Боль*. 2003; 1: 38–43.
Podchufarova E.V., Yakhno N.N., Alekseev V.V. et al. Chronic pain syndromes of lumbosacral localization: the role of structural musculoskeletal disorders and psychological factors. *Pain*. 2003; 1: 38–43. (In Russian)
3. Кренева Ю.А., Панов В.П., Авдеева М.В., Богомолова К.А. Восстановительный потенциал комплексных реабилитационных мероприятий при оказании первичной медико-санитарной помощи больным с дегенеративными заболеваниями позвоночника. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2018; 2 (67): 76–82.
Kreneva Yu.A., Panov V.P., Avdeeva M.V., Bogomolova K.A. Restorative potential of complex rehabilitation in the primary health care provision for patients with degenerative disc diseases. *Preventive and Clinical Medicine*. 2018; 2 (67): 76–82. (In Russian)
4. Орел А.М., Семенова О.К. Частота дегенеративно-дистрофических поражений суставов позвоночника у пациентов молодого и среднего возраста с дорсопатией. *Российский остеопатический журнал*. 2019; 3–4: 30–36. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2019-3-4-30-36>
Orel A.M., Semenova O.K. The frequency of degenerative-dystrophic lesions of the joints of the spine in young and middle-aged patients with dorsopathy. *Russian Osteopathic Journal*. 2019; 3–4: 30–36. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2019-3-4-30-36> (In Russian)
5. Вышлова И.А., Карпов С.М., Стародубцев А.И. Вертеброгенные болевые синдромы поясничного уровня: эпидемиология, клинические проявления. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2016; 4: 586–587. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2016.00142>
Vishlova I., Karpov S., Starodubtsev A. Low back pain syndrome: epidemiology and clinical manifestations. *Medical News of North Caucasus*. 2016; 4: 586–587. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2016.00142> (In Russian)
6. Gholamrezanezhad A., Basques K., Batouli A. et al. Clinical Nononcologic Applications of PET/CT and PET/MRI in Musculoskeletal, Orthopedic, and Rheumatologic Imaging. *Am. J. Roentgenol*. 2018; 210 (6): W245–W263. <https://doi.org/10.2214/AJR.17.18523>
7. Методические рекомендации по разработке инструкций по охране труда для персонала кабинета (отделения) магнитно-резонансной томографии: Методические рекомендации. М.: Государственное бюджет-



- ное учреждение здравоохранения города Москвы "Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения города Москвы", 2017. 32 с. (Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики). https://telemedai.ru/media/uploads/2023/02/21/44-_.pdf
- Guidelines for the development of occupational safety instructions for personnel of magnetic resonance imaging (MRI) units (departments) [Internet]. Moscow: Research and Practical Center of Medical Radiology, Moscow Healthcare Department; 2017. 32 p. https://telemedai.ru/media/uploads/2023/02/21/44-_.pdf (In Russian)
8. Hajiheydari N., Delgosha M.S., Saheb T. AI in medical diagnosis: A contextualised study of patient motivations and concerns. *Soc. Sci. Med.* 2025; 371: 117850. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2025.117850>
 9. Xuan J., Ke B., Ma W. et al. Spinal disease diagnosis assistant based on MRI images using deep transfer learning methods. *Front. Public Health.* 2023; 11: 1044525. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1044525>
 10. Su Z.H., Liu J., Yang M.S. et al. Automatic Grading of Disc Herniation, Central Canal Stenosis and Nerve Roots Compression in Lumbar Magnetic Resonance Image Diagnosis. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2022; 13: 890371. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.890371>
 11. Эксперимент по использованию технологий искусственного интеллекта для анализа медицинских изображений [Электронный ресурс]. *MosMed.AI*. ГБУЗ "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ". <https://mosmed.ai/ai/>
Experiment on the use of artificial intelligence technologies for the analysis of medical images [Electronic resource]. *MosMed.AI*. State Budgetary Healthcare Institution 'Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health'. URL: <https://mosmed.ai/ai/> (In Russian)
 12. Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., Арзамасов К.М. Подходы к формированию наборов данных в лучевой диагностике. *Врач и информационные технологии*. 2023; 4: 14–23. https://doi.org/10.25881/18110193_2023_4_14
Bobrovskaya T.M., Vasiliev Yu.A., Nikitin N.Yu., Arzamasov K.M. Approaches to building radiology datasets. *Medical Doctor and Information Technologies*. 2023; 4: 14–23. https://doi.org/10.25881/18110193_2023_4_14 (In Russian)
 13. Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Арзамасов К.М., Четвериков С.Ф., Румянцев Д.А., Зеленова М.А. Методология тестирования и мониторинга программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для медицинской диагностики. *Digital Diagnostics*. 2023; 4 (3): 252–267. <https://doi.org/10.17816/DD321971>
Vasiliev Yu.A., Vladzimirsky A.V., Omelyanskaya O.V. et al. Methodology for testing and monitoring artificial intelligence-based software for medical diagnostics. *Digital Diagnostics*. 2023; 4 (3): 252–267. <https://doi.org/10.17816/DD321971> (In Russian)
 14. Документы эксперимента по использованию технологий искусственного интеллекта для анализа медицинских изображений [Электронный ресурс]. *MosMed.AI*. ГБУЗ "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ". URL: <https://mosmed.ai/ai/docs/>
Documents of the experiment on the use of artificial intelligence technologies for the analysis of medical images [Electronic resource]. *MosMed.AI*. State Budgetary Healthcare Institution 'Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health'. URL: <https://mosmed.ai/ai/docs/> (In Russian)
 15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621223 Российская Федерация. *MosMedData: MPT с признаками патологий пояснично-крестцового отдела позвоночника*: № 2023620789: заявл. 24.03.2023; опублик. 17.04.2023 / Ю.А. Васильев, Е.В. Туравилова, А.В. Владимирский и др.; заявитель Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы". <https://mosmed.ai/en/datasets/otkritie-dlya-self-testov/mosmeddata-mrt-s-priznakami-patologii-poyasnichnokresttsovogo-otdela-pozvonochnika-tip-iii/> Certificate of State Registration of a Database No. 2023621223, Russian Federation. *MosMedData: MRI with signs of pathologies of the lumbosacral spine*: No. 2023620789; application dated March 24, 2023; published April 17, 2023 / Yu.A. Vasiliev, E.V. Turavilova, A.V. Vladzimirsky et al.; applicant: State Budgetary Healthcare Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department." (In Russian)
 16. Клинические испытания систем искусственного интеллекта (лучевая диагностика). М.: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы", 2023. 40 с. https://mosmed.ai/documents/294/web_Клинические_испытания_систем_искусственного_интеллекта_Pxp0V2i.pdf
Clinical Trials of Artificial Intelligence Systems (Radiology). Moscow: State Budgetary Healthcare Institution of Moscow "Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Healthcare", 2023. 40 p. https://mosmed.ai/documents/294/web_Клинические_испытания_систем_искусственного_интеллекта_Pxp0V2i.pdf (In Russian)
 17. Sun X., Xu W. Fast implementation of DeLong's algorithm for comparing the areas under correlated receiver operating characteristic curves. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 2014; 21 (11): 1389–1393. <https://doi.org/10.1109/LSP.2014.2337313>
 18. Pauly M., Asendorf T., Konietzschke F. Permutation-based inference for the AUC: A unified approach for continuous and discontinuous data. *Biom. J.* 2016; 58 (6): 1319–1337. <https://doi.org/10.1002/bimj.201500105>
 19. Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Четвериков С.Ф., Арзамасов К.М. Объем выборки для оценки диагностической точности программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике. *Сибирский журнал*



- клинической и экспериментальной медицины. 2024; 39 (3): 188–198. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-3-188-198>
- Bobrovskaya T.M., Vasiliev Yu.A., Nikitin N.Yu. et al. Sample Size for Assessing the Diagnostic Accuracy of Artificial Intelligence-Based Software in Radiology. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2024; 39 (3): 188–198. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-3-188-198> (In Russian)
20. Nahm F.S. Receiver operating characteristic curve: overview and practical use for clinicians. *Korean J. Anesthesiol.* 2022; 75 (1): 25–36. <https://doi.org/10.4097/kja.21209>
21. Low back pain and sciatica in over 16s: assessment and management. London: National Institute for Health and Care Excellence (NICE); 2020 Dec 11. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562933/>
22. Kwee R.M., Amasha A.A.H., Kwee T.C. Reading Times of Common Musculoskeletal MRI Examinations: A Survey Study. *Tomography*. 2024; 10 (9): 1527–1533. <https://doi.org/10.3390/tomography10090112>
23. Zheng H.D., Sun Y.L., Kong D.W. et al. Deep learning-based high-accuracy quantitation for lumbar intervertebral disc degeneration from MRI. *Nat. Commun.* 2022; 13 (1): 841. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28387-5>
24. Grob A., Loibl M., Jamaludin A. et al. External validation of the deep learning system “SpineNet” for grading radiological features of degeneration on MRIs of the lumbar spine. *Eur. Spine J.* 2022; 31 (8): 2137–2148. <https://doi.org/10.1007/s00586-022-07311-x>
25. Jamaludin A., Kadir T., Zisserman A. SpineNet: Automated classification and evidence visualization in spinal MRIs. *Med. Image Anal.* 2017; 41: 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.002>
26. Bichu Y.M., Hansa I., Bichu A.Y. et al. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Prog. Orthod.* 2021; 22 (1): 18. <https://doi.org/10.1186/s40510-021-00361-9>

Для корреспонденции*: Тхакахова Регина Альбертовна – e-mail: TkhakakhovaRA@zdrav.mos.ru

Тхакахова Регина Альбертовна – аспирант, врач-рентгенолог ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0009-0006-0943-2223>

Владимирский Антон Вячеславович – доктор мед. наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Арзамасов Кирилл Михайлович – доктор мед. наук, руководитель отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики, ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”, Москва; доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Самарский государственный медицинский университет” Минздрава России, Самара. <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

Contact*: Regina A. Tkhakakhova – e-mail: TkhakakhovaRA@zdrav.mos.ru

Regina A. Tkhakakhova – Radiologist, Postgraduate Student, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0009-0006-0943-2223>

Anton V. Vladzmyrskyy – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director for Research, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Kirill M. Arzamasov – Doct. of Sci. (Med.), Functional Diagnostics Physician, Cybernetics Physician, Head of the Department of Medical Informatics, Radiomics, and Radiogenomics at the Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow; Associate Professor, Department of Radiology and Radiation Therapy, Samara State Medical University, Samara. <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>