

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

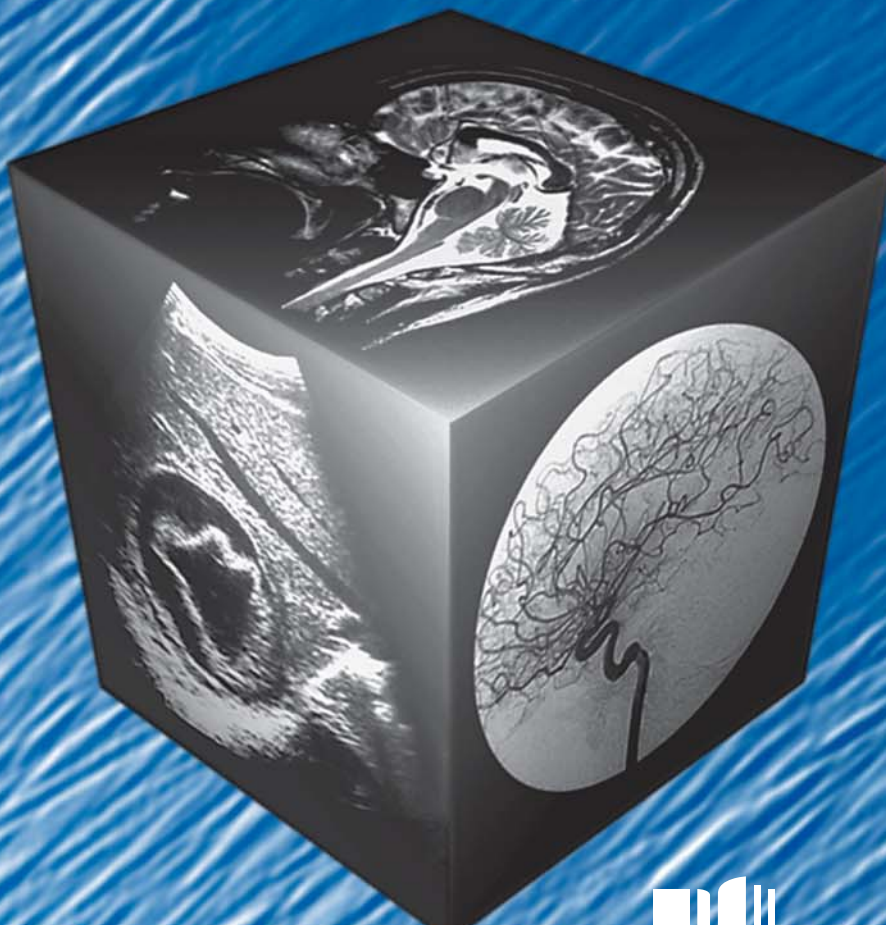
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 30 №1
Vol 30 N1

2026

www.medvis.rdsmedia.ru



- Глубина инвазии рака языка: МРТ против МСКТ
- КТ и МРТ в оценке головного мозга у детей с краниосиностозами: от структуры к перфузии
- ДЭКТ-ангиография: видеть нестабильные бляшки
- МР-диагностика феохромоцитомы: критерии дифференциальной оценки
- Революция в ортопедии: новые горизонты постуральной рентгенографии
- Межэкспертная согласованность классификации LN-RADS
- Контрастное мультимодальное УЗИ: детекция и прогноз при раке молочной железы
- Диабетическая фетопатия: патогенез, прогноз, перинатальные исходы
- Ультразвуковая анатомия седалищного нерва: исследование *ex vivo*
- МР-морфология и радиомика: предсказание ЛВИ рака молочной железы гибридными моделями

РДС-МЕДИА



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

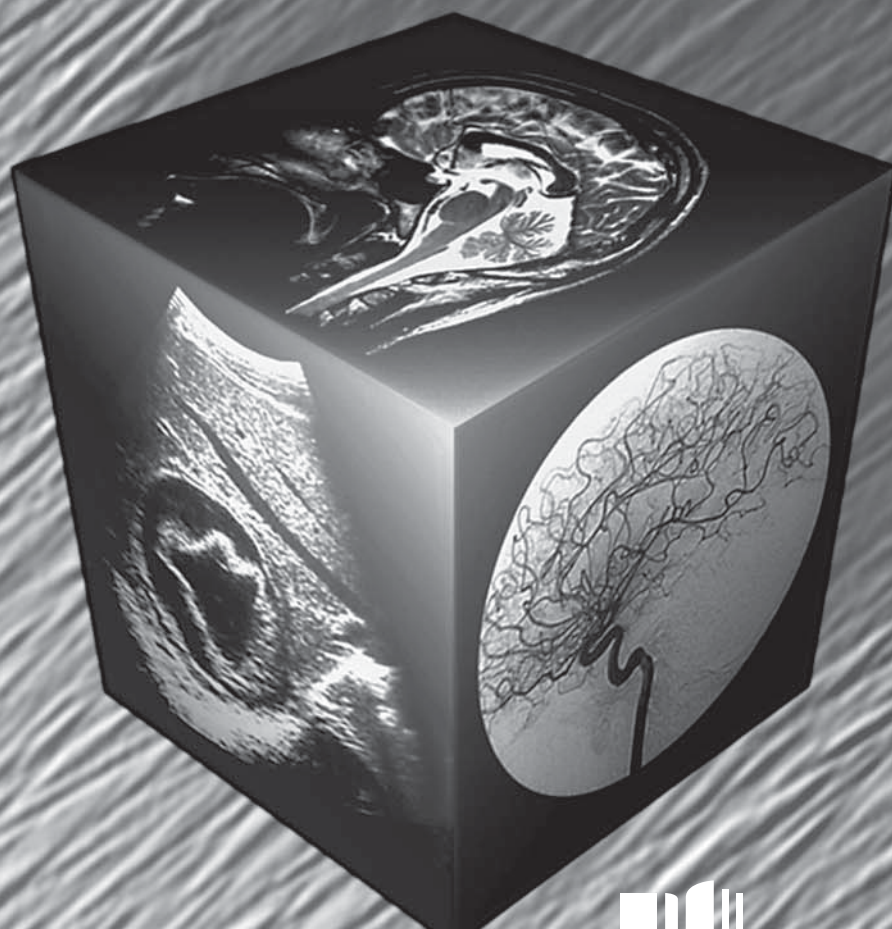
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 30 №1
Vol 30 N1

2026

www.medvis.rdsmedia.ru



РДС-МЕДИА



- Глубина инвазии рака языка: МРТ против МСКТ
- КТ и МРТ в оценке головного мозга у детей с краниосиностозами: от структуры к перфузии
- ДЭКТ-ангиография: видеть нестабильные бляшки
- МР-диагностика феохромоцитомы: критерии дифференциальной оценки
- Революция в ортопедии: новые горизонты постуральной рентгенографии
- Межэкспертная согласованность классификации LN-RADS
- Контрастное мультиметрическое УЗИ: детекция и прогноз при раке молочной железы
- Диабетическая фетопатия: патогенез, прогноз, перинатальные исходы
- Ультразвуковая анатомия седалищного нерва: исследование *ex vivo*
- МР-морфология и радиомика: предсказание ЛВИ рака молочной железы гибридными моделями

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditinskaya vizualizatsiya

2026 Том 30 №1

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

Официальный
печатный орган

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

Издатель

ООО "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 рентгенодиагностики" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Заместитель главного редактора

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000290149022>. Scopus Author ID: 7102053957

Научные консультанты

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

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

Зав. редакцией

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

Редакционная коллегия

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

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

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

Ахметов Ермек Абибуллаевич – доктор мед. наук, доцент, доцент кафедры онкологии и визуальной диагностики 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 20.03.2026 г.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditinskaya vizualizatsiya

2026 V. 30 N1



Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

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

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

Moscow regional department of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists

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

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

Rainer 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

Phone: +7 916 530-54-09. <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: 20.03.2026



Содержание

Голова и шея

- 10 Эффективность МРТ и МСКТ в определении глубины инвазии плоскоклеточной карциномы языка**
Володина В.Д., Серова Н.С., Решетов И.В., Какорина О.А.
- 20 Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами**
Палеева И.С., Лукин М.В., Гладышев Н.С., Выshedкевич Е.Д., Ефимцев А.Ю., Труфанов Г.Е.

Сердце и сосуды

- 33 Двухэнергетическая компьютерно-томографическая ангиография в определении стабильных и нестабильных компонентов атеросклеротических бляшек: сравнительный анализ с результатами гистологического исследования**
Галаяутдинова Л.Э., Мамедова М.М., Гончарова Е.А., Басек И.В., Алексеева Д.В., Митрофанова Л.Б., Труфанов Г.Е., Ванюркин А.Г., Чернявский М.А.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

- 41 Диагностические возможности магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике феохромоцитомы надпочечников**
Хайриева А.В., Тарбаева Н.В., Манаев А.В., Трошина Е.А., Мельниченко Г.А., Мокрышева Н.Г.

Кости и суставы

- 49 Новые возможности постуральной рентгенографии позвоночника**
Орел А.М.

Поверхностные органы

- 61 Оценка межэкспертной согласованности мнений врачей ультразвуковой диагностики при использовании Российской классификации ультразвуковых характеристик лимфатических узлов LN-RADS**
Сыч Ю.П., Фисенко Е.П., Катрич А.Н., Буланов М.Н.
- 68 Потенциал мультипараметрического ультразвукового исследования с контрастированием для детекции и прогнозирования статуса сигнальных лимфатических узлов при инвазивном раке молочной железы**
Бикеев Ю.В., Родионова М.В., Сенча А.Н., Родионов В.В., Кометова В.В., Колядина И.В.

Акушерство и гинекология

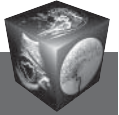
- 81 Диабетическая фетопатия – патогенез, прогнозирование, перинатальные и неонатальные исходы**
Зими́на Н.Д., Фомина С.В., Мицеля Е.В., Самойлова Ю.Г.

Нижние конечности

- 92 Эхографическая характеристика седалищных нервов при аутопсии (пилотное исследование)**
Дубровских С.Н., Татарина А.В., Гумерова Э.А., Степанова Ю.А., Пацап О.И., Дубровских Д.С.

Технологии лучевой диагностики

- 100 Роль морфологических магнитно-резонансных признаков в прогнозировании лимфоваскулярной инвазии злокачественных новообразований молочной железы гибридными морфорациомическими моделями**
Васильев Ю.А., Скоробогач И.М., Нуднов Н.В., Блохин И.А., Решетников Р.В., Коценко М.Р., Омельянская О.В., Владимировский А.В.



Contents

Head and neck

- 10 MRI and MSCT efficacy in assessment of the depth of invasion of squamous cell carcinoma of the tongue**

Viktoriiia D. Volodina, Natalia S. Serova,
Igor V. Reshetov, Olga A. Kakorina

- 20 Computed and magnetic resonance imaging to identify structural and perfusion changes in the brain in children with craniosynostosis**

Irina S. Paleeva, Maxim V. Lukin, Nikita S. Gladyshev,
Elena D. Vyshedkevich, Alexander Yu. Efimtsev,
Gennady E. Trufanov

Heart and vessels

- 33 Dual-energy computed tomography angiography in identifying stable and unstable components of atherosclerotic plaque: a comparative analysis with histological findings**

Lina E. Galyautdinova, Milena M. Mamedova,
Ekaterina A. Goncharova, Ilona V. Basek,
Darya V. Alekseeva, Lyubov B. Mitrofanova,
Gennadii E. Trufanov, Almaz G. Vanyurkin,
Mihail A. Chernyavskiy

Abdomen and retroperitoneum

- 41 Diagnostic capabilities of magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of adrenal pheochromocytoma**

Angelina V. Khairieva, Natalia V. Tarbaeva,
Almaz V. Manaev, Ekaterina A. Troshina,
Galina A. Melnichenko, Natalia G. Mokrysheva

Bones and Joints

- 49 New possibilities of postural spine radiography**
Aleksander M. Orel

Superficial organs

- 61 Assessment of inter-expert agreement among ultrasound diagnostic physicians using the Russian classification of lymphatic nodules ultrasound characteristics LN-RADS**

Yulia P. Sych, Elena P. Fisenko, Aleksey N. Katrich,
Mikhail N. Bulanov

- 68 The potential of multiparametric contrast-enhanced ultrasound to detect and predict sentinel lymph node status in invasive breast cancer**

Yury V. Bikeev, Maria V. Rodionova,
Alexandr N. Sencha, Valery V. Rodionov,
Vlada V. Kometova, Irina V. Kolyadina

Obstetrics and gynecology

- 81 Diabetic fetopathy – pathogenesis, prognosis, perinatal and neonatal outcomes**

Natalia D. Zimina, Svetlana V. Fomina,
Elena V. Mitselya, Iulia G. Samoilova

Lower extremities

- 92 Echographic characteristics of sciatic nerves at autopsy (pilot study)**

Svetlana N. Dubrovskikh, Alena V. Tatarina,
Elmira A. Gumerova, Yulia A. Stepanova,
Olga I. Patsap, Daria S. Dubrovskikh

Radiological technologies

- 100 Role of morphologic magnetic resonance features in predicting lymphovascular invasion of malignant breast neoplasms by hybrid morpho-radiomic models**

Yuri A. Vasiliev, Ivan M. Skorobogach,
Nikolay V. Nudnov, Ivan A. Blokhin,
Roman V. Reshetnikov, Maria R. Kodenko,
Olga V. Omelyanskaya, Anton V. Vladzimirsky



Эффективность МРТ и МСКТ в определении глубины инвазии плоскоклеточной карциномы языка

© Володина В.Д.^{1*}, Серова Н.С.¹, Решетов И.В.^{1,2}, Какорина О.А.¹

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

² Академия постдипломного образования ФГБУ "Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства"; 125371 Москва, Волоколамское шоссе, д. 91, Российская Федерация

Цель исследования: оценить эффективность магнитно-резонансной томографии (МРТ) и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в измерении глубины инвазии плоскоклеточной карциномы языка.

Материал и методы. Обследовано 53 (100%) пациента с первично выявленным и гистологически подтвержденным плоскоклеточным раком (ПКР) языка. Всем пациентам были выполнены МСКТ- и МРТ-исследования с контрастированием. Оценивалась корреляция между данными, полученными при МРТ- и МСКТ-исследованиях, и клинко-гистологическими характеристиками ПКР языка в оценке глубины инвазии.

Результаты. При выполнении МРТ- и МСКТ-исследований для оценки глубины инвазии ПКР языка были проанализированы результаты исследований 53 пациентов, среди них 32 (60,4%) мужчины и 21 (39,6%) женщина, средний возраст составил 52 ± 6 лет. МСКТ с контрастированием показала меньшую глубину инвазии по сравнению с послеоперационным патоморфологическим исследованием (Me 9,7 и 10,5 мм соответственно, межквартильный интервал (Q1–Q3) составил 6,75–13 и 8,2–13,1 мм соответственно, $p < 0,001$), а МРТ – большую глубину инвазии по сравнению с послеоперационным патоморфологическим исследованием (Me 11,9 и 10,5 мм соответственно, межквартильный интервал (Q1–Q3) составил 9,3–15,1 и 8,2–13,1 мм соответственно, $p < 0,001$). Корреляция между данными методов лучевой диагностики и патоморфологическим исследованием оказалась выше для МРТ ($r = 0,9749$) по сравнению с МСКТ с контрастированием ($r = 0,9341$).

Обсуждение. Сравнительный анализ результатов МСКТ и МРТ выявил их значимость в определении глубины инвазии плоскоклеточной карциномы языка при сопоставлении с данными послеоперационного гистологического исследования. Наши результаты исследования продемонстрировали различия с данными, полученными другими авторами, которые в основном уделяли внимание МСКТ с контрастированием как наилучшего метода диагностики у данной категории пациентов. Несмотря на то что коэффициент корреляции в нашем исследовании для МСКТ также являлся высоким ($r = 0,9341$, $p < 0,001$), тем не менее МРТ продемонстрировала более высокую диагностическую ценность в определении степени распространения опухоли ($r = 0,9749$, $p < 0,001$) по сравнению с контрастной МСКТ. МРТ в оценке глубины инвазии при ПКР языка продемонстрировала более высокий результат, дополнив информацию о распространенности опухолевого процесса, уточнив стадию процесса, что имеет важное значение для выбора оптимальной тактики лечения.

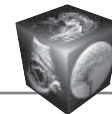
Заключение. Таким образом, при измерении глубины инвазии при плоскоклеточном раке языка для МСКТ показатели чувствительности (Sn) и специфичности (Sp) составили 85,7 и 90,9% соответственно, для МРТ показатели чувствительности и специфичности составили 93,3 и 88,9% соответственно, что подтверждает высокую эффективность при выполнении исследования орофарингеальной области с помощью МРТ.

Ключевые слова: плоскоклеточный рак полости рта; ПКР, рак языка; мультиспиральная компьютерная томография; МСКТ; МРТ; челюстно-лицевая область; глубина инвазии

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Володина В.Д., Серова Н.С., Решетов И.В., Какорина О.А. Эффективность МРТ и МСКТ в определении глубины инвазии плоскоклеточной карциномы языка. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 10–19. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1557>

Поступила в редакцию: 25.04.2025. Принята к печати: 26.06.2025. Опубликовано online: 13.01.2026.



MRI and MSCT efficacy in assessment of the depth of invasion of squamous cell carcinoma of the tongue

© Viktoriia D. Volodina^{1*}, Natalia S. Serova¹, Igor V. Reshetov^{1, 2}, Olga A. Kakorina¹

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

² Academy of postgraduate education of FMBA of Russia; 91, Volokolamskoye shosse, Moscow 125371, Russian Federation

Purpose. To assess the efficacy of MRI and MSCT in measuring the depth of invasion of tongue squamous cell carcinoma.

Materials and methods. A total of 53 patients (100%) with primary diagnosed and histologically confirmed squamous cell carcinoma (SCC) of the tongue were examined. All patients underwent contrast-enhanced MSCT and MRI. The correlation between the data obtained from MRI and MSCT and the clinical-histological data of SCC of the tongue was assessed in evaluating the depth of invasion.

Results. The results of MRI and MSCT in evaluating the depth of invasion of SCC of the tongue were analyzed for 53 patients, including 32 (60.4%) men and 21 (39.6%) women with a mean age of 52 ± 6 years. Contrast-enhanced MSCT showed a lesser depth of invasion compared to postoperative pathological examination (Me–9.7 mm and 10.5 mm, respectively, with an interquartile range (Q1–Q3) of 6.75–13 mm and 8.2–13.1 mm, respectively, $p < 0.001$), while MRI showed a greater depth of invasion compared to postoperative pathological examination (Me–11.9 mm and 10.5 mm, respectively, with an interquartile range (Q1–Q3) of 9.3–15.1 mm and 8.2–13.1 mm, respectively, $p < 0.001$). The correlation between the data from radiation methods and pathological examination was higher for MRI ($r = 0.9749$) compared to contrast-enhanced MSCT ($r = 0.9341$).

Discussion. A comparative analysis of the MSCT and MRI results revealed their significance in determining the depth of invasion of SCC of the tongue compared to postoperative histological examination data. Our study results demonstrated differences from those obtained by other authors, who primarily focused on contrast-enhanced MSCT as the preferred diagnostic method for this category of patients. Although the correlation coefficient for MSCT in our study was also high ($r = 0.9341$, $p < 0.001$), MRI showed higher diagnostic value in determining the extent of tumor spread ($r = 0.9749$, $p < 0.001$) compared to contrast-enhanced MSCT. MRI in evaluating the depth of invasion in SCC of the tongue demonstrated a higher result, complementing information about the extent of the tumor process and clarifying the stage of the disease, which is crucial for selecting the optimal treatment strategy.

Conclusion. Thus, in measuring the depth of invasion in SCC of the tongue, the sensitivity and specificity for MSCT were 85.7% and 90.9%, respectively, while for MRI, the sensitivity and specificity made up 93.3% and 88.9%, respectively, confirming the high efficacy of MRI in examination of the oropharyngeal area.

Keywords: squamous cell carcinoma of the oral cavity; SCC; tongue cancer; multi-slice computed tomography; MSCT; MRI; maxillofacial area; depth of invasion

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

For citation: Volodina V.D., Serova N.S., Reshetov I.V., Kakorina O.A. MRI and MSCT efficacy in assessment of the depth of invasion of squamous cell carcinoma of the tongue. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 10–19. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1557>

Received: 25.04.2025.

Accepted for publication: 26.06.2025.

Published online: 13.01.2026.

Введение

Рак полости рта представляет собой важную глобальную проблему здравоохранения: ежегодно в мире регистрируется свыше 600 тыс. новых случаев рака слизистой оболочки полости рта [1]. Рак полости рта и ротогортаноглотки занимает 6–7-е место по распространенности среди всех злокачественных новообразований (ЗНО) головы и шеи в мире [2]. В 2023 г. в РФ было выявлено 9840 больных раком полости рта и ротогортаноглотки [3]. Из данных литературы следует, что стандартизированный показатель заболеваемости для мужчин и женщин в 2023 г. составил 3,7 слу-

чая на 100 тыс. Несмотря на естественную убыль населения (–1,7%), стоит отметить высокую смертность в первый год после постановки диагноза, достигающую 27,8%. Несмотря на визуальную доступность данных опухолей, у значительной части пациентов заболевание выявляют в запущенной стадии (66,8% – III и IV, в 2023 г.), когда требуется применение мультимодального комплексного лечения. Средний возраст таких пациентов составляет 60 лет [4–6].

Плоскоклеточный рак представляет собой основной тип злокачественных новообразований полости рта, при этом язык – доминирующая ло-



кализация [7]. Согласно обновленным рекомендациям по лечению злокачественных опухолей Российского общества клинической онкологии (RUSSCO) (2018), классификация рака полости рта была дополнена параметром глубины инвазии, учитывая его существенную корреляцию с метастазированием в регионарные лимфатические узлы шеи, – ключевым фактором, влияющим на 5-летнюю выживаемость пациентов [7]. Высокоэффективные методы лучевой диагностики, такие как мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), играют ключевую роль в предоперационной оценке ЗНО полости рта. Они позволяют определить размер и объем опухоли, распространенность процесса, структурные изменения, глубину инвазии, а также вовлечение соседних анатомических структур (верхней и нижней челюсти, дна полости рта), регионарных лимфатических узлов и наличие отдаленных метастазов. Несмотря на широкое распространение и применение методов лучевой диагностики, остаются нерешенными вопросы выбора оптимальных методов диагностики для оценки глубины инвазии на предоперационном этапе, что обуславливает необходимость создания стандартизированного протокола обследования [7, 8].

Очевидно, что предоперационная визуализация имеет важное значение для определения поражения мягких тканей, в том числе языка. Международных практические рекомендации, такие как National Comprehensive Cancer Network (NCCN, 2017 г.), TNM/AJCC (8-й пересмотр, 2017 г.), European Society for Medical Oncology (ESMO, 2020 г.), в качестве стандартных методов диагностики для первичной оценки распространенных опухолей полости рта рекомендуют проведение МСКТ или МРТ с внутривенным контрастированием. Однако А. Baba и соавт. (2019) считают, что МСКТ с контрастированием является более предпочтительным методом ввиду лучшей корреляции с патоморфологическим исследованием [9]. Тем не менее остается нерешенным вопрос оценки глубины инвазии с помощью МСКТ и МРТ в рамках одной выборки пациентов, поскольку такие исследования ранее не проводились [10–13].

Цель исследования: оценка эффективности МРТ и МСКТ в измерении глубины инвазии плоскоклеточной карциномы языка.

Материал и методы

Проанализированы данные медицинской документации 53 (100%) пациентов с ПКР языка за период с 2020 по 2024 г. Работа выполнялась на ка-

федре лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского Первого МГМУ имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), материал набирался на базе Института кластерной онкологии им. Л.Л. Левшина Сеченовского Университета, где была проведена глоссэктомия в качестве основного хирургического лечения, и отделения лучевой диагностики № 2 УКБ №1 Первого МГМУ имени И.М. Сеченова.

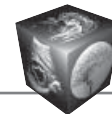
Была проведена предоперационная визуализация с использованием МСКТ и МРТ всем 53 пациентам.

Пациентам проводилась верификация глубины инвазии посредством комплексного диагностического обследования, включавшего: МСКТ орофарингеальной области с контрастированием с использованием 640-спирального компьютерного томографа Canon Aquilion ONE 640. Толщина среза 0,5 мм. Режим томографирования: с внутривенным контрастированием Омнипак 350 (90 мл), исследование проводилось от теменных костей черепа до вырезки грудины. МРТ выполнялась на аппарате Siemens Magnetom Aera 1,5 Тл с использованием жесткой катушки для головы и шеи предоперационно для пациентов этой группы. Протокол, используемый для каждого пациента, был следующим: T2 STIR-ВИ в корональной реконструкции (кратковременное восстановление с инверсией), T1ВИ и T2-ВИ – в аксиальной, сагитальной и корональной реконструкциях, T1 VIBE-ВИ (после парамагнитного контрастирования). В качестве контрастного вещества использовался Магневист (0,2 мл/кг массы тела) внутривенно. Толщина среза варьировала от 1,1 до 4 мм.

Хирургическое лечение выполнялось в объеме глоссэктомии с последующим гистологическим исследованием.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel и MedCalc версии 19.5.3 (MedCalc Software Ltd, Бельгия). Определялись такие показатели, как чувствительность, специфичность, точность и коэффициент корреляции. Описательная статистика включала расчет минимальных и максимальных значений, медианы (Me), межквартильного интервала (Q1, Q3), а также коэффициента корреляции (r).

Исследование гистологических образцов осуществлялось с использованием многофункционального микроскопа Olympus BX 51. Для микрофотографии образцов применялась указанная камера в сочетании с программным обеспечением Launch Cam View.



Результаты исследования

Всего в данное исследование было включено 53 пациента, среди них 32 (60,4%) мужчины и 21 (39,6%) женщина. Средний возраст пациентов составил 52 ± 6 лет. При анализе случаев учитывались следующие критерии: пол, расположение ЗНО в ротовой полости, тип оперативного вмешательства и методы предоперационной диагностики. Стадирование опухолей проводилось в соответствии с классификацией TNM (8-й пересмотр, 2017 г.) на основании глубины опухолевой инвазии. По стадиям заболевания распределение выглядело следующим образом: I стадия была выявлена у 8 (15,2%) пациентов, II стадия – у 11 (20,7%), III стадия – у 19 (35,8%), а IV стадия – у 15 (28,3%). Таким образом, большинство ЗНО полости рта были диагностированы преимущественно на поздних стадиях T_{3-4} ($n = 34$; 64,1%).

Степень дифференцирования опухоли определялась по классификации А. Broders (Grade) (1951) [10]. В нашем исследовании приняли участие 3 (5,7%) пациента с высокодифференцированными опухолями (G1), 22 (41,5%) пациента с умеренно дифференцированными опухолями (G2) и 28 (52,8%) пациентов с низкодифференцированными опухолями (G3). Всем пациентам ($n = 53$) проведено хирургическое вмешательство в объеме глоссэктомии с реконструктивно-пластическим компонентом.

Оценка глубины инвазии проводилась с использованием МРТ и МСКТ посредством измерения расстояния от условной линии, проведенной перпендикулярно между точками перехода опухолевой и здоровой ткани, до наиболее глубокой точки опухолевого процесса. Все измерения выполнялись с помощью МСКТ и МРТ с контрастированием в аксиальных и корональных проекциях.

Микроскопическое исследование гистологических образцов, выполненное с помощью микроскопа Olympus BX51, выявило инвазивное поражение мышечной ткани языка во всех верифицированных случаях.

Основные диагностические критерии включали патологическое увеличение тканей, инфильтративные изменения мышечных структур, неоднородность опухолевой массы вследствие некротических изменений, а также оценку глубины инвазии.

На рис. 1 и 2 иллюстрируется инвазия плоскоклеточной карциномы в скелетные и собственные мышцы языка при МРТ и МСКТ с контрастированием пациентки А., 57 лет, и пациента Х., 61 лет, в двух ортогональных плоскостях: аксиальной и корональной.

По результатам проведенного исследования корректное определение распространенности рака языка с помощью МСКТ и МРТ, включая оценку глубины инвазии и вовлечение мышц языка (собственных и скелетных), было классифицировано как истинно положительные результаты, которые составили 36 (67,9%) случаев по данным МСКТ-исследования и 41 (77,4%) случай по данным МРТ-исследования. Истинно отрицательными (ИО) считались результаты, при которых были даны заключения об отсутствии инвазивного роста ПКР, подтвержденные патоморфологическим исследованием. ИО-результаты по данным МСКТ- и МРТ-исследований были выявлены в 10 (18,9%) и 8 (15,1%) случаях соответственно.

Ложноотрицательные результаты по данным МСКТ наблюдались в 6 (11,3%) случаях. При МРТ-исследовании глубина инвазии была недооценена в 3 (5,6%) случаях, что заключалось в отсутствии опухолевой инвазии в язык или недооценки глубины инвазии по данным МРТ. Ложноположительные результаты (ЛП) регистрировались, когда глубина инвазии по результатам МСКТ и МРТ превышала показатели, установленные по данным послеоперационного гистологического исследования. Количество ЛП-результатов составило 1 (1,9%) случай по данным МСКТ и 1 (1,9%) случай по данным МРТ.

При проведении анализа диагностических данных МСКТ- и МРТ-исследований и результатов послеоперационного гистологического исследования, связанных с глубиной инвазии опухоли языка, были получены следующие результаты: при МСКТ-исследовании с контрастированием чувствительность составила 85,7% (95% ДИ 71,4–94,5), специфичность – 90,9% (95% ДИ 58,7–99,7), точность – 88,3% (95% ДИ 74,6–94,5), прогностическая ценность положительного результата (ПЦПР) – 97,3%, прогностическая ценность отрицательного результата (ПЦОР) – 62,5%. МРТ-исследование продемонстрировало следующие результаты: чувствительность – 93,3% (95% ДИ 81,8–98,5), специфичность – 88,9% (95% ДИ 61,7–99,7), точность – 91,6% (95% ДИ 81,7–97,9), ПЦПР – 97,6%, ПЦОР – 72,7% (см. таблицу).

В ходе исследования выполнен корреляционный анализ глубины инвазии ПКР языка при сопоставлении данных МСКТ и МРТ с результатами гистологического исследования.

При анализе результатов нашего исследования было установлено, что при сравнении методов визуализации глубины инвазии МСКТ демонстрирует достоверно более низкие значения по сравнению с результатами патоморфологического исследования (Me 9,7 и 10,5 мм соответственно);

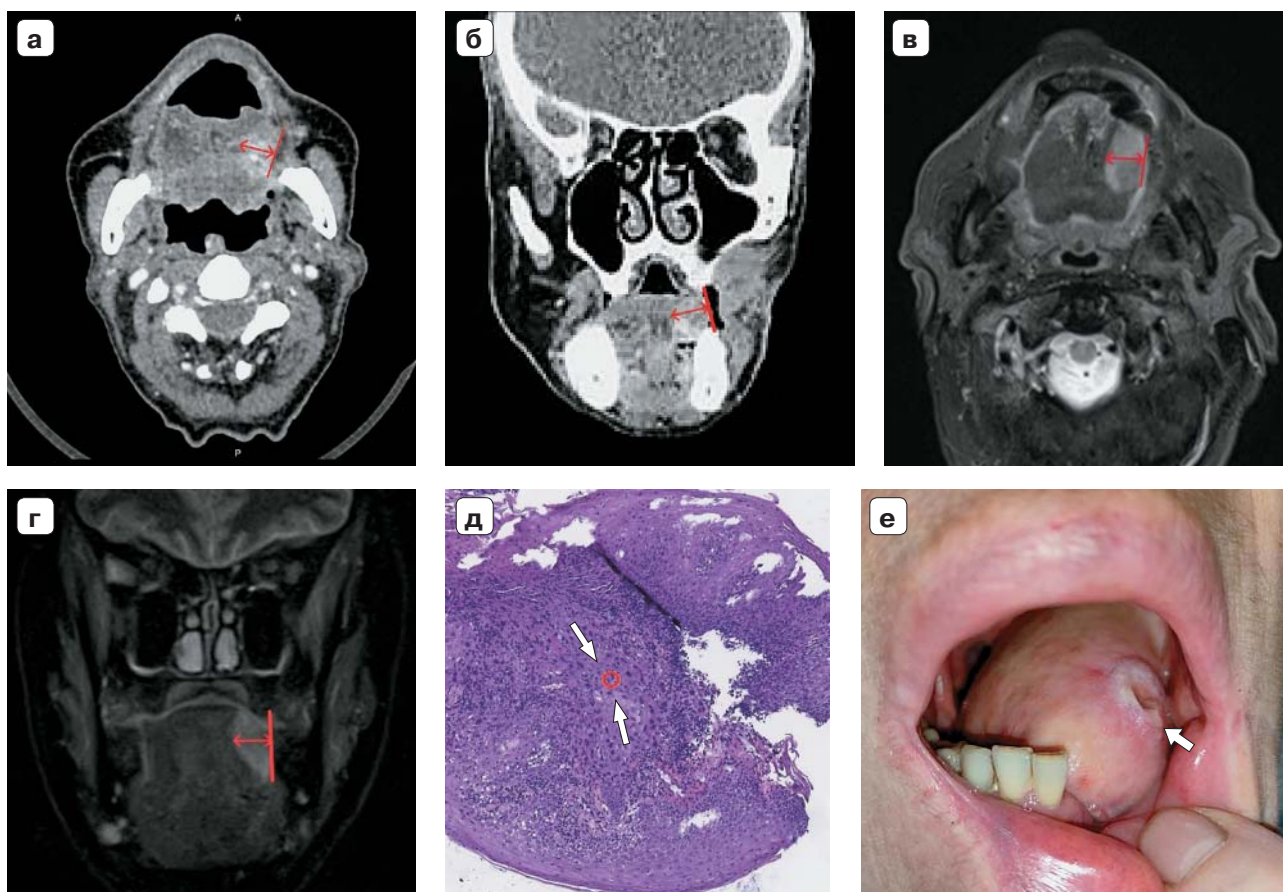


Рис. 1. МСКТ челюстно-лицевой области с контрастированием, аксиальный срез (а) и корональная реконструкция (б), МРТ челюстно-лицевой области с контрастированием, аксиальная (в) и корональная (г) реконструкции, гистологический микропрепарат, окрашивание гематоксилин-эозином, увеличение $\times 400$ (д), визуальный осмотр языка (е). а, б – в левой половине тела языка определяется гиперденсное новообразование максимальными размерами 21 мм, глубина инвазии 10 мм (красные стрелки); в, г – в левой половине тела языка определяется объемное образование, имеющее неоднородный гиперинтенсивный сигнал на T2-ВИ, неправильной формы, с нечеткими и ровными контурами, максимальными размерами 24 мм, глубина инвазии 15 мм (красные стрелки); д – фрагмент ткани с инвазией плоскоклеточного рака языка размерами 13 мм; е – опухоль тела языка слева (белая стрелка, красный круг).

Fig. 1. MSCT of the maxillofacial region with contrast, axial section (a) and coronal reconstruction (б), MRI of the maxillofacial region with contrast, axial (в) and coronal (г) reconstruction, histological micro-preparation, hematoxylin-eosin staining, $\times 400$ magnification (д), visual inspection of the tongue (е).

а, б – a hyperdense neoplasm with a maximum size of 21 mm and an invasion depth of 10 mm is detected in the left half of the tongue body (red arrows);

в, г – in the left half of the body of the tongue, a volumetric formation is detected, which has an inhomogeneous hyperintensive signal on T2-weighted images, irregular shape, with fuzzy and even contours, maximum dimensions of 24 mm, depth of invasion of 15 mm (red arrows);

д – is a 13 mm squamous cell carcinoma tissue fragment;

е – swelling of the tongue body on the left (white arrow, red circle).

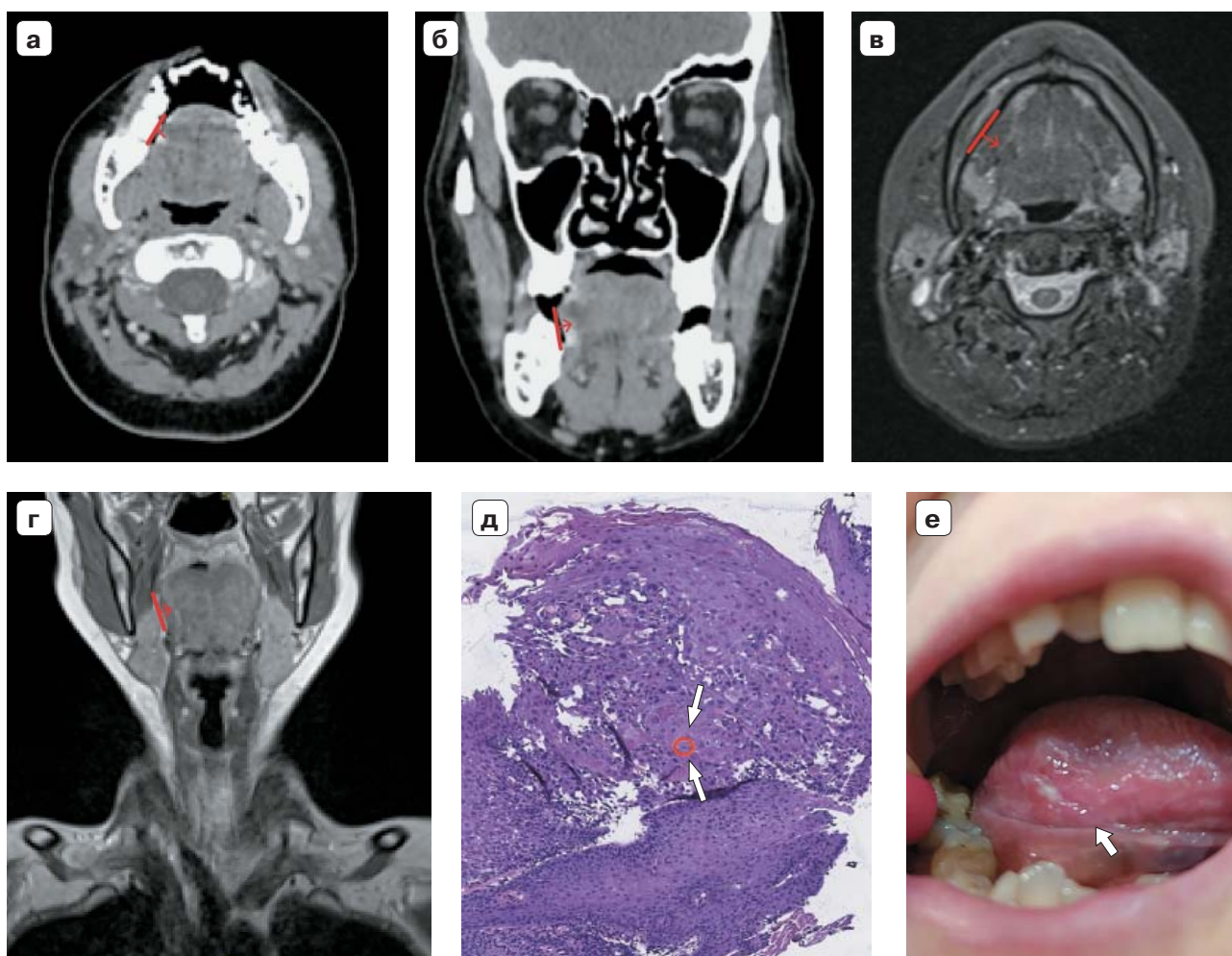
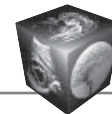


Рис. 2. МСКТ челюстно-лицевой области с контрастированием, аксиальный срез (**а**) и корональная реконструкция (**б**), МРТ челюстно-лицевой области с контрастированием, аксиальная (**в**) и корональная реконструкции (**г**), гистологический микропрепарат, окрашивание гематоксилин-эозином, увеличение $\times 400$ (**д**), визуальный осмотр языка (**е**). **а, б** – по краю тела языка справа определяется гиперденсное новообразование размерами 10 мм и глубиной инвазии до 3 мм (красные стрелки); **в, г** – по краю тела языка справа определяется объемное образование, имеющее неоднородный изо-гипоинтенсивный сигнал на T1-ВИ (**г**) и гиперинтенсивный сигнал на T2 STIR-ВИ (**в**), неправильной формы, с нечеткими и неровными контурами, максимальными размерами 12 мм, глубина инвазии 7 мм (красные стрелки), минимально деформирующий наружный контур языка; **д** – фрагмент ткани с инвазией плоскоклеточного рака языка 6 мм; **е** – опухоль тела языка справа (белая стрелка, красный круг).

Fig. 2. MSCT of the maxillofacial region with contrast, axial section (**a**) and coronal reconstruction (**b**), MRI of the maxillofacial region with contrast, axial (**v**) and coronal reconstruction (**г**), histological micro-preparation, hematoxylin-eosin staining, $\times 400$ magnification (**д**), visual examination of the tongue (**е**).

а, б – a hyperdense neoplasm measuring 10 mm and an invasion depth of up to 3 mm is determined along the edge of the tongue body on the right (red arrows).

в, г – a volumetric formation is defined along the edge of the tongue body on the right, having an inhomogeneous isohypointensive signal on T1-weighted images (**г**) and a hyperintensive signal on T2-weighted images (**в**), irregular in shape, with fuzzy and uneven contours, maximum dimensions of 12 mm, invasion depth of 7 mm (red arrows), minimally deforming the outer contour of the tongue;

д – is a fragment of tissue with invasion of squamous cell carcinoma of the tongue of 6 mm;

е – swelling of the tongue body on the right (white arrow, red circle).

**Таблица.** Диагностическая эффективность МСКТ и МРТ при оценке глубины инвазии рака языка**Table.** Diagnostic efficacy of MSCT and MRI in assessing the depth of invasion of tongue cancer

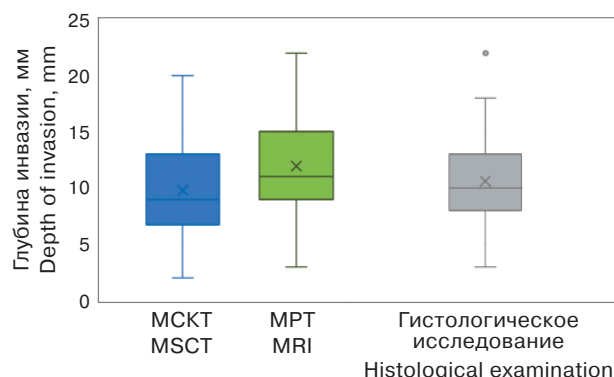
Методы диагностики Diagnostic methods	Показатель				
	чувствительность sensitivity %	специфичность specificity %	точность accuracy %	ПЦПР positive predictive value %	ПЦОР negative predictive value %
МСКТ / MSCT (n = 53)	85.7	90.9	88.3	97.3	62.5
МРТ / MRI (n = 53)	93.3	88.9	91.6	97.6	72.7

межквартильный интервал (Q1–Q3) составил 6,75–13 и 8,2–13,1 соответственно ($p < 0,001$). Напротив, средняя глубина инвазии, измеренная при помощи МРТ, значительно превышала среднюю патологическую глубину инвазии (Me 11,9 и 10,5 мм соответственно); межквартильный интервал (Q1–Q3) составил 9,3–15,1 и 8,2–13,1 соответственно ($p < 0,001$) (рис. 3).

В результате размеры опухоли, определяемые посредством МРТ, в среднем превышали разме-

ры, установленные гистологическим исследованием, что, вероятно, обусловлено переоценкой степени инвазии опухоли языка вследствие структурных изменений в прилегающих тканях, визуализируемых при МРТ, включая вторичное воспаление и фиброз, ассоциированные с опухолевым процессом ($p < 0,001$). Напротив, средние размеры опухоли, определяемые при помощи МСКТ с контрастированием, оказались меньше размеров, зафиксированных при гистологическом исследовании ($p < 0,001$). Однако коэффициент корреляции при анализе глубины инвазии опухоли по данным лучевой диагностики и патоморфологического исследования продемонстрировал более высокие значения для МРТ в сравнении с МСКТ с контрастированием ($r = 0,9749$ и $r = 0,9341$ соответственно). Эти результаты свидетельствуют о превосходстве МРТ как диагностического метода при определении глубины инвазии плоскоклеточного рака в ткани языка при клиническом подозрении на вовлечение собственных и скелетных мышц языка у пациентов с раком полости рта.

Таким образом, МРТ с контрастированием характеризуется более высокой чувствительностью, превосходя показатели МСКТ-исследования челюстно-лицевой области с контрастированием. МРТ имеет более высокую корреляцию с данными, полученными при проведении патологического исследования, в сравнении с данными, полученными при помощи МСКТ. Однако стоит отметить, что МСКТ обладает большей специфичностью, по сравнению с МРТ-исследованием. По результатам исследования МРТ также продемонстрировала высокую точность в определении максимального размера глубины инвазии по сравнению с данными, полученными с помощью МСКТ-исследования oroфарингеальной области. Применение МРТ способствует повышению диагностической эффективности, что обеспечивает более точное определение тактики лечения пациентов с плоскоклеточным раком полости рта.

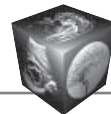
**Рис. 3.** Диаграмма размаха. Распределение значений глубины инвазии, полученных при помощи МСКТ, МРТ и патоморфологического исследования.

При МСКТ-исследовании наблюдается высокая корреляция между патологической глубиной опухоли и глубиной инвазии опухоли при МСКТ ($r = 0,9341$, $p < 0,001$). При МРТ-исследовании наблюдается высокая корреляция между патологической глубиной опухоли и глубиной инвазии опухоли при МРТ ($r = 0,9749$, $p < 0,001$).

Fig. 3. Is a box plot. Distribution of invasion depth values obtained by MSCT, MRI, and pathomorphological examination.

In the MSCT study, there is a high correlation between the pathological depth of the tumor and the depth of tumor invasion on the MSCT ($r = 0.9341$, $p < 0.001$).

During MRI examination, there is a high correlation between the pathological depth of the tumor and the depth of tumor invasion on MRI ($r = 0.9749$, $p < 0.001$).



Обсуждение

Классификация TNM (8-й пересмотр, 2017 г.) включает глубину инвазии как критерий в определении стадии рака полости рта (≤ 5 мм; > 5 мм, но ≤ 10 мм; > 10 мм), поскольку этот параметр тесно связан с метастазированием в шейные лимфатические узлы. Данный показатель является наиболее важным прогностическим фактором при раке языка в полости рта и снижает 5-летнюю выживаемость до 50%. Предыдущие исследования продемонстрировали корреляцию между толщиной опухоли и безрецидивной выживаемостью, общей выживаемостью и метастазированием в шейные лимфатические узлы [14, 15]. W.J. Tan и соавт. (2012) также отметили, что пациенты с глубиной инвазии более 5 мм имели более высокую частоту местных рецидивов и худшие показатели 5-летней общей выживаемости и выживаемости без местных рецидивов. На основании этих данных международное сообщество онкологов (UICC) рекомендует проводить лимфодиссекцию при глубине инвазии свыше 5 мм [16].

Несмотря на установленный пороговый уровень, согласно классификации TNM (8-й пересмотр, 2017 г.), в лучевой диагностике отсутствует унифицированный метод для оценки глубины инвазии. В настоящее время, по данным отечественной литературы, сравнительные исследования, сопоставляющие результаты измерений глубины инвазии опухоли языка посредством МСКТ и МРТ с данными патоморфологических исследований в рамках одной серии клинических случаев у пациентов с раком полости рта, не представлены [18–21].

В ранее проведенных исследованиях была установлена взаимосвязь между глубиной инвазии, определенной посредством контрастной МСКТ, и фактической патологической глубиной инвазии. E. Weimar и соавт. (2018) после изучения отдельных метаанализов в период с 2010 по 2014 г. пришли к выводу, что определение толщины опухоли по данным лучевой диагностики имело прогностическую ценность и коррелировало с выживаемостью [17].

В исследовании, проведенном J. Madana и соавт. (2015), было выявлено, что чувствительность МРТ оказалась ниже по сравнению с МСКТ [15]. Высокая корреляция была обнаружена между размером опухоли, измеренным с помощью МСКТ, и глубиной инвазии, установленной послеоперационным гистологическим исследованием ($r = 0,755$, $p < 0,001$). Несмотря на то что по данным нашего исследования коэффициент корреляции для МСКТ также являлся высоким ($r = 0,9341$, $p < 0,001$), тем не менее МРТ продемонстрировала более

высокую диагностическую ценность в определении степени распространения опухоли ($r = 0,9749$, $p < 0,001$) по сравнению с контрастной МСКТ.

Заключение

Таким образом, МРТ демонстрирует высокую точность в определении глубины инвазии опухоли при раке полости рта, обладая чувствительностью 93,3% и специфичностью 88,9%. В случае подозрения на поражение скелетных и собственных мышц языка при плоскоклеточном раке полости рта рекомендуется проведение МРТ-исследования. Некоторое снижение специфичности по сравнению с МСКТ с контрастированием может не иметь клинического значения, поскольку, если имеется клиническое подозрение на метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов, или если во время операции предполагается, что патологическая глубина инвазии опухоли языка превышает 5 мм, во всех этих случаях будет показана и проведена глоссэктомия с реконструктивно-пластическим компонентом и шейная лимфодиссекция. Тем не менее более консервативный подход может быть целесообразным во время операции в случаях, когда лучевой метод исследования не позволяет точно определить глубину инвазии опухоли. Необходимы дальнейшие исследования, в том числе исследования методов визуализации, таких как двухэнергетическая КТ, которая является перспективным методом диагностики, способная расширить возможности оценки опухолей полости рта и потенциально снизить потребность в дополнительных исследованиях.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Участие авторов

Володина В.Д., Решетов И.В., Серова Н.С. – концепция и дизайн исследования.

Володина В.Д., Какорина О.А. – сбор и обработка материала.

Володина В.Д. – написание текста.

Решетов И.В., Серова Н.С. – редактирование.

Authors' participation

Volodina V.D., Reshetov I.V., Serova N.S. – concept and design of the study.

Volodina V.D., Kakorina O.A. – collection and analysis of data.

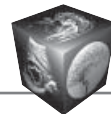
Volodina V.D. – writing text.

Reshetov I.V., Serova N.S. – editing.



Список литературы [References]

1. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J. Clin.* 2021; 71 (3): 209–249. <http://doi.org/10.3322/caac.21660>
2. Høxbroe M.S., Grønhoj C., Friborg J., von Buchwald C. Quality of life in survivors of oropharyngeal cancer: A systematic review and meta-analysis of 1366 patients. *Eur. J. Cancer.* 2017; 78: 91–102. <http://doi.org/10.1016/j.ejca.2017.03.006>
3. Щетинин Р.А., Юдин А.Л., Юматова Е.А., Афанасьева Н.И. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике рака ротовой полости и языка. *Медицинская визуализация.* 2016; 6: 33–40. Shchetinin R.A., Yudin A.L., Yumatova E.A., Afanasieva N.I. Multislice Computed Tomography in the Diagnosis of the Oral Cavity and Tongue Cancer. *Medical Visualization.* 2016; 6: 33–40. (In Russian)
4. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность) / Под ред. А.Д. Каприна и др. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. 276 с. ISBN 978-5-85502-298-8
Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality) / ed. by A.D. Kaprin et al. Moscow: P.A. Herzen Moscow Medical Research Institute –branch of the Federal State Budgetary Institution “NMITS of Radiology” of the Ministry of Health of Russia, 2024. 276 p. ISBN 978-5-85502-298-8 (In Russian)
5. Головяхина А.В., Нуднов Н.В., Нечаев В.А., Куликова Е.А. Возможности КТ-перфузии в оценке плоскоклеточного рака в области головы и шеи. *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии.* 2024; 2024 (2): 26–35. Golovyakhina A.V., Nudnov N.V., Nechaev V.A., Kulikova E.A. Possibilities CT perfusion in the assessment of squamous cell carcinoma in the head and neck. *Bulletin of the Russian Scientific Center of X-ray Radiology.* 2024; 2024 (2): 26–35. (In Russian)
6. Huang S., Hwang D., Lockwood G. et al. Predictive value of tumor thickness for cervical lymph-node involvement in squamous cell carcinoma of the oral cavity: a meta-analysis of reported studies. *Cancer.* 2009; 115 (7): 1489–1497. <http://doi.org/10.1002/cncr.24161>
7. Володина В.Д., Серова Н.С., Решетов И.В. Возможности диффузионно-взвешенной МРТ в определении степени злокачественности рака орфарингеальной области. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2024. 14 (3): 103–110. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-3-103-110>
Volodina V.D., Serova N.S., Reshetov I.V. Possibilities of diffusion-weighted MRI in determining the degree of malignancy of the oropharyngeal cancer. *Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics.* 2024. 14 (3): 103–110. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-3-103-110> (In Russian)
8. Mao M., Wang S., Feng Z. et al. Accuracy of magnetic resonance imaging in evaluating the depth of invasion of tongue cancer. A prospective cohort study. *Oral Oncol.* 2019; 91: 79–84. <http://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2019.01.021>
9. Baba A., Okuyama Y., Ikeda K. et al. Undetectability of oral tongue cancer on magnetic resonance imaging; clinical significance as a predictor to avoid unnecessary elective neck dissection in node negative patients. *Dentomaxillofac Radiol.* 2019; 48 (3): 20180272. <http://doi.org/10.1259/dmfr.20180272>
10. Wright J.R. Jr., Albert C. Broders, tumor grading, and the origin of the long road to personalized cancer care. *Cancer Med.* 2020; 9 (13): 4490–4494. <http://doi.org/10.1002/cam4.3112>
11. Русецкий Ю.Ю., Еловиков В.А., Серова Н.С., Щеглов А.Н., Мирошниченко А.П., Хаддадин Д.Т. Ультразвуковая диагностика паратонзиллярного абсцесса. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2024; 14 (3): 111–121. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-3-111-121>
Rusetsky Yu.Y., Yelovikov V.A., Serova N.S. et al. Ultrasound diagnostics of paratonsillar abscess. *Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics.* 2024; 14 (3): 111–121. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-3-111-121> (In Russian)
12. Синицын В.Е., Петровичев В.С., Васильев П.В., Мершина Е.А. Диагностическая эффективность мультidetекторной компьютерной томографии у пациентов, страдающих раком языка. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2014; 4: 20–25. <http://doi.org/10.20862/0042-4676-2014-0-4-20-25>
Sinitsyn V.E., Petrovichev V.S., Vasil'ev P.V., Merzhina E.A. Diagnostic efficiency of multidetector computed tomography in patients with tongue cancer. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2014; 4: 20–25. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2014-0-4-20-25> (In Russian)
13. Володина В.Д., Серова Н.С., Решетов И.В., Бабкова А.А. Мультиспиральная компьютерная томография в оценке эффективности неoadьювантной химиотерапии злокачественных новообразований полости рта и ротоглотки. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2023; 13 (1): 30–37. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-1-30-37>
Volodina V.D., Serova N.S., Reshetov I.V., Babkova A.A. Multispiral computed tomography in evaluating the effectiveness of neoadjuvant chemotherapy for malignant tumors of the oral cavity and oropharynx. *Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics.* 2023; 13 (1): 30–37. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-1-30-37> (In Russian)
14. Хабадзе З.С., Куликова А.А., Бакаев Ю.А., Абдулкеримова С.М., Магомедов О.И., Мохамед Эль-Халаф Рамиз, Морданов О.С. ПЭТ-КТ как “золотой” стандарт ранней диагностики злокачественных новообразований челюстно-лицевой области. *REJR.* 2019; 9 (1): 177–185. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-1-177-185>
Khabadze Z.S., Kulikova A.A., Bakaev Yu.A. et al. PET-CT as the “golden” standard of early diagnosis of malignant neoplasms of the maxillofacial region. *REJR.* 2019; 9 (1): 177–185. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-1-177-185> (In Russian)
15. Madana J., Laliberté F., Morand G.B. et al. Computerized tomography-based tumor-thickness measurement is useful to predict postoperative pathological tumor thickness in oral tongue squamous cell carcinoma.



- J. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2015; 44: 49. <http://doi.org/10.1186/s40463-015-0089-z>
16. Tan W.J., Chia C.S., Tan H.K. et al. Prognostic significance of invasion depth in oral tongue squamous cell carcinoma. *ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 2012; 74: 264–270. <http://doi.org/10.1159/000343796>
 17. Weimar E., Huang S., Lu L. et al. Radiologic-Pathologic Correlation of Tumor Thickness and Its Prognostic Importance in Squamous Cell Carcinoma of the Oral Cavity: Implications for the Eighth Edition Tumor, Node, Metastasis Classification. *Am. J. Neuroradiol.* 2018; 39 (10): 1896–1902. <http://doi.org/10.3174/ajnr.A5782>
 18. Tshering Vogel D., Zbaeren P., Thoeny H. Cancer of the oral cavity and oropharynx. *Cancer Imaging.* 2010; 10 (1): 62–72. <http://doi.org/10.1102/1470-7330.2010.0008>
 19. Arya S., Rane P., Deshmukh A. Oral cavity squamous cell carcinoma: role of pretreatment imaging and its influence on management. *Clin. Radiol.* 2014; 69 (9): 916–930. <http://doi.org/10.1016/j.crad.2014.04.013>
 20. Аллаhverдиева Г.Ф., Синюкова Г.Т., Шолохов В.Н. Данзанова Т.Ю., Лепэдату П.И., Гудилина Е.А., Ковалева Е.В., Бердников С.Н. Современные проблемы диагностики опухолей головы и шеи. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия.* 2020; 3 (3): 13–34. <http://doi.org/10.37174/2587-7593-2020-3-3-13-34>
 21. Cohen N., Fedewa S., Chen A. Epidemiology and Demographics of the Head and Neck Cancer Population. *Oral Maxillofac. Surg. Clin. N. Am.* 2018; 30 (4): 381–395. <http://doi.org/10.1016/j.coms.2018.06.001>

Для корреспонденции*: Володина Виктория Дмитриевна – e-mail: dr.volodinavd.rg@gmail.com

Володина Виктория Дмитриевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог, ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1302-4557>. E-mail: dr.volodinavd.rg@gmail.com

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

Решетов Игорь Владимирович – академик РАН, доктор мед. наук, заведующий кафедрой онкологии, радиотерапии и пластической хирургии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, директор Института кластерной онкологии им. Л.Л. Левшина ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); заведующий кафедрой онкологии и пластической хирургии Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России; научный руководитель медицинского факультета ЧОУВО «МУ им. С. Ю. Витте», Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0909-6278>. E-mail: reshetoviv@mail.ru

Какорина Ольга Андреевна – студентка V курса Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0009-0000-9267-5248>. E-mail: 20.olgak.02@mail.ru

Contact*: Viktoriia D. Volodina – e-mail: dr.volodinavd.rg@gmail.com

Viktoriia D. Volodina – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, Assistant Professor, 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/0000-0003-1302-4557>. E-mail: dr.volodinavd.rg@gmail.com

Natalia S. Serova – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the 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>. E-mail: serova_n_s@staff.sechenov.ru

Igor V. Reshetov – MD, Grand Ph.D. in Medicine, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Oncology, Radiotherapy and Plastic Surgery, Director of L.L. Levshin Institute of Cluster Oncology, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); Head of the Department of Oncology and Plastic Surgery, Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0909-6278>. E-mail: reshetoviv@mail.ru

Olga A. Kakorina – 5nd year student, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-9267-5248>. E-mail: 20.olgak.02@mail.ru



Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами

© Палеева И.С.^{1*}, Лукин М.В.¹, Гладышев Н.С.²,
Выshedкевич Е.Д.¹, Ефимцев А.Ю.¹, Труфанов Г.Е.¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России; 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация

² ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского»; 119991 Москва, ГСП-1, Абрикосовский пер., д. 2, Российская Федерация

Цель исследования: сравнить степень деформации костей черепа и перфузионные показатели головного мозга с помощью компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) у детей с краниосиностозами (КС) на дооперационном этапе и оценка взаимосвязи между ними.

Материал и методы. В период 2018–2024 гг. в ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России был обследован 51 ребенок с различными видами КС. Для оценки черепных швов и степени деформации черепа посредством морфометрических измерений была проведена КТ. Для оценки структурных и перфузионных показателей головного мозга была выполнена МРТ, дополненная динамической контрастной T2*-МР-перфузией.

Для статистической обработки был использован язык программирования R (версия 4.4.1).

Результаты. Исследование выявило характерные морфометрические и перфузионные нарушения при различных типах КС. Наибольшее увеличение цефалического индекса обнаружено при брахицефалии ($118,0 \pm 4,6\%$), а наименьшее – при сагиттальном синостозе ($67,4 \pm 10,4\%$). Значительная асимметрия черепа (ИАСЧ) отмечалась при задней плагиоцефалии ($12,4 \pm 1,1\%$) и коронарном синостозе ($5,8 \pm 4,8\%$). Снижение фронтального угла было характерно для тригоноцефалии ($91,6 \pm 9,9$), передней плагиоцефалии ($93,2 \pm 7,0$) и сагиттального синостоза ($87,4 \pm 9,1$). Во всех группах выявлено снижение скорости мозгового кровотока (rCBF: $66,8\text{--}82,1\%$) и объема мозгового кровотока (rCBV: $57,3\text{--}88,7\%$) с увеличением времени транзита (rMTT: $108,0\text{--}120,5\%$) и времени до пика (rTTP: $103,7\text{--}121,1\%$). Наиболее выраженные нарушения перфузии зафиксированы при брахицефалии и тригоноцефалии.

Заключение. Динамическая контрастная МР-перфузия является перспективной методикой для оценки мозгового кровообращения у детей с краниосиностозами. Применение данной методики позволяет оценить основные параметры перфузии в наиболее компримированных участках головного мозга. Полученные данные демонстрируют системное влияние краниосиностоза на церебральную гемодинамику при отсутствии прямой корреляции между степенью морфометрических и перфузионных изменений, что подчеркивает роль индивидуальных компенсаторных механизмов. Дальнейшие перспективы связаны с увеличением когорты пациентов и проведением сопоставлений с данными морфометрических измерений по результатам КТ, которые могут расширить спектр диагностических критериев для принятия решения об оперативном лечении. Динамическая контрастная МР-перфузия может стать инструментом оценки эффективности выполненного оперативного вмешательства на ранних и поздних послеоперационных этапах.

Ключевые слова: краниосиностоз; краниоцеребральная диспропорция; динамическая контрастная МР-перфузия; компьютерная томография; морфометрия

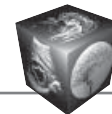
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Палеева И.С., Лукин М.В., Гладышев Н.С., Выshedкевич Е.Д., Ефимцев А.Ю., Труфанов Г.Е. Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 20–32.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1577>

Поступила в редакцию: 17.06.2025.

Принята к печати: 03.12.2025.

Опубликована online: 16.02.2026.



Computed and magnetic resonance imaging to identify structural and perfusion changes in the brain in children with craniosynostosis

© Irina S. Paleeva^{1*}, Maxim V. Lukin¹, Nikita S. Gladyshev²,
Elena D. Vyshedkevich¹, Alexander Yu. Efimtsev¹, Gennady E. Trufanov¹

¹ Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2, Akkuratova str., Saint-Petersburg 197341, Russian Federation

² Petrovsky Russian Research Center of Surgery; 2, Abrikosovsky lane, Moscow 119991, Russian Federation

Purpose. To compare the degree of skull bone deformation and brain perfusion parameters using computerized tomography and magnetic resonance imaging (MRI) in children with craniosynostosis before surgery.

Materials and methods. In the period from 2018 to 2024, we examined 51 children at the Almazov National Research Medical Center with various types of craniosynostosis. We used CT scans to assess the cranial sutures and degree of skull deformation by morphometric measurements, and MRI to evaluate the structural and perfusion parameters of the brain, supplemented by dynamic contrast-enhanced T2* MR perfusion. Statistical analysis was performed using the R programming language version 4.4.1.

Results. The study revealed characteristic morphometric and perfusion disorders in various types of craniosynostosis. The largest increase in the cephalic index was found in brachycephaly ($118.0 \pm 4.6\%$), and the smallest in sagittal synostosis ($67.4 \pm 10.4\%$). Significant cranial asymmetry was observed in patients with posterior plagiocephaly ($12.4 \pm 1.1\%$) and coronal synostosis ($5.8 \pm 4.8\%$). A decrease in the frontal angle was characteristic of trigonocphaly (91.6 ± 9.9), anterior plagiocephaly (93.2 ± 7.0) and sagittal synchosis (87.4 ± 9.1). In all groups, there was a decrease in cerebral blood flow velocity (rCBF: $66.8\text{--}82.1\%$), cerebral blood volume (rCBV: $57.3\text{--}88.7$), an increase in mean transit time (MTT: $108\text{--}120.5$) and time to peak (TTP: $103.7\text{--}121.1$). The most pronounced perfusion abnormalities were recorded in brachiocephalic and triangulocephalic.

Conclusion. Dynamic contrast MR perfusion can be a promising technique for assessing cerebral circulation in children with craniosynostosis. The use of this technique allows evaluating the main parameters of perfusion in the most compressed areas of the brain. The data obtained demonstrate the systemic effect of craniostenosis on cerebral hemodynamics, in the absence of a direct correlation between the degree of morphological and perfusion changes, this emphasizes the role of individual compensatory mechanisms. Further research on this technique could expand the diagnostic criteria for surgical treatment and serve as a tool for evaluating its effectiveness in postoperative stages. Dynamic contrast MR perfusion can become a tool for evaluating the effectiveness of surgical interventions performed in the early and late postoperative stages.

Keywords: craniosynostosis; craniocerebral disproportion; dynamic contrast MR perfusion; computed tomography; morphometry

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

For citation: Paleeva I.S., Lukin M.V., Gladyshev N.S., Vyshedkevich E.D., Efimtsev A.Yu., Trufanov G.E. Computed and magnetic resonance imaging to identify structural and perfusion changes in the brain in children with craniosynostosis. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 20–32. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1577>

Received: 17.06.2025.

Accepted for publication: 03.12.2025.

Published online: 16.02.2026.

Введение

Краниосиностоз (КС) – это черепно-лицевая аномалия развития, приводящая к нарушению развития головного мозга и аномальной форме черепа [1]. Основной причиной КС является преждевременное закрытие одного или нескольких черепных швов. Обычно он встречается изолированно, но может быть связан и с другими пороками развития, являясь частью сложных синдромов [2, 3]. Несвоевременное лечение может вызвать серьезные осложнения, такие как задержка развития, аномалии лица, неврологические нарушения и психологические расстройства [4].

Первичный КС встречается примерно у одного из 2500 новорожденных [5]. К вторичным причинам КС относятся заболевания, приводящие к нарушению развития головного мозга, и состояния, влияющие на костный метаболизм [5, 6]. В большинстве случаев (85%) КС проявляется как спорадическая аномалия (несиндромальный КС), в других случаях (15%) – как часть синдромов (синдромальный КС). У пациентов с синдромальными КС неврологические нарушения проявляются более выражено и часто могут быть диагностированы клинически по нейрокраниальному фенотипу, а также по другим аномалиям скелета [7]. Запе-

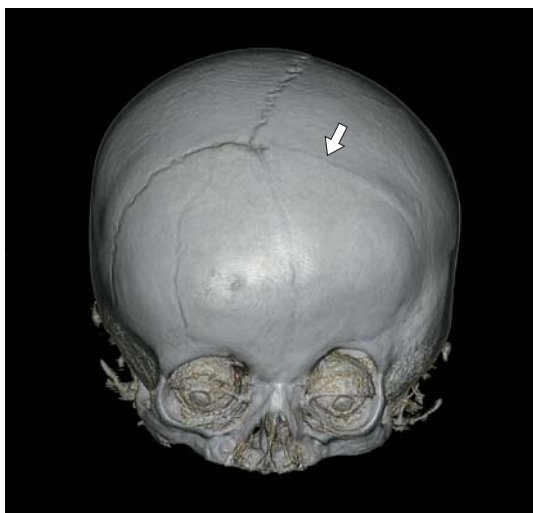


Рис. 1. 3D-реконструкция черепа КТ у пациента с левосторонним коронарным синостозом (пораженный шов указан стрелкой) (из архива ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России).

Fig. 1. 3D CT reconstruction of the skull in a patient with left-sided coronal craniosynostosis (the affected suture is indicated by an arrow) (from the archive of the Almazov National Research Medical Center).

гистрировано более 200 синдромов, связанных с КС [8, 9]. Наиболее распространенными из них являются синдромы Мюнке, Крузона, Пфайффера [3, 10].

В настоящее время отсутствует официальная классификация КС. Однако по видам поражения шва среди несиндромальных КС различают следующие формы: метопический, сагиттальный, коронарный (одно- и двусторонний), лямбдовидный (одно- и двусторонний) [11].

Также существует классификация КС, основанная на виде деформации черепа: скафоцефалия (заккрытие сагиттального шва), тригоцефалия (заккрытие метопического шва), передняя плагиоцефалия (заккрытие коронарного шва с одной стороны), брахицефалия (заккрытие коронарных швов с обеих сторон), задняя плагиоцефалия (заккрытие лямбдовидного шва с одной стороны), туррицефалия (заккрытие лямбдовидных швов с обеих сторон), оксикефалия (заккрытие сагиттального и коронарных швов), деформация по типу “листа клевера” (заккрытие сагиттального, коронарных и лямбдовидных швов) [12, 13].

Диагноз КС выставляется по результатам физического осмотра, измерения краниометрии и наблюдения за деформацией черепа. Лучевые методы играют важную роль в подтверждении диагноза и планировании хирургического вмешательства [14]. Согласно рекомендациям, представленным в 2015 г. рабочей группой по КС, при

подозрении на КС можно использовать рентгенографию черепа или ультразвукографию [15]. Несмотря на лучевую нагрузку, выполнение компьютерной томографии (КТ) рекомендовано при явном подозрении на КС, в том числе для планирования оперативного лечения [15]. В диагностике состояния костей черепа у пациентов с КС рекомендована КТ высокого разрешения, применение которой позволяет выполнять трехмерные реконструкции (реконструкция поверхностно-оттененных изображений (Surface Shaded Display, SSD)) и которая признана эталонным методом [16] (рис. 1).

В литературе существует ряд исследований, в которых использовались протоколы низкодозной и ультранизкодозной КТ с сохранением диагностического качества изображений при снижении лучевой нагрузки на 75–92% (от стандартного исследования головы) и доказанным преимуществом перед классической рентгенографией [17–19].

Помимо точного определения пораженных швов, КТ используется в оценке степени деформации черепа и краниocereбральной диспропорции путем проведения морфометрических измерений [20, 21]. Также есть ряд работ, посвященных измерению внутричерепного объема при КС [22, 23]. Следует отметить, что существует множество морфометрических параметров, которые измеряются для каждого конкретного КС, однако есть и универсальные показатели для оценки вида и степени деформации [24, 25]:

1. Цефалический индекс (ЦИ) рассчитывается как отношение поперечного размера черепа (бипариетального размера) к продольному (лобнозатылочному), выраженное в процентах (рис. 2а);

2. Индекс асимметрии свода черепа (ИАЧЧ) рассчитывается путем деления разницы длин двух отрезков, проведенных под углом 30° относительно средней линии, на длину более протяженного из этих отрезков, выраженный в процентах (рис. 2б).

3. Фронтальный угол (ФУ) строится между точками pterion, nasion (рис. 2в).

4. Фронтальный стеноз (ФС) рассчитывается как отношение межпариетального расстояния к межкоронарному (рис. 2г).

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является “золотым стандартом” для оценки структуры вещества, оболочек и ликворных пространств головного мозга. Существуют МРТ-методики, позволяющие качественно и количественно оценить относительные показатели мозгового кровотока: бесконтрастная МР-перфузия “меченых спинов артериальной крови” (Arterial spin labeling – ASL; ASL-перфузия) и динамическая контрастная T2*-МР-перфузия (DSC-перфузия) [26].

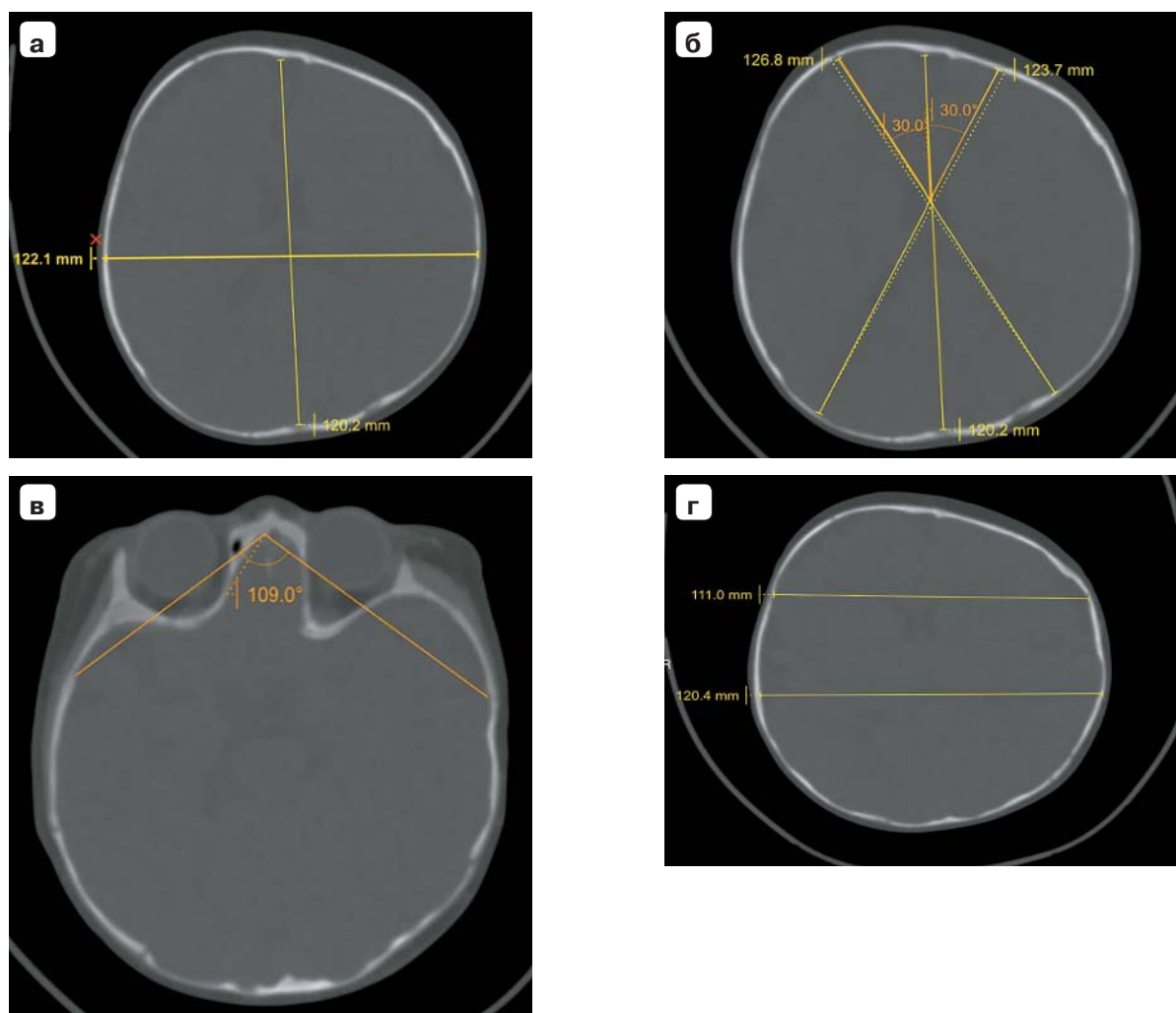
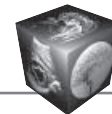


Рис. 2. КТ головного мозга, проведение измерений для оценки морфометрических параметров (из архива ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России). **а** – цефалический индекс; **б** – индекс асимметрии свода черепа; **в** – фронтальный угол; **г** – фронтальный стеноз.

Fig. 2. CT scan of the brain, taking measurements to assess morphometric parameters. **a** – the cephalic index; **б** – the index of asymmetry of the cranial vault (CVAI); **в** – the frontal angle; **г** – the frontal stenosis.

ALS-перфузия – это неинвазивная методика, позволяющая количественно и визуально определять показатель скорости мозгового кровотока (Cerebral Blood Flow – CBF) *in vivo*, без использования парамагнитного контрастного препарата [27].

DSC-перфузия является одной из наиболее часто используемых методик MPT-перфузии, основанной на вызванной восприимчивостью потере сигнала на T2*-ВИ, которая возникает в результате прохождения болюса гадолиний-содержащего контрастного препарата через капиллярное русло, позволяющая рассчитать основные параметры перфузии.

Современные взгляды на проблему КС демонстрируют, что ключевым патогенетическим

механизмом является нарушение церебральной гемодинамики, обусловленное компрессией мозговых структур в зонах преждевременно закрытых швов. Клинические симптомы заболевания зачастую проявляются значительно позже [11, 28].

В настоящее время активно исследуются методы оценки церебрального кровотока у пациентов с КС. Среди них – однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) и MPT с использованием методики бесконтрастной ALS-перфузии [29–31]. Тем не менее каждый из этих методов имеет ограничения: применение ОФЭКТ сопряжено с радиационной нагрузкой, а ALS-перфузия предоставляет информацию лишь о скорости мозгового кровотока.



Цель исследования: дооперационное сравнение степени деформации костей черепа и перфузионных показателей головного мозга у детей с краниосиностозами с помощью КТ и МРТ и оценка взаимосвязи между ними.

Материал и методы

В период с 2018 по 2024 г. в ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России проведено обследование 51 ребенка с различными видами КС (34 мальчика, 17 девочек, средний возраст = $18,94 \pm 13,3$ мес): 13 – с метопическим (тригоцефалия, “Т”), 3 – с двусторонним коронарным (брахицефалия, “Б”), 10 – с односторонним коронарным (передняя плагиоцефалия, “ПП”), 3 – с односторонним лямбдовидным (задняя плагиоцефалия, “ЗП”), 3 – с закрытием сагиттального и коронарных швов (оксикефалия, “О”), 11 – с сагиттальным синостозом (скафоцефалия, “С”), 8 – с комбинированным (“К”).

Критерии включения:

- установленный диагноз КС;
- наличие подписанного и датированного информированного добровольного согласия.

Критерии исключения:

- абсолютные противопоказания к проведению МРТ;
- аномалии развития и патологические образования головного мозга;
- перенесенные нейрохирургические вмешательства.

Для анализа состояния черепных швов и оценки степени деформации черепа была проведена КТ на аппарате Somatom Definition Force (384 среза, Siemens). На рабочей станции осуществлялась дальнейшая мультипланарная реконструкция с оценкой состояния черепных швов и расчетами морфометрических показателей (ЦИ, ИАСЧ, ФУ, ФС).

Нормальные значения ЦИ, соответствующие мезоцефалии, составляют от 71 до 84%. Значения ЦИ меньше 71% указывали на скафоцефалическую (долихоцефалическую) деформацию черепа, а значения больше 84% свидетельствовали о развитии брахицефалии.

Согласно классификации J. van der Meulen (2012), степень деформации по расчетам ФУ интерпретировалась как тяжелая, если угол составлял менее 89° , умеренная – от 90 до 95° , легкая – от 96 до 103° и нормальная – 104° и более. Нормальными значениями ФС считается 1,21. ИАСЧ считался нормальным при значении менее 3,5%, легкая асимметрия – 3,5–6,25%, умеренная асимметрия – 6,25–8,75%, тяжелая деформация – 8,75–11%, очень тяжелая деформация – более 11%.

Для оценки структурных и перфузионных изменений головного мозга использовался стандартный протокол МРТ, дополненный методикой DSC-перфузии, выполненный на томографе Magnetom Espree (1,5 Тл, Siemens). Оценивались основные параметры перфузии:

- скорость мозгового кровотока (Cerebral Blood Flow – CBF),
- объем мозгового кровотока (Cerebral Blood Volume – CBV),
- время достижения пиковой концентрации (Time to Peak – TTP), соответствующей центру тяжести или пиковым значениям на графике,
- время транзита контрастного вещества (Mean Transit Time – MTT) [32].

Парамагнитный контрастный препарат вводился в дозировке 0,1 ммоль/кг. Построение перфузионных карт выполнялось на рабочей станции, после чего ручным способом выделялась зона интереса (region of interest – ROI) в наиболее компримированных участках мозга. Площадь ROI выбиралась максимальная, исключая крупные сосуды и ликворные пространства, но не менее 1 см^2 . В зону интереса включались кортикальные и субкортикальные отделы головного мозга. Показатели перфузии рассчитывались путем “отзеркаливания” относительно (r – “relatively”) интактных зон противоположного полушария, принятых за 100% (рис. 3). Выбор референсных зон осуществлялся в зависимости от типа синостоза. При изолированных (моно-) синостозах использовалась контралатеральная доля. При комбинированных формах для сравнения выявлялась интактная доля головного мозга с последующим ее сравнением с контралатеральной. В условиях симметричного поражения, когда идентификация интактных зон была затруднена, референсные значения рассчитывались на основе показателей от других долей головного мозга (к примеру, теменных и затылочных – при патологии лобных).

Относительные показатели перфузии рассчитывались автоматически на рабочей станции.

Для дифференциации физиологической межполушарной асимметрии перфузии от патологической был принят пороговый уровень асимметрии, равный 10%, в рамках референсного интервала [33].

Для статистической обработки был использован язык программирования R (версия 4.4.1). Рассчитаны средние значения основных перфузионных показателей по данным МРТ и морфометрических по данным КТ в группах, стандартное отклонение, а также симметричность (skew) и эксцесс (kurtosis) распределения.

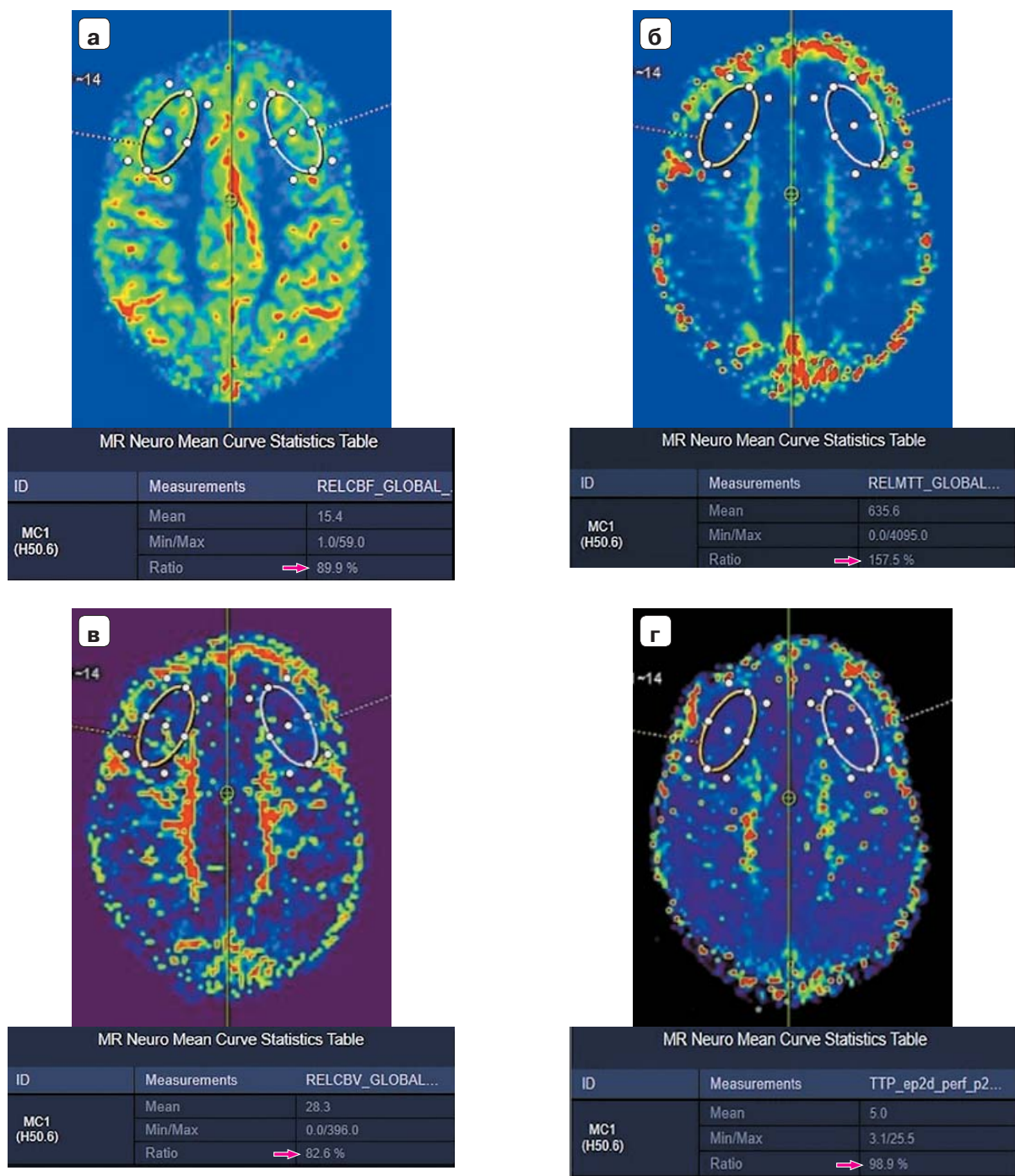


Рис. 3. МРТ головного мозга, построение перфузионных карт CBF (а), CBV (б), MTT (в), TTP (г) у пациента с правосторонним коронарным синустозом. Отмечается снижение относительных перфузионных показателей rCBF, rCBV в кортикально-субкортикальных отделах правой лобной доли, повышение показателя rMTT без значимого изменения показателя rTTP относительно контралатеральной стороны (указано красными стрелками).

Fig. 3. MRI of the brain, construction of perfusion maps of CBF (а), CBV (б), MTT (в), TTP (г) in a patient with right-sided coronary synostosis. There is a decrease in the relative perfusion indices of rCBF, rCBV in the cortical-subcortical sections of the right frontal lobe, an increase in the rMTT index, without a significant change in the rTTP index, of the relative contralateral side (indicated by red arrows).



Группы были с референсными значениями показателей с использованием t-критерия Стьюдента. По результатам анализа проведена поправка Холма на множественные сравнения.

Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России (выписка № 1210-23 из протокола заседания ЛЭК № 10-23 от 2 октября 2023 г.)

Результаты исследования

При измерении относительных показателей кровотока в группе “Т” в лобных долях, относительно контралатеральных теменно-затылочных областей было выявлено снижение rCBF и rCBV до $72,28 \pm 7,94\%$ и $70,37 \pm 16,55\%$ соответственно и повышение rMTT и rTTP до $112,92 \pm 5,01\%$ и $110,73 \pm 8,74\%$ соответственно.

В группе “Б” относительные показатели кровотока рассчитывались в тех же зонах и составляли: rCBF = $66,80 \pm 4,96\%$; rCBV = $66,10 \pm 6,32\%$; rMTT = $117,70 \pm 1,80\%$; rTTP = $121,10 \pm 0,70\%$.

Перфузионные показатели в группе “ПП” оценивались в компримированной лобной доле относительно контралатеральной и составляли: rCBF = $82,06 \pm 11,5\%$; rCBV = $88,74 \pm 4,78\%$; rMTT = $120,52 \pm 25,34\%$; rTTP = $110,2 \pm 10,51\%$.

Перфузионные показатели в группе “ЗП” оценивались в компримированной затылочной доле относительно контралатеральной и составили:

rCBF = $77,13 \pm 9,77\%$; rCBV = $57,33 \pm 2,61\%$; rMTT = $115,63 \pm 3,84\%$; rTTP = $108,33 \pm 1,15\%$.

Перфузионные показатели в группе “О” рассчитывались в лобных долях относительно теменно-затылочных областей и составили: rCBF = $75,7 \pm 18,55\%$; rCBV = $87,17 \pm 6,69\%$; rMTT = $108,00 \pm 3,44\%$; rTTP = $103,7 \pm 3,82\%$.

В группе “С” было проведено сравнение показателей мозгового кровотока в тех же зонах, которые составили: rCBF = $72,7 \pm 12,66\%$; rCBV = $78,06 \pm 10,72\%$; rMTT = $114,39 \pm 12,76\%$; rTTP = $106,69 \pm 4,42\%$.

В группе “К” визуально выявлялись наиболее интактные зоны головного мозга в зависимости от количества и расположения пораженных черепных швов и сравнивались с контралатеральной стороной: rCBF = $77,71 \pm 10,53\%$; rCBV = $79,45 \pm 9,53\%$; rMTT = $118,01 \pm 17,55\%$; rTTP = $107,83 \pm 6,14\%$ (табл. 1).

При анализе полученных данных можно сделать вывод, что наиболее низкие показатели rCBF и rCBV были выявлены в группе “Б” и rCBV в группе “ЗП”, тогда как в остальных группах данные показатели снижались относительно одинаково. В группах “ЗП”, “О”, “С” и “К” значимого повышения значений rTTP не выявлено, как и значение rMTT в группе “О”, в сравнении с минимальным повышением данных показателей в остальных группах (рис. 4).

Таблица 1. Группы пациентов с относительными показателями МР-перфузии

Table 1. Groups of Patients with Relative MR- perfusion indices

Виды КС по типу деформации Types of CS by type of deformation	n	Возраст, мес Age, month M ± sd	rCBF, % M ± sd	rCBV, % M ± sd	rMTT, % M ± sd	rTTP, % M ± sd
Тригоцефалия Trigonosephaly	13	9.69 ± 3.5	72.28 ± 7.94	70.37 ± 16.55	112.92 ± 5.01	110.73 ± 8.74
Брахицефалия Brachycephaly	3	35.5 ± 27.58	66.80 ± 4.96	66.10 ± 6.32	117.70 ± 1.80	121.10 ± 0.70
Передняя плагиоцефалия Anterior plagiocephaly	10	26.9 ± 27.52	82.06 ± 11.53	88.74 ± 4.78	120.52 ± 25.34	110.2 ± 10.51
Задняя плагиоцефалия Posterior plagiocephaly	3	18 ± 8.49	77.13 ± 9.77	57.33 ± 2.61	115.63 ± 3.84	108.33 ± 1.15
Оксицефалия Oxycephaly	3	25 ± 21.52	75.7 ± 18.55	87.17 ± 6.69	108.00 ± 3.44	103.7 ± 3.82
Скафоцефалия Scaphocephaly	11	21.73 ± 23.71	72.7 ± 12.66	78.06 ± 10.72	114.39 ± 12.76	106.69 ± 4.42
Комбинированный Combined	8	14 ± 13.66	77.71 ± 10.53	79.45 ± 9.53	118.01 ± 17.55	107.83 ± 6.14

Примечание/Note. “КС” – Краниосиностоз (“CS” – Craniosynostosis), “CBF” – cerebral blood flow, “CBV” – cerebral blood volume, “TTP” – time to peak, “MTT” – mean transit time, “M” – mean, “sd” – standard deviation, “n” – number.

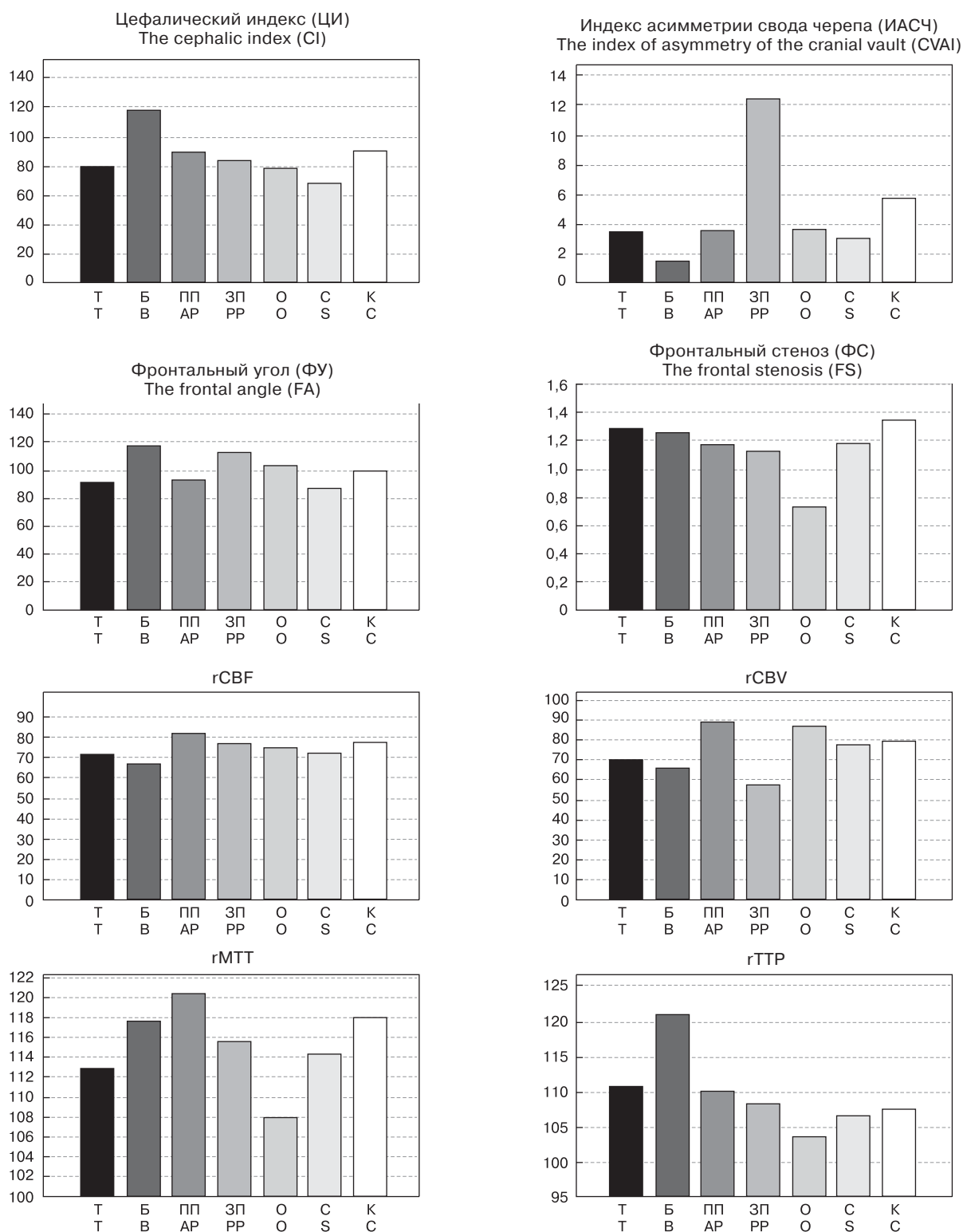
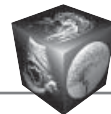


Рис. 4. Диаграммы средних значений по группам. Виды КС по типу деформации: “Т” – тригоноцефалия, “Б” – брахицефалия, “ПП” – передняя плагиоцефалия, “ЗП” – задняя плагиоцефалия, “О” – оксикефалия, “С” – скафоцефалия, “К” – комбинированный.

Fig. 4. Bar charts of average values by groups. “Т” – Trigonocephaly, “Б” – Brachycephaly, “AP” – Anterior plagiocephaly, “PP” – Posterior plagiocephaly, “O” – Oxycephaly, “S” – Scaphocephaly, “C” – Combined.



При анализе морфометрических параметров показатель ЦИ находился в пределах референсных значений в группах “Т”, “О” ($79,85 \pm 6,09\%$; $78,67 \pm 13,32\%$). В остальных группах ЦИ отличались с наибольшим средним показателем в группе “Б” ($118,00 \pm 4,58\%$) и наименьшим в группе “С” ($67,36 \pm 10,43\%$), что соответствует виду деформации.

Показатель ИАСЧ был наиболее высоким в группах “ЗП” и “К” ($12,38 \pm 1,05\%$; $5,75 \pm 4,84\%$), что трактовалось как очень тяжелая и умеренная асимметрия. Минимальное повышение данного значения также выявлено в группе “О” ($3,63 \pm 3,04\%$), что трактовалось как легкая деформация в сравнении с нормальными значениями в остальных группах.

Наиболее низкие показатели ФУ отмечались в группах “Т”, “ПП” и “С” ($91,56 \pm 9,92$; $93,15 \pm 7,03$; $87,36 \pm 9,06$ соответственно), что трактовалось как умеренная и тяжелая деформация.

По данным морфометрии наиболее высокий показатель ФС относительно нормального значения был в группе “К” ($1,35 \pm 0,46$), наименьший – в группе “О” ($0,73 \pm 0,54$) (табл. 2).

Несмотря на то что после поправки на множественные сравнения различия в показателях не достигли статистической значимости, данные

различия требуют дополнительных уточнений с увеличением мощности исследования (табл. 3).

В табл. 3 представлены наиболее значимые пары сравнений между группами. Разница средних и 95% доверительный интервал (ДИ) рассчитаны для каждой переменной. Скорректированные р-значения получены с применением метода коррекции на множественные сравнения с использованием поправки Холма.

Статистически значимые различия между группами “К” и “С” по показателю ЦИ (разница средних $22,76$; 95% ДИ $14,69-30,83$; $p < 0,001$), а также между группами “ПП” и “С” (разница средних $21,74$; 95% ДИ $14,01-29,46$; $p < 0,001$) сохраняют значимость даже после коррекции ($p_{adj} < 0,05$). Однако для остальных сравнений (например, СВ “ПП” vs “Т”: $p_{adj} = 0,05$; ЦИ “ПП” vs “Т”: $p_{adj} = 0,06$) скорректированные р-значения превышают порог $0,05$, что может быть связано с ограниченной мощностью исследования. Несмотря на это, величины эффекта (разница средних >9 единиц) и узкие доверительные интервалы (не включающие ноль) указывают на клиническую значимость выявленных различий.

Для подтверждения результатов требуется дальнейшее исследование с увеличением выборки и использованием многофакторных моделей.

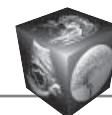
Таблица 2. Группы пациентов с морфометрическими расчетами по данным КТ

Table 2. Groups of patients with morphometric calculations based on CT data

Группа/Показатель Group/Indicator	n	Возраст, мес Age, month M $\pm$ sd	ЦИ, % CI, % M $\pm$ sd	ИАСЧ, % CVAI, % M $\pm$ sd	ФУ, ° FA, ° M $\pm$ sd	ФС FS M $\pm$ sd
Тригоноцефалия Trigonosephaly	13	9.69 ± 3.5	79.85 ± 6.09	3.42 ± 2.29	91.56 ± 9.92	1.29 ± 0.09
Брахицефалия Brachysephaly	3	35.5 ± 27.58	118.00 ± 4.58	1.5 ± 0.99	117.20 ± 6.37	1.26 ± 0.03
Передняя плагиоцефалия Anterior plagiocephaly	10	26.9 ± 27.52	89.1 ± 5.8	3.48 ± 3.4	93.15 ± 7.03	1.17 ± 0.07
Задняя плагиоцефалия Posterior plagiocephaly	3	18 ± 8.49	83.33 ± 3.06	12.38 ± 1.05	112.63 ± 2.57	1.13 ± 0.07
Оксицефалия Oxusephaly	3	25 ± 21.52	78.67 ± 13.32	3.63 ± 3.04	103.8 ± 15.37	0.73 ± 0.54
Скафоцефалия Scaphosephaly	11	21.73 ± 23.71	67.36 ± 10.43	3.01 ± 1.46	87.36 ± 9.06	1.19 ± 0.15
Комбинированный Combined	8	14 ± 13.66	90.12 ± 6.1	5.75 ± 4.84	99.16 ± 15.73	1.35 ± 0.46

Примечание/Note. “ЦИ” – цефалический индекс, “ИАСЧ” – индекс асимметрии свода черепа, “ФУ” – фронтальный угол, “ФС” – фронтальный стеноз, “М” – mean, “sd” – standard deviation, “n” – number.

“CI” – Cephalic index, “CVAI” – index of asymmetry of the cranial vault, “FA” – frontal angle, “FS” – frontal stenosis, “M” – mean, “sd” – standard deviation, “n” – number.

**Таблица 3.** Сравнение значимых переменных между группами с указанием разницы средних, 95% ДИ и скорректированных р-значений**Table 3.** Comparison of significant variables between groups, showing the difference in averages, 95% CI and adjusted p-values

Переменная Variable	Группа 1 Group 1	Группа 2 Group 2	Разница средних Average difference	Нижняя граница 95% ДИ Lower bounds of the 95% CI	Верхняя граница 95% ДИ Upper bounds of the 95% CI	р-значения p-value	Скорректиро- ванные р-значения Adjusted p-values
ЦИ / CI	К / C	С / S	22.76	14.69	30.83	0.00	0.00
ЦИ / CI	ПП / AP	С / S	21.74	14.01	29.46	0.00	0.00
CBV	ПП / AP	Т / T	18.36	8.56	28.17	0.00	0.05
ЦИ / CI	ПП / AP	Т / T	9.25	4.05	14.46	0.00	0.06
ЦИ / CI	К / C	Т / T	10.28	4.43	16.12	0.00	0.08
ЦИ / CI	Т / T	С / S	12.48	4.89	20.07	0.00	0.13
ФС / FS	Т / T	Референсное значение The reference value	0.08	1.24	1.35	0.01	0.31
CBV	ПП / AP	С / S	10.67	3.02	18.31	0.01	0.38
CBV	ПП / AP	К / C	9.28	1.03	17.53	0.03	1.00
CBF	ПП / AP	Т / T	9.78	0.72	18.85	0.04	1.00

Примечание. Виды краниосиностозов по типу деформации: “Т” – тригоноцефалия, “ПП” – передняя плагиоцефалия, “С” – скафоцефалия, “К” – комбинированный.

“ЦИ” – цефалический индекс, “ФС” – фронтальный стеноз, “CBF” – cerebral blood flow, “CBV” – cerebral blood volume, “ДИ” – доверительный интервал.

Note. Types of craniosynostosis by type of deformation: “Т” – trigonocephaly, “AP” – anterior plagiocephaly, “S” – scaphocephaly, “C” – combined.

“CI” – Cephalic index, “FS” – frontal stenosis, “CBF” – cerebral blood flow, “CBV” – cerebral blood volume, “CI” – confidence interval.

Обсуждение

Оценка церебральной гемодинамики у пациентов с КС остается недостаточно изученной областью, несмотря на ее потенциальную клиническую значимость. В современной литературе представлены лишь единичные исследования, посвященные этой проблеме [29, 30, 34]. Методика ОФЭКТ, использованная М. Varik и соавт. (2014), хотя и демонстрирует хорошую информативность, сопряжена со значительной лучевой нагрузкой, что ограничивает ее применение в педиатрической практике. Бесконтрастная ASL-перфузия, примененная P.N. Doerga и соавт. (2019), является перспективной неинвазивной методикой, но предоставляет информацию только о скорости мозгового кровотока, не позволяя оценить полный спектр перфузионных параметров.

В данном исследовании использовалась методика DSC-перфузии, которая обеспечивает комплексную оценку всех ключевых показателей це-

ребральной гемодинамики (CBF, CBV, МТТ, ТТР). Несмотря на необходимость использования парамагнитного контрастного препарата, этот метод предоставляет важную информацию о состоянии мозгового кровообращения. Важным преимуществом контрастного исследования является возможность одновременного исключения объемных образований и сосудистых аномалий, которые могут влиять на тактику лечения.

Проведенное исследование выявило универсальный характер нарушений церебральной гемодинамики при различных типах КС. Наиболее выраженные изменения перфузии отмечались при брахицефалии и тригоноцефалии, что свидетельствует о значительном влиянии типа КС на характер гемодинамических нарушений. Отсутствие прямой корреляции между степенью морфометрических изменений и показателями перфузии указывает на сложный механизм влияния КС на церебральную гемодинамику.



КТ-морфометрия подтвердила свою ценность в оценке костных деформаций при КС. Полученные данные продемонстрировали характерные для каждого типа КС изменения цефалического индекса, индекса асимметрии свода черепа, фронтального угла и фронтального стеноза. [34]. Методика “Black bone” МРТ, хотя и показывает многообещающие результаты в визуализации костных структур, пока требует дополнительного программного обеспечения и валидации перед внедрением в клиническую практику [35].

Комплексный анализ полученных данных подчеркивает важность интеграции морфометрических и гемодинамических параметров для полного понимания патофизиологии КС. Выявленные группоспецифические особенности корреляционных взаимосвязей между изменениями формы черепа и показателями перфузии свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к диагностике и оценке тяжести состояния пациентов с различными типами КС.

Заключение

КТ зарекомендовала себя как незаменимый метод диагностики и послеоперационного контроля краниосиностозов. Современные КТ-томографы позволяют выполнять исследования даже с применением низкодозных протоколов с сохранением высокого качества изображений. Рутинные описания данной патологии, дополненные морфометрическими изменениями, выбранные для каждого конкретного вида деформации, дают более полную информацию о степени краниоцеребральной диспропорции для нейрохирургов.

Динамическая контрастная МР-перфузия является перспективной методикой для оценки мозгового кровообращения у детей с краниосиностозами. Применение данной методики позволяет оценить основные параметры перфузии в наиболее компримированных участках головного мозга. Полученные данные демонстрируют системное влияние краниосиностоза на церебральную гемодинамику при отсутствии прямой корреляции между степенью морфометрических и перфузионных изменений, что подчеркивает роль индивидуальных компенсаторных механизмов. Дальнейшие перспективы связаны с увеличением когорты пациентов и проведением сопоставлений с данным морфометрических измерений по результатам КТ, которые могут расширить спектр диагностических критериев для принятия решения об оперативном лечении. Динамическая контрастная МР-перфузия может стать инструментом оценки эффективности

выполненного оперативного вмешательства на ранних и поздних послеоперационных этапах.

Участие авторов

Палеева И.С. – подготовка, создание опубликованной работы, подготовка и редактирование текста.

Лукин М.В. – проведение исследования, написание текста.

Гладышев Н.С. – сбор и обработка данных.

Выshedkevich Е.Д. – участие в научном дизайне.

Ефимцев А.Ю. – ответственность за целостность всех частей статьи.

Труфанов Г.Е. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Paleeva I.S. – preparation and creation of the published work, text preparation and editing.

Lukin M.V. – conducting research, writing text.

Gladyshev N.S. – collection and analysis of data

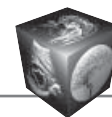
Vyshedkevich E.D. – participation in scientific design.

Efimtsev A.Yu. – responsibility for the integrity of all parts of the article.

Trufanov G.E. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Kajdic N., Spazzapan P., Velnar T. Craniosynostosis – Recognition, clinical characteristics, and treatment. *Bosn. J. Basic Med. Sci.* 2018; 18 (2): 110–116. <http://doi.org/10.17305/bjbms.2017.2083>
2. Hersh D.S., Hughes C.D. Syndromic Craniosynostosis: Unique Management Considerations. *Neurosurg. Clin. N. Am.* 2022; 33 (1): 105–112. <http://doi.org/10.1016/j.nec.2021.09.008>.
3. Ясонов С.А. Синдромальные краниосиностозы: основные клинические проявления и современные возможности реабилитации. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2012; 91 (5): 108–116. Yasonov S.A. Syndromic craniosynostosis: the main clinical manifestations and modern rehabilitation possibilities. *Pediatrics. The G.N. Speransky Journal*. 2012; 91 (5): 108–116. (In Russian)
4. McIntyre F.L. Craniosynostosis. *Am Fam Physician*. 1997; 55 (4): 1173–1178.
5. Yapijakis C., Pachis N., Sotiriadou T. et al. Molecular Mechanisms Involved in Craniosynostosis. *In Vivo*. 2023; 37 (1): 36–46. <http://doi.org/10.21873/invivo.13052>
6. Brah T.K., Thind R., Abel D.E. Craniosynostosis: Clinical Presentation, Genetics, and Prenatal Diagnosis. *Obstet. Gynecol. Surv.* 2020, 75: 636–644. <http://doi.org/10.1097/OGX.0000000000000830>
7. Melville H., Wang Y., Taub P.J., Jabs E.W. Genetic basis of potential therapeutic strategies for craniosynostosis. *Am. J. Med. Genet. A*. 2010; 152A (12): 3007–3015. <http://doi.org/10.1002/ajmg.a.33703>
8. Lattanzi W., Barba M., Di Pietro L., Boyadjiev S.A. Genetic advances in craniosynostosis. *Am. J. Med. Genet. Part A*. 2017; 173: 1406–1429. <http://doi.org/10.1097/OGX.0000000000000830>
9. Sawh-Martinez R., Steinbacher D.M. Syndromic Craniosynostosis. *Clin. Plast. Surg.* 2019; 46 (2): 141–155. <http://doi.org/10.1016/j.cps.2018.11.009>



10. Wang J.C., Nagy L, Demke J.C. Syndromic Craniosynostosis. *Facial Plast. Surg. Clin. N. Am.* 2016; 24 (4): 531–543. <http://doi.org/10.1016/j.fsc.2016.06.008>
11. Суфианов А.А., Гаибов С.С., Суфианов Р.А. Несиндромальные краниосиностозы: современное состояние проблемы. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2013; 6: 33–37.
Sufianov A.A., Gaibov S.S., Sufianov R.A. Nonsyndromic craniosynostoses: state-of-the-art. *Russian Bulletin of Perinatol and Pediatrician*. 2013; 6: 33–37. (In Russian)
12. Russo C., Aliberti M., Ferrara A. et al. Neuroimaging in Nonsyndromic Craniosynostosis: Key Concepts to Unlock Innovation. *Diagnostics (Basel)*. 2024; 14 (17): 1842. <http://doi.org/10.3390/diagnostics14171842>
13. Nagaraja S., Anslow P., Winter B. Craniosynostosis. *Clin. Radiol.* 2013; 68 (3): 284–292. <http://doi.org/10.1016/j.crad.2012.07.005>
14. Massimi L., Bianchi F., Frassanito P. et al. Imaging in craniosynostosis: when and what? *Childs Nerv. Syst.* 2019; 35 (11): 2055–2069. <http://doi.org/10.1007/s00381-019-04278-x>
15. Mathijssen I.M. Guideline for Care of Patients With the Diagnoses of Craniosynostosis: Working Group on Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2015; 26 (6): 1735–1807. <http://doi.org/10.1097/SCS.0000000000002016>
16. Ginat D.T., Lam D, Kuhn A.S., Reid R. CT Imaging Findings after Craniosynostosis Reconstructive Surgery. *Pediatr. Neurosurg.* 2018; 53 (4): 215–221. <http://doi.org/10.1159/000489175>
17. Tao W., Goetti R. Evaluation of ultra-low-dose CT with tin filter for craniosynostosis. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2025; 69 (1): 28–34. <http://doi.org/10.1111/1754-9485.13812>
18. Montoya J.C., Eckel L.J., DeLone D.R. et al. Low-Dose CT for Craniosynostosis: Preserving Diagnostic Benefit with Substantial Radiation Dose Reduction. *Am. J. Neuroradiol.* 2017; 38 (4): 672–677. <http://doi.org/10.3174/ajnr.A5063>
19. Alnaif N., Zhou M., Galli R. et al. The Role of Preoperative Computed Tomography in Nonsyndromic Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2019; 30 (2): 424–428. <http://doi.org/10.1097/SCS.0000000000005088>
20. Gruszczyńska K., Likus W., Onyszcuk M. et al. How does nonsyndromic craniosynostosis affect on bone width of nasal cavity in children? – Computed tomography study. *PLoS One*. 2018; 13 (7): e0200282. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0200282>
21. Ertekin E., Sahin T., Turgut A.T. Imaging Modalities for Craniosynostosis. In: Turgut M., Tubbs R.S., Turgut A.T., Dumont A.S. (eds). *The Sutures of the Skull*. Springer, Cham, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72338-5_16
22. Ramdat M.K., Breakey R.W., Caron C.J. et al. Correlation of Intracranial Volume With Head Surface Volume in Patients With Multisutural Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2020; 31 (5): 1445–1448. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000006372>
23. Cacciaguerra G., Palermo M., Marino L. et al. The evolution of the role of imaging in the diagnosis of craniosynostosis: A narrative review. *Children*. 2021; 8: 727. <https://doi.org/10.3390/children8090727>
24. Villavisanis D.F., Blum J.D., Cho D.Y. et al. Degree of Sagittal Suture Fusion, Cephalic Index, and Head Shape in Nonsyndromic Sagittal Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2022; 33 (8): 2388–2393. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000008782>
25. Летагин Г.В., Ким С.А., Данилин В.Е., Сысоева А.А., Амелин М.Н. Открытый реконструктивный способ хирургического лечения несиндромальных краниосиностозов у детей. *Нейрохирургия*. 2017; 4: 50–58.
Letyagin G.V., Kim S.A., Danilin V.E. et al. Open reconstructive method of surgical treatment of nonsyndromic craniosynostosis in children. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2017; 4: 50–58. (In Russian)
26. Kaydu N.E., Cindil E., Asfuroglu B.B. et al. Comparative evaluation of brain perfusion with ASL and DSC MRI following intracranial vascular flow diverter stent replacement. *J. Clin. Ultrasound*. 2023; 51 (8): 1390–1396. <https://doi.org/10.1002/jcu.23530>
27. Lindner T., Bolar D.S., Achten E. et al. Current state and guidance on arterial spin labeling perfusion MRI in clinical neuroimaging. *Magn. Reson. Med.* 2023; 89 (5): 2024–2047. <https://doi.org/10.1002/mrm.29572>
28. Bristol R.E., Lekovic G.P., Rekate H.L. The effects of craniosynostosis on the brain with respect to intracranial pressure. *Semin. Pediatr. Neurol.* 2004; 11 (4): 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2004.11.001>
29. Barik M., Bajpai M., Das R.R. et al. Role of ^{99m}Tc-ECD SPECT in the management of children with craniosynostosis. *Biomed. Res. Int.* 2014; 2014: 172646. <https://doi.org/10.1155/2014/172646>
30. Лукин М.В., Филин Я.А., Звездина А.В., Береговский Д.А., Ефимцев А.Ю., Труфанов Г.Е. Динамическая контрастная магнитно-резонансная перфузия головного мозга у детей с краниосиностозами. *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье*. 2024; 14 (6): 151–158. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.MIM.1>
Lukin M.V., Filin Ya.A., Zvezdin A.V. et al. Dynamic contrast magnetic resonance perfusion of the brain in children with craniosynostosis. *Bulletin of the Medical Institute "Reaviz": Rehabilitation, Doctor and Health*. 2024; 14 (6): 151–158. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.MIM.1> (In Russian)
31. Proisy M., Bruneau B., Rozel C. et al. Arterial spin labeling in clinical pediatric imaging. *Diagn Interv Imaging*. 2016; 97 (2): 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2015.09.001>
32. Pons-Escoda A., Smits M. Dynamic-susceptibility-contrast perfusion-weighted-imaging (DSC-PWI) in brain tumors: a brief up-to-date overview for clinical neuroradiologists. *Eur. Radiol.* 2023; 33 (11): 8026–8030. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09729-3>
33. Kellner-Weldon F., El-Koussy M., Jung S. et al. Cerebellar Hypoperfusion in Migraine Attack: Incidence and Significance. *Am. J. Neuroradiol.* 2018; 39 (3): 435–440. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5508>
34. Ишков С.В. Компьютерная томография в изучении хирургической анатомии задней черепной ямки. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2014; 3: 41–45. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2014-0-3-41-45>
Ishkov S.V. Computed tomography in the study of surgical anatomy of the posterior cranial fossa. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2014; 3: 41–45. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2014-0-3-41-45> (In Russian)
35. Vallengia S., Dremmen M.H., Mathijssen I.M. et al. Black Bone MRI vs. CT in temporal bone assessment in craniosynostosis: a radiation-free alternative. *Neuroradiology*. 2025; 67 (1): 257–267. <https://doi.org/10.1007/s00234-024-03525-6>



Для корреспонденции*: Палеева Ирина Сергеевна – e-mail: paleewa.ir@yandex.ru

Палеева Ирина Сергеевна – ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0009-0005-0557-1990>. E-mail: paleewa.ir@yandex.ru

Лукин Максим Владимирович – аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0001-5008-954X>. E-mail: lukin.mv.radiology@gmail.com

Гладышев Никита Сергеевич – научный сотрудник НИИ морфологии человека им. акад. А.П. Авцына – филиал ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва. <http://doi.org/0000-0003-2732-5676>. E-mail: krinege@mail.ru

Выshedkevich Елена Дмитриевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог отделения магнитно-резонансной томографии ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0001-9698-1795>. E-mail: vyshedkevich.ed@mail.ru

Ефимцев Александр Юрьевич – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0003-2249-1405>. E-mail: atralf@mail.ru

Труфанов Геннадий Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0002-1611-5000>. E-mail: trufanovge@mail.ru

Contact*: Irina S. Paleeva – e-mail: paleewa.ir@yandex.ru

Irina S. Paleeva – a resident at the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0009-0005-0557-1990>. E-mail: paleewa.ir@yandex.ru

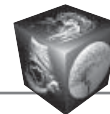
Maxim V. Lukin – postgraduate student at the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0001-5008-954X>. E-mail: lukin.mv.radiology@gmail.com

Nikita S. Gladyshev – a researcher at the Scientific Research Institute of Human Morphology Named After Academician A.P. Avtsyn of the Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow. <http://doi.org/0000-0003-2732-5676>. E-mail: krinege@mail.ru

Elena D. Vyshedkevich – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist of the Magnetic Resonance Imaging Department, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0001-9698-1795>. E-mail: vyshedkevich.ed@mail.ru

Alexander Yu. Efimtsev – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0003-2249-1405>. E-mail: atralf@mail.ru

Gennady E. Trufanov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0002-1611-5000>. E-mail: trufanovge@mail.ru



Двухэнергетическая компьютерно-томографическая ангиография в определении стабильных и нестабильных компонентов атеросклеротических бляшек: сравнительный анализ с результатами гистологического исследования

© Галяутдинова Л.Э. *, Мамедова М.М., Гончарова Е.А., Басек И.В., Алексеева Д.В., Митрофанова Л.Б., Труфанов Г.Е., Ванюркин А.Г., Чернявский М.А.

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

В последние годы появилось достаточно много публикаций, в которых все больше данных связывают развитие ишемических событий с признаками нестабильности атеросклеротической бляшки и все больше внимания уделяется возможностям неинвазивной визуализации признаков нестабильности, в том числе с применением двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ).

Цель исследования: оценка возможностей ДЭКТ-ангиографии в идентификации и дифференциации компонентов атеросклеротической бляшки сонной артерии, а также их сравнительный анализ с данными гистологического исследования.

Материал и методы. В исследование включено 30 пациентов, госпитализированных в ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России для проведения плановой каротидной эндартерэктомии. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Пациентам была выполнена предоперационная ДЭКТ-ангиография брахиоцефальных артерий. После оперативного вмешательства резецированные бляшки подвергались гистологическому анализу с морфологической идентификацией ключевых компонентов: фиброзного, липидно-некротического, геморрагического и смешанного. Сопоставление данных ДЭКТ с гистологическими срезами проводилось на уровне соответствующих зон интереса (ROI). Статистическая обработка выполнялась с использованием пакета Jamovi; применялся дисперсионный анализ с применением критерия Тьюки для оценки межгрупповых различий.

Результаты. По данным гистологического анализа идентифицировано 72 ключевых компонента бляшки, включая фиброзный ($n = 18$), липидно-некротическое ядро ($n = 28$), кровоизлияние ($n = 8$) и смешанный ($n = 18$) компоненты. Средние значения минимального Z-effective при попарном сравнении оказались достоверно выше в фиброзных участках по сравнению с липидно-некротическим ядром ($p < 0,001$), кровоизлиянием ($p < 0,01$) и смешанным компонентом ($p < 0,05$). Установлен диагностический порог минимального Z-effective $\geq 7,7$, позволяющий с высокой чувствительностью (85,2%) и специфичностью (88,9%) дифференцировать стабильный фиброзный компонент от липидного ядра, кровоизлияния и смешанного компонента как признаков нестабильности. Статистически значимые различия между нестабильными компонентами не выявлены.

Заключение. Двухэнергетическая КТ-ангиография демонстрирует высокую диагностическую ценность для неинвазивной дифференциации стабильного и нестабильных компонентов атеросклеротических бляшек. Целесообразны дальнейшие исследования на более расширенной выборке для уточнения пороговых значений и стандартизации методики.

Ключевые слова: двухэнергетическая компьютерная томография; атеросклеротические бляшки сонных артерий; нестабильность атеросклеротических бляшек; структурный анализ бляшки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Галяутдинова Л.Э., Мамедова М.М., Гончарова Е.А., Басек И.В., Алексеева Д.В., Митрофанова Л.Б., Труфанов Г.Е., Ванюркин А.Г., Чернявский М.А. Двухэнергетическая компьютерно-томографическая ангиография в определении стабильных и нестабильных компонентов атеросклеротических бляшек: сравнительный анализ с результатами гистологического исследования. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 33–40. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1587>

Поступила в редакцию: 16.07.2025. Принята к печати: 10.10.2025. Опубликовано online: 16.02.2026.



Dual-energy computed tomography angiography in identifying stable and unstable components of atherosclerotic plaque: a comparative analysis with histological findings

© Lina E. Galyautdinova*, Milena M. Mamedova, Ekaterina A. Goncharova, Ilona V. Basek, Darya V. Alekseeva, Lyubov B. Mitrofanova, Gennadii E. Trufanov, Almaz G. Vanyurkin, Mihail A. Chernyavskiy

Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2, Akkuratova str., Saint-Petersburg 197341, Russian Federation

In recent years, an increasing number of publications have linked ischemic events to features of atherosclerotic plaque instability, drawing growing attention to the potential of noninvasive imaging modalities for detecting such features, including dual-energy computed tomography (DECT).

Objective: to assess the capabilities of dual-energy computed tomography angiography (DECT angiography) in identifying and differentiating components of carotid atherosclerotic plaques and to compare these findings with histological analysis.

Materials and Methods. The study comprised 30 patients admitted to the Almazov National Medical Research Centre (Ministry of Health of the Russian Federation) for planned carotid endarterectomy. All patients provided written informed consent to participate. Preoperative DECT angiography of the brachiocephalic arteries was performed. Resected plaques underwent histological analysis to morphologically identify key components: fibrous, lipid-rich necrotic core, hemorrhagic, and mixed. Correlation between DECT data and histological sections was conducted at corresponding regions of interest (ROI). Statistical analysis was performed using the Jamovi software package, employing analysis of variance (ANOVA) with Tukey's post hoc test for intergroup comparisons.

Results. Histological examination identified 72 key plaque components: fibrous ($n = 18$), lipid-rich necrotic core ($n = 28$), intraplaque hemorrhage ($n = 8$) and mixed components ($n = 18$). Mean minimum Z-effective values were significantly higher in fibrous regions compared to lipid-necrotic cores ($p < 0.001$), hemorrhagic areas ($p < 0.01$), and mixed components ($p < 0.05$). A diagnostic threshold of minimum Z-effective ≥ 7.7 was established, enabling differentiation of stable fibrous components from lipid-rich necrotic cores, intraplaque hemorrhages and mixed components—features of plaque instability—with high sensitivity (85.2%) and specificity (88.9%). No statistically significant differences were found among the unstable plaque components.

Conclusions. Dual-energy CT angiography demonstrates high diagnostic value for the noninvasive differentiation of stable and unstable components of atherosclerotic plaques. Further studies with larger patient cohorts are suggested to refine threshold values and standardize the methodology.

Keywords: dual-energy computed tomography; carotid atherosclerotic plaques; plaque instability; plaque structural analysis

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

For citation: Galyautdinova L.E., Mamedova M.M., Goncharova E.A., Basek I.V., Alekseeva D.V., Mitrofanova L.B., Trufanov G.E., Vanyurkin A.G., Chernyavsky M.A. Dual-energy computed tomography angiography in identifying stable and unstable components of atherosclerotic plaque: a comparative analysis with histological findings. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 33–40. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1587>

Received: 16.07.2025.

Accepted for publication: 10.10.2025.

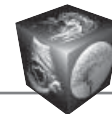
Published online: 16.02.2026.

Введение

По данным Всемирной организации по борьбе с инсультом (World Stroke Organization), ежегодно в мире регистрируется 12 млн случаев инсультов, 65% из них относятся к ишемическим (99 на 100 тыс. населения); смертность от ишемического инсульта составляет 46 на 100 тыс. населения в год [1]. Несмотря на тенденцию к снижению распростра-

ненности, заболеваемости и смертности от ишемического инсульта, прогнозируется тенденция к росту заболеваемости в течение следующих двух десятилетий [2].

Атеросклеротическое поражение брахиоцефальных артерий остается одной из основных причин развития ишемического инсульта и транзиторной ишемической атаки (ТИА) [3, 4].



Современные исследования связывают риск развития ишемического инсульта не только со степенью стеноза на уровне атеросклеротической бляшки, но и с наличием признаков ее нестабильности. В связи с этим возрос интерес к визуализационным возможностям преимущественно неинвазивных методов исследования, таких как ультразвуковое исследование (УЗИ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и компьютерная томография (КТ). Последние исследования акцентируют внимание на проведении детального анализа атеросклеротических бляшек на предмет выявления ключевых признаков нестабильности, таких как кровоизлияние, изъязвление, липидно-некротическое ядро с тонкой фиброзной покрышкой, а также неоваскуляризации [5].

УЗИ является наиболее широко используемым методом диагностики атеросклеротического поражения брахиоцефальных артерий, применение которого позволяет определить степень стеноза, оценить пиковую систолическую скорость в области атеросклеротической бляшки, наличие гипоехогенности бляшки как признака липидно-некротического ядра. К преимуществам УЗИ относят широкую доступность, скорость выполнения исследования, оценку гемодинамики при доплерографии, отсутствие противопоказаний к проведению исследования. Однако УЗИ имеет ряд ограничений, в том числе в определении признаков нестабильности, являясь операторозависимым методом, возможности метода ограничены в количественной оценке, визуализацию также затрудняют акустические тени в кальцинированных бляшках [6]. В последние годы внедрение контрастного усиления позволило расширить диагностические возможности УЗИ. Контрастное УЗИ позволяет оценить наличие неоваскуляризации в бляшке, неровного контура и изъязвлений [7]. Тем не менее существуют ограничения применения УЗИ с контрастированием в связи с большей операторозависимостью и увеличением артефактов, а также технической сложностью интерпретации полученных данных, что сдерживает широкое внедрение данного подхода в рутинную клиническую практику [8].

МРТ в настоящее время является одним из наиболее информативных неинвазивных методов диагностики бляшек высокого риска и позволяет визуализировать внутрибляшечное кровоизлияние, большое липидно-некротическое ядро с тонкой фиброзной покрышкой, изъязвления и др. Несмотря на высокую информативность и диагностическую ценность МРТ в оценке нестабильных атеросклеротических бляшек, данный метод име-

ет ряд существенных ограничений, таких как высокая стоимость и длительная продолжительность исследования, чувствительность к артефактам, возникающим при движении пациента, необходимость введения контрастного препарата для визуализации некоторых признаков нестабильности, а также абсолютные противопоказания для пациентов с ферромагнитными имплантами [6].

КТ является методом выбора в диагностике стеноза сонных артерий. Она обладает относительно широкой доступностью и скоростью выполнения исследования. КТ-ангиография позволяет не только с высокой точностью оценить наличие и степень стеноза, но и определить тип атеросклеротической бляшки, оценить кальцификацию, определить наличие и протяженность изъязвлений. Однако КТ уступает МРТ в визуализации фиброзной покрышки, характеристике мягкотканых компонентов бляшки и оценке таких признаков нестабильности, как большое липидное некротическое ядро и кровоизлияние, не позволяет дифференцировать их от стабильного фиброзного компонента в связи с частичным перекрытием плотностных характеристик, а также снижением точности оценки мягкотканного компонента в связи с артефактами от кальцинатов [8]. К недостаткам КТ-ангиографии также относят необходимость введения йодсодержащего контрастного препарата и ионизирующее излучение [6].

В последние годы возрос интерес к двухэнергетической КТ (ДЭКТ), которая основана на регистрации рентгеновского излучения при двух различных уровнях энергии, что позволяет проводить спектральный анализ поглощения фотонов различными тканями. В ряде публикаций подчеркивается, что применение ДЭКТ способствует снижению выраженности артефактов, обусловленных кальцификацией бляшек, обеспечивая более точную визуализацию сосудистой стенки и измерение степени стеноза, а также снижение лучевой нагрузки [8]. Кроме того, некоторые исследования указывают на более высокую диагностическую значимость ДЭКТ по сравнению со стандартной методикой в выявлении признаков нестабильности бляшек [9–11]. К недостаткам относится отсутствие единого алгоритма визуализации и оценки нестабильности атеросклеротической бляшки, учитывающего возможности ДЭКТ.

Цель исследования: оценка возможностей ДЭКТ-ангиографии в идентификации и дифференциации компонентов атеросклеротической бляшки сонных артерий и проведение сравнительного анализа с данными гистологического исследования.



Материал и методы

В исследовании приняло участие 30 человек (17 мужчин и 13 женщин) в возрасте от 41 года до 78 лет (средний возраст $68,0 \pm 9,0$ лет). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Всем пациентам выполнена ДЭКТ-ангиография брахиоцефальных артерий на компьютерном томографе SOMATOM Force (Siemens). Двухэнергетический протокол сканирования: напряжение на трубке А – 90 кВ, на трубке В – 150 кВ, питч 0,7, реконструкция полученных данных толщиной 0,75 мм.

Постобработка изображений проводилась на мультимодальной рабочей станции syngo.via в приложении Dual Energy. В классе приложений RhoZ в исследуемой области (ROI) атеросклеротической бляшки определялись средняя, максимальная и минимальная плотность при напряжении на трубке А – 90 кВ, на трубке В – 150 кВ, при среднем напряжении, а также средний, максимальный и минимальный Z-effective (средний атомный номер в исследуемой области) и двухэнергетический индекс (DEI).

Всем пациентам по показаниям была выполнена каротидная эндартерэктомия. Показанием к оперативному лечению было наличие стеноза на уровне каротидной бифуркации, в том числе по данным КТ, >60% по диаметру у асимптомных и >50% по диаметру у симптомных пациентов (с наличием острого нарушения мозгового крово-

обращения или ТИА в анамнезе) [12]. Полученные при каротидной эндартерэктомии атеросклеротические бляшки были погружены в 10% раствор формалина и отправлены на гистологическое исследование. Этапы обработки микропрепарата включали стандартную подготовку, декальцинацию атеросклеротической бляшки в декальцинирующем растворе на основе соляной и муравьиной кислоты в течение 24 ч, окрашивание препарата гематоксилином и эозином. Оценка макро- и микропрепаратов проводилась врачом-патологоанатомом. Для обеспечения пространственной корреляции между морфологическим анализом с последующим сопоставлением с данными ДЭКТ макропрепарат подвергался серийному срезу с фиксированным интервалом 0,5 см. Совместно с врачом-патологоанатомом выполнялся более детализированный анализ наиболее крупных участков атеросклеротической бляшки с разметкой ее ключевых компонентов: фиброзный компонент и такие признаки нестабильности, как кровоизлияние, липидное некротическое ядро, а также смешанный компонент с наличием кровоизлияния и/или липидно-некротического ядра.

Следующим этапом проведено сопоставление данных гистологического исследования с результатами ДЭКТ путем выделения области интереса (ROI) на компьютерных томограммах согласно размеченным компонентам атеросклеротической бляшки отдельно для каждого уровня гистологических срезов (рис. 1, 2). При этом фиксировались

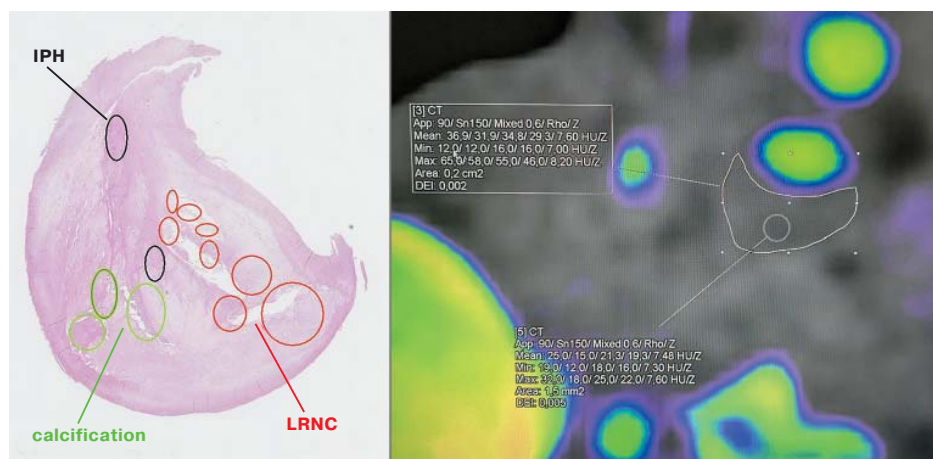


Рис. 1. Слева фото микропрепарата атеросклеротической бляшки с разметкой ключевых компонентов: внутрибляшечное кровоизлияние (IPH-intraplaque hemorrhage) – черным, липидное некротическое ядро (LRNC – lipid-rich necrotic core) – красным, кальцификации – зеленым. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 5$. Справа ДЭКТ в приложении RhoZ, выделена область всего среза атеросклеротической бляшки, округлая зона интереса в области липидного некротического ядра.

Fig. 1. Left – microphotograph of an atherosclerotic plaque with marked key components: intraplaque hemorrhage (IPH – black), lipid-rich necrotic core (LRNC – red), calcifications (green). Staining with hematoxylin and eosin, $\times 5$. Right – DECT image in the RhoZ application with a circular ROI over the lipid-rich necrotic core region.

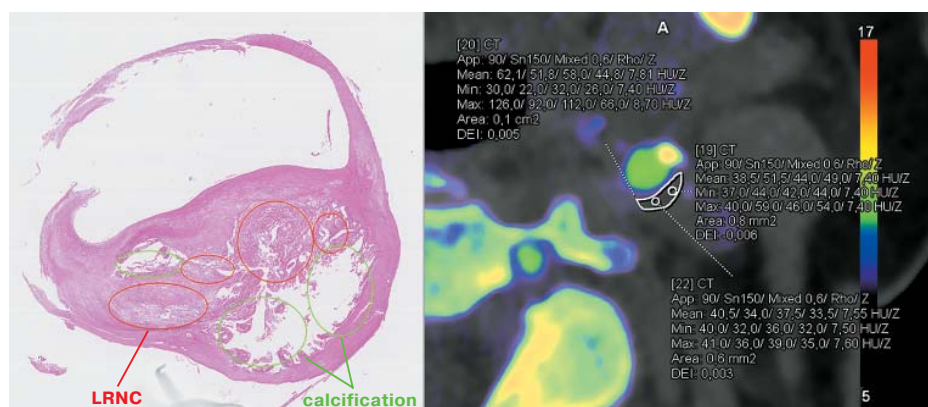
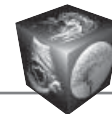


Рис. 2. Слева фото микропрепарата атеросклеротической бляшки с разметкой ключевых компонентов: липидное некротическое ядро (LRNC – lipid-rich necrotic core) – красным, кальцификации – зеленым. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 5$. Справа ДЭКТ в приложении RhoZ, выделена область всего среза атеросклеротической бляшки, окружая зона интереса в области липидного некротического ядра.

Fig. 2. Left – microphotograph of an atherosclerotic plaque with marked key components: lipid-rich necrotic core (LRNC – red), calcifications (green). Staining with hematoxylin and eosin, $\times 5$. Right – DECT image in the RhoZ application with a circular ROI over the lipid-rich necrotic core region.

количественные показатели в области интереса: плотностные характеристики при напряжении на рентгеновской трубке А 90 кВ и на трубке В 150 кВ, максимальный, средний и минимальный Z-effective, DEI.

Статистический анализ полученных результатов проводился с помощью программного обеспечения jamovi 2.4.14. В рамках статистического анализа использовалось параметрическое представление полученных при ДЭКТ величин в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения ($M \pm \sigma$). Для межгруппового сравнения значений указанных параметров в выборках, соответствующих различным компонентам бляшки, применялся дисперсионный анализ с применением критерия Тьюки для оценки парных различий между группами.

Результаты и их обсуждение

В ходе гистологического исследования получено 72 образца срезов атеросклеротических бляшек сонных артерий. При детальном морфологическом анализе на срезах верифицированы ключевые признаки нестабильности: наличие внутрибляшечного кровоизлияния ($n = 8$), липидно-некротического ядра ($n = 28$), а также смешанного компонента с липидным ядром и/или кровоизлиянием ($n = 18$). Также был идентифицирован фиброзный компонент ($n = 18$), рассматриваемый как признак относительной морфологической стабильности.

При анализе и выделении ROI на ДЭКТ-срезах в соответствующих гистологическим срезам об-

ластях получены количественные характеристики компонентов атеросклеротических бляшек (см. рис. 1). В качестве основных параметров использовались плотностные показатели в единицах Хаунсфилда (HU) при напряжении 90 кВ, 150 кВ, а также плотность при усредненном напряжении. Кроме того, использовался максимальный, средний и минимальный эффективный атомный номер (Z-effective). Средние арифметические значения и стандартное отклонение указанных параметров представлены в таблице.

Из таблицы следует, что наибольшими плотностными характеристиками обладает фиброзный компонент, следующим по плотности представлено липидное некротическое ядро и наименьшими плотностными характеристиками обладает внутрибляшечное кровоизлияние, что соотносится с данными исследования L. Saba и соавт., где авторы предложили разделить по плотностным характеристикам бляшки на 4 типов: кальцинированные $>+130$ HU, фиброзные $+60...+130$ HU, липидные $+26...+59$ HU и внутрибляшечное кровоизлияние менее $+25$ HU [13]. Однако при статистической обработке, выполненной с использованием апостериорного критерия Тьюки после дисперсионного анализа, статистически значимых различий между плотностными характеристиками компонентов не получено, но выявлены значимые различия показателя Z-effective у разных компонентов. Установлено, что значения минимального Z-effective были достоверно выше в области фиброзного компонента при попарном сравнении с кровоизлиянием ($p < 0,01$), липидно-некроти-



Таблица. Количественные показатели, полученные при ДЭКТ-ангиографии, для каждого компонента бляшки
Table. Quantitative indexes obtained with DECT angiographic study, as for every component of a plaque

Плотность и уровень поражения Plaque Component	Плотностные показатели			Min Z-effective	Mean Z-effective	Max Z-effective
	при 90 кВ density at 90 kV HU	при 150 кВ density at 150 kV HU	при усредненном 0,5 кВ density at mixed 0,5 kV HU			
На уровне липидного некротического ядра Lipid-rich necrotic core (LRNC)	46.1 (± 3.7)	43 (± 5.0)	44.5 (± 3.5)	7.34 (± 0.05)	7.58 (± 0.06)	7.85 (± 0.1)
На уровне кровоизлияния Intraplaque hemorrhage (IPH)	27 (± 5.2)	21.6 (± 9.1)	25.1 (± 6.6)	7.4 (± 0.07)	7.46 (± 0.07)	7.47 (± 0.1)
На уровне смешанного компонента Mixed component with LRNC/IPH	49.1 (± 8.2)	35 (± 7.5)	43.2 (7.5)	7.62 (± 0.1)	7.71 (± 0.1)	7.79 (± 0.11)
На уровне фиброзного компонента Fibrous component	75.4 (± 14.5)	57.3 (± 9.5)	68.1 (± 11.9)	8.03 (± 0.14)	8.06 (± 0.13)	8.09 (± 0.12)

ческим ядром ($p < 0,001$), а также со смешанными участками, содержащими липидный и/или геморрагический компонент ($p < 0,05$). Это позволяет предположить, что показатель минимального Z-effective может дифференцировать стабильный фиброзный компонент атеросклеротической бляшки от таких нестабильных компонентов, как внутрибляшечное кровоизлияние, липидное-некротическое ядро, а также смешанный компонент, включающий липидный и/или геморрагический компонент.

В то же время при сравнении минимального, среднего и максимального Z-effective между зонами кровоизлияния, липидного ядра и их сочетаний статистически значимых различий выявлено не было. Это может быть обусловлено как ограниченной выборкой указанных подтипов, так и физиологическим сходством их спектральных характеристик в рамках текущего протокола сканирования. Однако так как эти компоненты атеросклеротической бляшки относятся к признакам нестабильности, более значимым является наличие различий между стабильным фиброзным компонентом и компонентами нестабильности.

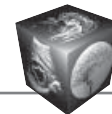
Также был определен оптимальный порог минимального Z-effective $\geq 7,7$, позволяющий дифференцировать стабильный фиброзный компонент от нестабильных компонентов, таких как липидное

ядро, кровоизлияние, а также их сочетания (чувствительность 85,2%, специфичность 88,9%).

Полученные результаты демонстрируют перспективность ДЭКТ-ангиографии для неинвазивной количественной оценки состава атеросклеротических бляшек и, в частности, для различения фиброзных и нестабильных компонентов. Тем не менее частичное перекрытие спектральных профилей некоторых элементов подчеркивает необходимость дальнейшего уточнения диагностических порогов и верификации на расширенной выборке.

Заключение

Двухэнергетическая компьютерная томография является перспективной методикой оценки атеросклероза брахиоцефальных артерий, в том числе структуры бляшки. Полученные результаты демонстрируют возможности двухэнергетической КТ-ангиографии для неинвазивной количественной оценки состава атеросклеротических бляшек и, в частности, для дифференциации стабильного фиброзного компонента и участков с наличием нестабильных компонентов. Тем не менее целесообразны дальнейшие исследования на расширенной выборке для уточнения диагностических порогов для каждого компонента атеросклеротической бляшки.



Участие авторов

Галаяутдинова Л.Э. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Мамедова М.М. – сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи.

Гончарова Е.А. – обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных.

Басек И.В. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Алексеева Д.В. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Митрофанова Л.Б. – участие в научном дизайне.

Труфанов Г.Е. – подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Ванюркин А.Г. – участие в научном дизайне.

Чернявский М.А. – участие в научном дизайне.

Authors' participation

Galyautdinova L.E. – concept and design of the study, conducting research, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Mamedova M.M. – collection and analysis of data, review of publications.

Goncharova E.A. – review of publications, collection and analysis of data.

Basek I.V. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Alekseeva D.V. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Mitrofanova L.B. – participation in scientific design.

Trufanov G.E. – text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Vanyurkin A.G. – participation in scientific design.

Chernyavsky M.A. – participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Feigin V.L., Brainin M., Norrving B. et al. World Stroke Organization: Global Stroke Fact Sheet. *Int. J. Stroke*. 2025; 20 (2): 132–144. <https://doi.org/10.1177/17474930241308142>
2. Zhao H., Lu S., Jie Y. et al. Comprehensive analysis of the ischemic stroke burden at global, regional, and national levels (1990–2021): trends, influencing factors, and future projections. *Front. Neurol.* 2025; 16: 1492691. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1492691>
3. Bonati L.H., Kakkos S., Berkefeld J. et al. European Stroke Organisation guideline on endarterectomy and stenting for carotid artery stenosis. *Eur. Stroke J.* 2021; 6 (2): I–XLVII. <https://doi.org/10.1177/23969873211012121>
4. Короткевич А.А., Семенов С.Е., Малева О.В., Трубникова О.А. Некоторые аспекты кардиocereбральных отношений у хирургических пациентов с мультифокальным атеросклерозом и сердечной недостаточностью. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (2): 101–112. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1048>
5. Korotkevich A.A., Semenov S.E., Maleva O.V., Trubnikova O.A. Some aspects of cardio-cerebral relationships in surgical patients with multifocal atherosclerosis and heart failure. *Meditinskaya vizualizatsiya = Medical Visualization*. 2022; 26 (2): 101–112. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1048> (In Russian)
6. Baradaran H., Gupta A. Extracranial vascular disease: carotid stenosis and plaque imaging. *Neuroimaging Clin. N. Am.* 2021; 31(2): 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2021.02.002>
7. Bos D., van Dam-Nolen D.H.K., Gupta A. et al. Advances in multimodality carotid plaque imaging: AJR expert panel narrative review. *Am. J. Roentgenol.* 2021; 217(1): 16–26. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.24869>
8. Zamani M., Skagen K., Scott H. et al. Advanced ultrasound methods in assessment of carotid plaque instability: a prospective multimodal study. *BMC Neurol.* 2020; 20 (1): 39. <https://doi.org/10.1186/s12883-020-1620-z>
9. Weng S.T., Lai Q.L., Cai M.T. et al. Detecting vulnerable carotid plaque and its component characteristics: progress in related imaging techniques. *Front. Neurol.* 2022; 13: 982147. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.982147>
10. Machida H., Tanaka I., Fukui R. et al. Dual-energy spectral CT: various clinical vascular applications. *Radiographics*. 2016; 36 (4): 1215–1232. <https://doi.org/10.1148/rg.2016150185>
11. Obaid D.R., Calvert P.A., Gopalan D. et al. Dual-energy computed tomography imaging to determine atherosclerotic plaque composition: a prospective study with tissue validation. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2014; 8 (3): 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2014.04.007>
12. Aizaz M., Bierens J., Gijbels M.J.J. et al. Differentiation of atherosclerotic carotid plaque components with dual-energy computed tomography. *Invest. Radiol.* 2025; 60 (8): 508–516. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000001153>
13. Чернявский М.А., Иртыга О.Б., Янишевский С.Н., Алиева А.С., Самочерных К.А., Абрамов К.Б., Вавилова Т.В., Лукьянчиков В.А., Курапеев Д.И., Ванюркин А.Г., Чернова Д.В., Шелуханов Н.К., Козленок А.В., Кавтеладзе З.А., Малеванный М.В., Виноградов Р.А., Хафизов Т.Н., Иванова Г.Е., Жуковская Н.В., Фокин А.А., Игнатьев И.М., Карпенко А.А., Игнатенко П.В., Астапов Д.А., Семенов В.Ю., Порханов В.А., Крылов В.В., Усачев Д.Ю., Светликов А.В., Алекаян Б.Г., Акчурин Р.С., Чернявский А.М., Конради А.О., Шляхто Е.В. Российский консенсус по диагностике и лечению пациентов со стенозом сонных артерий. *Российский кардиологический журнал*. 2022; 27 (11): 5284. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-5284>
14. Chernyavskiy M.A., Irtyuga O.B., Yanishevskiy S.N. et al. Russian consensus on the diagnosis and treatment of patients with carotid artery stenosis. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2022; 27 (11): 5284. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-5284> (In Russian)
15. Saba L., Micheletti G., Brinjikji W. et al. Carotid intraplaque-hemorrhage volume and its association with cerebrovascular events. *Am. J. Neuroradiol.* 2019; 40 (10): 1731–1737. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6189>



Для корреспонденции*: Галаяутдинова Лина Эриковна – e-mail: Lina_erikovna@mail.ru

Галаяутдинова Лина Эриковна – аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-5607-8550>. Email: Lina_erikovna@mail.ru

Мамедова Милена Мовлюдовна – студентка факультета “лечебное дело” Института медицинского образования ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0007-3540-6624>

Гончарова Екатерина Андреевна – старший лаборант кафедры патологической анатомии с клиникой ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4856-7976>

Басек Илона Владимировна – канд. мед. наук, заведующая отделом лучевой диагностики ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4442-7228>

Алексеева Дарья Владимировна – заведующая отделением лучевой диагностики №1 ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-9528-9377>

Митрофанова Любовь Борисовна – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории патоморфологии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-0735-7822>

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

Ванюркин Алмаз Гафурович – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сосудистой и гибридной хирургии, врач сердечно-сосудистый хирург ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-8209-9993>

Чернявский Михаил Александрович – заведующий НИО сосудистой и интервенционной хирургии, главный научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-1214-0150>

Contact*: Lina E. Galyautdinova – e-mail: Lina_erikovna@mail.ru

Lina E. Galyautdinova – PhD Student, Department of Radiology and Medical Imaging, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-5607-8550>. Email: Lina_erikovna@mail.ru

Milena M. Mamedova – medical student, Faculty of General Medicine, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0009-0007-3540-6624>

Ekaterina A. Goncharova – Senior Laboratory Assistant of the Department of Pathological Anatomy with Clinical Course, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4856-7976>

Ilona V. Basek – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiology, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4442-7228>

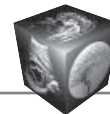
Darya V. Alekseeva – Head of Radiation Diagnostics Department № 1, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-9528-9377>

Lyubov B. Mitrofanova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher at the Pathomorphology Research Laboratory, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-0735-7822>

Gennadii E. Trufanov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Radiology and Medical Visualisation Department, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

Almaz G. Vanyurkin – Junior researcher at the Research Laboratory of Vascular and Hybrid Surgery, doctor-cardiovascular surgeon, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-8209-9993>

Mihail A. Chernyavskiy – Head of the Research Department of Vascular and Interventional Surgery, Chief Researcher, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-1214-0150>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1590>



Диагностические возможности магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике феохромоцитомы надпочечников

© Хайриева А.В. *, Тарбаева Н.В., Манаев А.В.,
Трошина Е.А., Мельниченко Г.А., Мокрышева Н.Г.

ГНЦ РФ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии им. академика И.И. Дедова”
Минздрава России; 117292 Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11, Российская Федерация

Введение. Дифференциальная диагностика феохромоцитомы и аденомы надпочечника крайне важна для определения тактики ведения пациента и планирования оперативного вмешательства. Лабораторных показателей и данных компьютерной томографии в ряде случаев недостаточно для постановки точного диагноза. В нашем исследовании мы стремились оценить возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике феохромоцитомы надпочечников.

Цель исследования: оценка возможностей использования мультипараметрической магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике феохромоцитомы надпочечников.

Материал и методы. В исследование включено 69 пациентов с образованиями надпочечников, которым впоследствии выполнялось хирургическое вмешательство по поводу клинически злокачественного потенциала опухоли или ее гормональной активности. Всем пациентам проводилась мультипараметрическая магнитно-резонансная томография. В рамках постобработки оценивалась интенсивность сигнала образований надпочечников на различных сериях, проводился расчет индексов интенсивности сигнала от образований, в том числе в сравнении с селезенкой и мышцами, для оценки различий этих показателей у феохромоцитом и других образований надпочечников.

Результаты. Для феохромоцитом характерны следующие пороговые значения: индекс интенсивности сигнала от образования на T2-ВИ по сравнению с мышцами (T2 index) > 2,630, индекс интенсивности сигнала от образования в режиме двойного эхо (SI index) < 16,600, индекс химического сдвига по сравнению с селезенкой (ASR) > 0,840.

Заключение. Каждый из исследованных параметров имел ряд исключений и ограничений, поэтому результаты данного исследования и предложенные пороговые значения необходимы для подтверждения в будущих многоцентровых исследованиях, которые могли бы обеспечить более точную дифференциальную диагностику образований надпочечников в клинической практике.

Ключевые слова: мультипараметрическая магнитно-резонансная томография надпочечников; индекс интенсивности сигнала; феохромоцитома

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Хайриева А.В., Тарбаева Н.В., Манаев А.В., Трошина Е.А., Мельниченко Г.А., Мокрышева Н.Г. Диагностические возможности магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике феохромоцитомы надпочечников. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 41–48.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1590>

Поступила в редакцию: 26.07.2025. **Принята к печати:** 14.01.2026. **Опубликована online:** 12.02.2026.



Diagnostic capabilities of magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of adrenal pheochromocytoma

© Angelina V. Khairieva*, Natalia V. Tarbaeva, Almaz V. Manaev, Ekaterina A. Troshina, Galina A. Melnichenko, Natalia G. Mokrysheva

National Medical Research Center of Endocrinology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 11, Dmitry Ulyanov str., Moscow 117292, Russian Federation

Introduction. Differential diagnosis of pheochromocytoma from adrenal adenoma is extremely important at the stage of planning surgical intervention. In some cases, laboratory data and computed tomography (CT) are insufficient for making an accurate diagnosis. In our study, we aimed to evaluate the possibilities of magnetic resonance imaging in the diagnosis of adrenal pheochromocytoma.

Aim. Evaluation of the possibilities of using multiparametric magnetic resonance imaging in the differential diagnostic of adrenal pheochromocytoma.

Materials and Methods. The study included 69 patients with adrenal gland tumors who underwent surgery due to the clinically malignant potential of the tumor or its hormonal activity. All patients underwent multiparametric magnetic resonance imaging. During the postprocessing, the signal intensity of the adrenal gland tumors, signal intensity indices (including in comparison with the spleen and muscles) were evaluated in various series in order to assess the differences between these indicators in pheochromocytomas and other adrenal gland tumors.

Results. Pheochromocytomas are characterized by the following thresholds: signal intensity index on T2-weighted lesion compared to the muscles (T2 index) > 2.630; signal intensity index on dual-echo series (SI index) < 16.600, chemical shift index compared to the spleen (ASR) > 0.840.

Conclusions. Each of the studied parameters had a number of exceptions and limitations, therefore, the results of this study and the proposed thresholds are necessary for confirmation in future multicenter studies that could provide a more accurate differential diagnosis of adrenal gland tumors in clinical practice.

Keywords: multiparametric magnetic resonance imaging of the adrenal glands; signal intensity index; pheochromocytoma

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

For citation: Khairieva A.V., Tarbaeva N.V., Manaev A.V., Troshina E.A., Melnichenko G.A., Mokrysheva N.G. Diagnostic capabilities of magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of adrenal pheochromocytoma. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 41–48. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1590>

Received: 26.07.2025.

Accepted for publication: 14.01.2026.

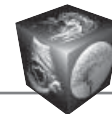
Published online: 12.02.2026.

Введение

Опухоли надпочечников диагностируются у 5–7% взрослого населения [1], наиболее часто выявляются гормонально-неактивные аденомы, которые встречаются у 1% здоровых людей [2]. Однако среди них встречаются образования, требующие дополнительного обследования и специфического лечения (например, альдостерон- и кортизонпродуцирующие аденомы, феохромоцитомы, карциномы или метастазы) [3, 4]. Основной клинической проблемой является подтверждение гормональной активности выявленных образований [5]. В большинстве случаев феохромоцитому можно диагностировать по специфической клинической симптоматике, но в ряде случаев она может протекать бессимптомно [6, 7]. Несмотря на то что феохромоцитомы составляют менее 5% всех

образований надпочечников, чрезвычайно важно точно дифференцировать феохромоцитому от других образований надпочечников для правильного планирования лечения пациента [8] ввиду высокой смертности и частых осложнений со стороны сердечно-сосудистой системы [9, 10].

“Золотым стандартом” диагностики феохромоцитомы является подтверждение гормональной активности образования при анализе на катехоламины и их метаболиты [1, 5, 11]. Однако измерение этих гормонов и их метаболитов является достаточно дорогостоящим и трудоемким процессом, который может быть затруднен из-за приема различных лекарств, особенностей питания [12], нарушения техники сбора анализа и выбора консерванта. Кроме того, результаты анализов в ряде случаев могут быть ложноотрицательными или



ложноположительными [13]. Поэтому различные методы визуализации образований надпочечников чрезвычайно важны в клинической практике и играют крайне значимую роль в диагностике феохромоцитомы, особенно в тех случаях, когда результаты лабораторных исследований оказываются ложноположительными.

Для диагностики феохромоцитомы наиболее широко используются рентгенологические методы исследования, которые позволяют с высокой точностью ее диагностировать [14–17]. Согласно множеству исследований, компьютерная томография (КТ) с оценкой вымывания контрастного препарата имеет важное практическое значение в дифференциальной диагностике аденом от других образований [17–19]. Однако зачастую встречаются феохромоцитомы, характеризующиеся быстрым вымыванием контрастного препарата, что осложняет дифференциацию аденом и феохромоцитом по данным КТ [19–21]. В ряде случаев на основании критериев вымывания был поставлен ошибочный диагноз аденомы с низким содержанием липидов вместо феохромоцитомы [19, 20].

Диагностика аденом надпочечников по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) основывается на оценке наличия жира в аденомах с высоким содержанием жира, в том числе путем выполнения серий в режиме Dual-echo [22, 23]. Однако сообщается, что примерно 30% аденом составляют аденомы с низким содержанием жира [24], что затрудняет их дифференциальную диагностику с другими образованиями. Предыдущие исследования показали, что феохромоцитомы, как правило, имеют более высокий сигнал на T2-взвешенных изображениях (ВИ) по сравнению с аденомами [25]. Тем не менее в 30% случаев феохромоцитомы не имеют характерного гиперинтенсивного сигнала на T2-ВИ [26]. Таким образом, необходимо было оценить интенсивность сигнала феохромоцитом на различных сериях МР-томограмм, сравнить полученные показатели с аденомами и сформулировать выводы относительно возможностей мультипараметрической МРТ в дифференциальной диагностике феохромоцитом.

Цель исследования: оценка возможностей мультипараметрической МРТ в дифференциальной диагностике феохромоцитомы надпочечников.

Материал и методы

В исследование включено 69 пациентов с образованиями надпочечников, из них с феохромоцитомами составили 28, аденомами – 41.

МР-исследования проводились в период с января 2023 г. по декабрь 2024 г. Критерии включения были следующие: гистологически подтвержденная аденома/феохромоцитома, проведенная до оперативного вмешательства мультипараметрическая МРТ надпочечников, наличие анализов на катехоламины. Максимальный размер образований составил: феохромоцитомы – 62 мм, аденомы – 39 мм.

Мультипараметрическое МР-исследование выполнялось на МР-томографе GE SIGNA Pioneer 3 Тл (General Electric, GE Healthcare) с обязательным проведением следующих последовательностей: T2-ВИ, двойное эхо (dual-echo in-phase/out-phase).

Все МР-изображения были независимо проанализированы двумя рентгенологами. Расхождения в значениях обсуждались коллегиально до достижения консенсуса. Оценке подлежали следующие параметры:

– индекс интенсивности сигнала от образования на T2-ВИ по сравнению с мышцами (далее T2 index) [27], для этого использовалась следующая формула:

$$SI \text{ образования} / SI \text{ мышцы}.$$

Это позволило нивелировать различие значений интенсивности сигнала при различных параметрах сканирования. Для измерения интенсивности сигнала от мышц ROI размером 5 мм устанавливалась на мышцу на уровне образования;

– индекс интенсивности сигнала от образования в режиме двойного эхо (далее SI index) [27] по формуле:

$$\frac{(SI \text{ образования на in-phase} - SI \text{ образования на out-phase})}{SI \text{ образования на in-phase} \times 100},$$

– индекс химического сдвига по сравнению с селезенкой (далее ASR) [28] по формуле:

$$\frac{(SI \text{ образования надпочечника на out-phase} / SI \text{ селезенки на out-of-phase})}{(SI \text{ образования надпочечника на in-phase} / SI \text{ селезенки на in-phase})}.$$

Описанные параметры измерялись на аксиальных изображениях. В случае гомогенных образований ROI устанавливалась на все образование с целью захватить как можно больший его объем (см. рисунок). В случае гетерогенных образований ROI устанавливалась только на солидный компонент образования, максимально захватывая его

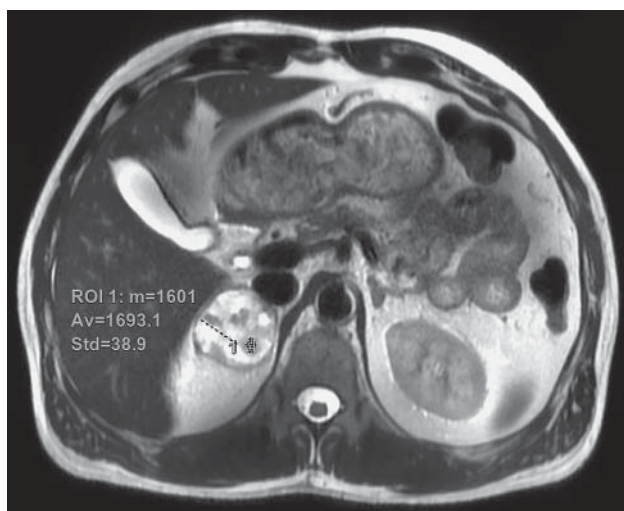


Рисунок. Образец установки ROI на образование неоднородной структуры (слева), однородной структуры (справа). Изображения получены в режиме T2-ВИ. Слева – феохромоцитома правого надпочечника, ROI установлена на солидный компонент образования. Справа – светлоклеточная аденома левого надпочечника, ROI установлена на весь видимый участок образования на аксиальном срезе.

Figure. Example of setting the ROI on a heterogeneous structure (left) and a homogeneous structure (right). The images were obtained in T2WI mode. On the left, there is a right adrenal pheochromocytoma, and the ROI is set on the solid component of the tumor. On the right, there is a left adrenal clear-cell adenoma, and the ROI is set on the entire visible area of the tumor on the axial slice.

объем, исключая зону кистозного компонента. Для измерения интенсивности сигнала от селезенки ROI размером 15 мм устанавливалась на паренхиму селезенки на уровне образования.

В рамках однофакторного анализа данных сравнивали группы аденом и феохромоцитом по признакам МРТ-изображений с применением теста Манна–Уитни. Также проводили ROC-анализ с определением AUC, чувствительности, специфичности, прогностической ценности положительного (PPV) и отрицательного (NPV) результатов при пороговом значении (cut-off), соответствующем максимальному значению индекса Юдена. Оценка 95% доверительного интервала проведена с применением бутстрапа с количеством выборок, рав-

ным 1000. Уровень значимости – 0,05. Статистический анализ проводили с применением языка программирования Python 3.9.21.

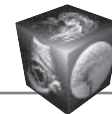
Результаты исследования

Для того чтобы охарактеризовать распределение характеристик изображений МРТ-изображений в каждой группе (по диагнозам), определили медиану и межквартильный размах для непрерывных признаков, для категориального признака (пол) – частоту. Для анализа различий в клинических данных среди диагнозов использовали критерий χ^2 для категориальных данных, тест Краскела–Уоллиса для непрерывных. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Описательная статистика и результаты статистических тестов для образований надпочечников

Table 1. Descriptive statistics and statistical test results for adrenal gland tumors

Диагноз Diagnosis	Количество женщин Number of women	Общее количество пациентов Total number of patients	Медиана возраста (межквартильный интервал), годы Median age (interquartile range), years
Аденома Adenoma	27	41	50.6 (42.3–64.0)
Феохромоцитома Pheochromocytoma	22	28	42.6 (30.1–50.9)



При проведении статистических тестов для пола получили $p = 0,383$, для возраста $p = 0,019$. Вероятно, полученный значимый результат в наличии различий между диагнозами и возрастом связан с небольшим размером выборки, поэтому данную находку следует интерпретировать как ошибку второго рода.

Однофакторный анализ характеристик МРТ-изображений

Результаты проведения тестов Манна–Уитни приведены в табл. 2. Все рассматриваемые показатели характеризуются статистической значимостью с $p < 0,001$ и высокой величиной эффекта с $AUC > 0,9$. Пороговые значения для феохромоцитом составили: T2 index $> 2,630$, SI index $< 16,600$, ASR $> 0,840$.

Значения T2 index для феохромоцитом в среднем выше, чем у аденом (диапазон значений T2 index для феохромоцитом 2,5–10,13). Также для феохромоцитом характерно более компактное распределение значений SI index в пределах от 0 до 15, в среднем с более низкими значениями в

сравнении с аденомами. Аденомы же характеризуются в среднем большими значениями, но значительно большим размахом SI index. Ситуация с признаком ASR похожа на ситуацию с SI index: также значения признака для аденом характеризуются меньшими значениями, но большим размахом значений, чем для феохромоцитом.

Медианы и межквартильные интервалы показателей изображений МРТ для рассматриваемых диагнозов приведены в табл. 3.

Обсуждение

МРТ используется для диагностики феохромоцитомы надпочечников в клинической практике реже, чем КТ, тем не менее в ряде исследований описывались МР-признаки, более характерные для феохромоцитом, чем для других образований надпочечников. В нашей работе мы исследовали характеристики феохромоцитом и аденом надпочечников по данным мультипараметрической МРТ.

Согласно данным исследований, феохромоцитомы характеризуются более высоким сигналом на T2-ВИ по сравнению с аденомами [29]. J.C. Varghese

Таблица 2. Результаты тестов Манна–Уитни и ROC-анализа для задачи дифференциальной диагностики аденом и феохромоцитом

Table 2. The results of Mann–Whitney tests and ROC analysis for the differential diagnosis of adenomas and pheochromocytomas

Признак Sign	AUC (95% CI)	Чувствительность Sensitivity (95% CI)	Специфичность Specificity (95% CI)	PPV (95% CI)	NPV (95% CI)	Cut-off, для феохромоцитомы больше или меньше Cut-off, for pheochromocytoma more or less	p-value
T2 index	0.972 (0.922–1.000)	0.929 (0.893–1.000)	0.976 (0.854–1.000)	0.963 (0.824–1.000)	0.952 (0.930–1.000)	2.630. >	<0.001
SI index	0.941 (0.868–0.994)	1.000 (0.923–1.000)	0.878 (0.780–0.976)	0.839 (0.743–0.963)	1.000 (0.950–1.000)	16.600. <	<0.001
ASR	0.936 (0.865–0.991)	1.000 (0.923–1.000)	0.829 (0.714–0.971)	0.812 (0.722–0.963)	1.000 (0.939–1.000)	0.840. >	<0.001

Таблица 3. Медианы и межквартильные интервалы показателей МРТ-изображений

Table 3. Medians and interquartile ranges of MRI image indicators

Диагноз Diagnosis	Медиана (межквартильный интервал) Median (interquartile range)		
	T2 index	SI index	ASR
Аденома Adenoma	1.79 (1.50–2.01)	55.70 (34.30–68.10)	0.48 (0.37–0.70)
Феохромоцитомы Pheochromocytoma	3.29 (3.13–3.82)	4.65 (2.56–7.54)	1.03 (0.98–1.05)



и соавт. были первыми, кто оценил интенсивность сигнала феохромоцитом и аденом надпочечников на T2-ВИ, показав, что большинство аденом имеет низкий сигнал на T2-ВИ [26]. Как известно, очень высокая интенсивность сигнала на T2-ВИ является характерным признаком феохромоцитомы; тем не менее примерно 30% феохромоцитом имеет низкий сигнал на T2-ВИ [30].

Нужно отметить, что различие в интенсивности сигнала может быть обусловлено настраиваемыми параметрами исследования. Чтобы нивелировать эти различия, нами был рассчитан индекс интенсивности сигнала образования на T2-ВИ (T2 index) относительно мышц. T2 index для феохромоцитом показал более высокие результаты, чем для аденом. Диапазон значений для феохромоцитом составил 2,5–10,1, для аденом – 0,85–2,38.

Согласно данным исследований, SI index > 16,5% и ASR < 0,71 характерны для аденом [28]. Полученные нами данные не противоречат описанным исследованиям, подавляющее большинство аденом действительно имело SI index > 16,5%, ASR < 0,71. Однако сообщается, что порог SI index 16,5% подходит для томографов с магнитным полем 1,5 Тл, для томографов с магнитным полем 3 Тл порог SI index ниже 16,5%. По нашим данным, диапазон SI index для аденом составил от 34,30–76,2%, диапазон для феохромоцитом – 2,40–6,50%, диапазон ASR для аденом составил 0,36–0,70, для феохромоцитом – 0,98–1,05. Несмотря на корреляцию SI index феохромоцитом и аденом, достоверно дифференцировать эти образования только по этому критерию не представляется возможным, так как было установлено, что данный индекс не применим у аденом с низким содержанием жира, плотность которых по данным КТ превышает 20 ед.Н.

Заключение

Диапазон значений T2-ВИ (T2 index) для феохромоцитом для томографа с магнитным полем 3 Тл составил 2,5–10,1, для аденом – 0,85–2,38, диапазон SI index феохромоцитом составил 2,40–6,50%, для аденом – 34,30–76,2%, диапазон ASR для феохромоцитом составил 0,98–1,05, для аденом – 0,36–0,70.

Данное исследование имеет ряд ограничений:

- небольшой объем выборки (ввиду достаточно строгих критериев отбора);
- исследование является одноцентровым, что ограничивает широкое применение результатов и требует проверки полученных данных в других учреждениях;

– мы не устанавливали влияние неоднородности структуры образования на исследуемые показатели, хотя и пытались нивелировать это путем стандартизации измерений, но исследовали более широкий спектр параметров, чем в ранее проведенных исследованиях;

– мы не учитывали влияние размера образования, пола, этнической принадлежности и других факторов на результаты измерений.

Согласно результатам исследования, признаки T2 index, SI index, ASR характеризуются высокой диагностической эффективностью для дифференцировки аденом и феохромоцитом (AUC > 0,9). Каждый из параметров имел ряд исключений и ограничений (аденомы с низким содержанием жира, пересечение с интервалом значений для разных образований и т.д.).

Результаты этого исследования могут быть использованы только в качестве дополнительного метода к стандартным методам диагностики для повышения точности диагностики феохромоцитомы. Результаты данного исследования и предложенные пороговые значения необходимы для подтверждения в будущих многоцентровых исследованиях, которые могли бы обеспечить более точную дифференциальную диагностику образований надпочечников в клинической практике.

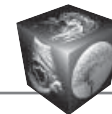
Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования – Н.В. Тарбаева; сбор и анализ данных – А.В. Манаев; подготовка рукописи – А.В. Хайриева.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution – NVT; aided in the concept and plan of the study – AVM; preparation of the manuscript – AVKh.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики: одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента.



Adherence to ethical standards: the approval of the ethics committee was not required. Informed consent has been obtained from each patient.

Список литературы [References]

1. Glazer D.I., Mayo-Smith W.W. Management of incidental adrenal masses: an update. *Abdominal Radiology*. 2020; 45 (4): 892–900. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02149-2>
2. Араблинский А.В., Румер В.Б. Лучевая диагностика заболеваний надпочечников – современный взгляд на проблему. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (2): 21–41. <https://doi.org/10.24835/10.24835/1607-0763-995>
3. Араблинский А.В., Румер В.Д. Адrenal radiology diagnostics – modern review. *Medical Visualization*. 2021; 25 (2): 21–41. <https://doi.org/10.24835/10.24835/1607-0763-995> (In Russian)
3. Араблинский А.В. Диагностика заболеваний надпочечников с помощью КТ и МРТ. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2024. ISBN 978-5-9704-8332-9. <https://doi.org/10.33029/9704-8332-9-DIA-2024-1-88>
4. Arablinsky A.V. Diagnosis of adrenal diseases using CT and MRI. Moscow: GEOTAR-Media, 2024. ISBN 978-5-9704-8332-9. <https://doi.org/10.33029/9704-8332-9-DIA-2024-1-88> (In Russian)
4. Fassnacht M., Arit W., Bancos I. et al. Management of adrenal incidentalomas: European Society of Endocrinology Clinical Practice Guideline in collaboration with the European Network for the study of adrenal tumors. *Eur. J. Endocrinol.* 2016; 175 (2): G1–G34. <https://doi.org/10.1530/EJE-16-0467>
5. Araujo-Castro M., Iturregui Guevara M., Calatayud Gutierrez M. et al. Practical guide on the initial evaluation, follow-up, and treatment of adrenal incidentalomas adrenal diseases Group of the Spanish Society of Endocrinology and Nutrition. *Endocrinol. Diabetes Nutr. (Engl. Ed.)*. 2020; 67 (6): 408–419. <https://doi.org/10.1016/j.endien.2020.08.010>
6. Young W.F. Management approaches to adrenal incidentalomas: a view from Rochester, Minnesota. *Endocrinol. Metab. Clin. N. Am.* 2000; 29 (1): 159–185. [https://doi.org/10.1016/S0889-8529\(05\)70122-5](https://doi.org/10.1016/S0889-8529(05)70122-5)
7. Motta-Ramirez G.A., Remer E.M., Herts B.R. et al. Comparison of CT findings in symptomatic and incidentally discovered pheochromocytomas. *Am. J. Roentgenol.* 2005; 185 (3): 684–688. <https://doi.org/10.2214/ajr.185.3.01850684>
8. Paschou S.A., Vryonidou A., Goulis D.G. Adrenal incidentalomas: a guide to assessment, treatment and follow-up. *Maturitas*. 2016; 92: 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2016.07.017>
9. Stolk R.F., Bakx C., Mulder J. et al. Is the excess Cardiovascular morbidity in Pheochromocytoma related to blood pressure or to catecholamines? *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2013; 98 (3): 1100–1106. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-3669>
10. Khorram-Manesh A., Ahlman H., Nilsson O. et al. Mortality associated with pheochromocytoma in a large Swedish cohort. *Eur. J. Surg. Oncol.* 2004; 30 (5): 556–559. <https://doi.org/10.1016/j.ejso.2004.03.006>
11. Kebebew E. Adrenal incidentaloma. *N. Engl. J. Med.* 2021; 384 (16): 1542–1551. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2031112>
12. Bokuda K., Yatabe M., Seki Y., Ichihara A. Clinical factors affecting spot urine fractionated metanephrines in patients suspected pheochromocytoma/paraganglioma. *Hypertens. Res.* 2020; 43 (6): 543–549. <https://doi.org/10.1038/s41440-020-0406-4>
13. Sawka A.M., Prebtani A.P., Thabane L. et al. A systematic review of the literature examining the diagnostic efficacy of measurement of fractionated plasma free metanephrines in the biochemical diagnosis of pheochromocytoma. *BMC Endocr. Disord.* 2004; 4 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1186/1472-6823-4-2>
14. Kang S., Oh Y.L., Park S.Y. Distinguishing pheochromocytoma from adrenal adenoma by using modified computed tomography criteria. *Abdom. Radiol.* 2021; 46 (3): 1082–1090. <https://doi.org/10.1007/s00261-020-02764-4>
15. Mohammed M.F., ElBanna K.Y., Ferguson D. et al. Pheochromocytomas versus adenoma: role of venous phase CT enhancement. *Am. J. Roentgenol.* 2018; 210 (5): 1073–1078. <https://doi.org/10.2214/AJR.17.18472>
16. Northcutt B.G., Raman S.P., Long C. et al. MDCT of adrenal masses: can dual-phase enhancement patterns be used to differentiate adenoma and pheochromocytoma? *Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (4): 834–839. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9753>
17. Northcutt B.G., Trakhtenbroit M.A., Gomez E.N. et al. Adrenal adenoma and pheochromocytoma: comparison of multidetector CT venous enhancement levels and washout characteristics. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2016; 40 (2): 194–200. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000343>
18. Patel J., Davenport M.S., Cohan R.H., Caoili E.M. Can established CT attenuation and washout criteria for adrenal adenoma accurately exclude pheochromocytoma? *Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (1): 122–127. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9620>
19. Woo S., Suh C.H., Kim S.Y. et al. Pheochromocytoma as a frequent false-positive in adrenal washout CT: a systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (3): 1027–1036. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5076-5>
20. Park B.K., Kim C.K., Kwon G.Y., Kim J.H. Re-evaluation of pheochromocytomas on delayed contrast-enhanced CT: washout enhancement and other imaging features. *Eur. Radiol.* 2007; 17 (11): 2804–2809. <https://doi.org/10.1007/s00330-007-0695-x>
21. Park B.K., Kim B., Ko K. et al. Adrenal masses falsely diagnosed as adenomas on unenhanced and delayed contrast-enhanced computed tomography: pathological correlation. *Eur. Radiol.* 2006; 16 (3): 642–647. <https://doi.org/10.1007/s00330-005-0017-0>
22. Bilbey J.H., McLoughlin R.F., Kurkjian P.S. et al. MR imaging of adrenal masses: value of chemical-shift imaging for distinguishing adenomas from other tumors. *Am. J. Roentgenol.* 1995; 164 (3): 637–642. <https://doi.org/10.2214/ajr.164.3.7863885>
23. Mitchell D.G., Crovella M., Matteucci T. et al. Benign Adrenocortical masses – diagnosis with Chemical-Shift MR Imaging. *Radiology*. 1992; 185 (2): 345–351. <https://doi.org/10.1148/radiology.185.2.1410339>



24. Schieda N., Siegelman E.S. Update on CT and MRI of adrenal nodules. *Am. J. Roentgenol.* 2017; 208 (6): 1206–1217. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17758>
25. Schieda N., Alrashed A., Flood T.A. et al. Comparison of quantitative MRI and CT washout analysis for differentiation of adrenal pheochromocytoma from adrenal adenoma. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 206 (6): 1141–1148. <https://doi.org/10.2214/AJR.15.15318>
26. Varghese J.C., Hahn P.F., Papanicolaou N. et al. MR differentiation of pheochromocytoma from other adrenal lesions based on qualitative analysis of T2 relaxation times. *Clin. Radiol.* 1997; 52 (8): 603–606. [https://doi.org/10.1016/S0009-9260\(97\)80252-8](https://doi.org/10.1016/S0009-9260(97)80252-8)
27. Huang R., Lin T., Chen M. et al. Diagnostic performance of magnetic resonance imaging features to differentiate adrenal pheochromocytoma from adrenal tumors with positive biochemical testing results. *BMC Med. Imaging.* 2024; 24: 175. <https://doi.org/10.1186/s12880-024-01350-0>
28. Seo J.M., Park B.K., Park S.Y., Kim C.K. Characterization of lipid-poor adrenal adenoma: chemical-shift MRI and washout CT. *Am. J. Roentgenol.* 2014; 202 (5): 1043–1050. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.11389>
29. Gerson R., Tu W., Abreu-Gomez J. et al. Evaluation of the T2-weighted (T2W) adrenal MRI calculator to differentiate adrenal pheochromocytoma from lipid-poor adrenal adenoma. *Eur. Radiol.* 2022; 32 (12): 8247–8255. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08867-4>
30. Leung K., Stamm M., Raja A., Low G. Pheochromocytoma: the Range of appearances on Ultrasound, CT, MRI, and functional imaging. *Am. J. Roentgenol.* 2013; 200 (2): 370–378. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9126>

Для корреспонденции*: Хайриева Ангелина Владимировна – e-mail: komarito@mail.ru

Хайриева Ангелина Владимировна – врач-рентгенолог ФГБУ “НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6758-5918>. E-mail: komarito@mail.ru

Тарбаева Наталья Викторовна – канд. мед. наук, руководитель референс-центра лучевых методов диагностики, заведующая отделением компьютерной и магнитно-резонансной томографии ФГБУ “НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7965-9454>. E-mail: ntarbaeva@inbox.ru

Манаев Алмаз Вадимович – медицинский физик ФГБУ “НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0003-8035-676X>. E-mail: a.manaew2016@yandex.ru

Трошина Екатерина Анатольевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора Центра, директор Института клинической эндокринологии ФГБУ “НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8520-8702>. E-mail: troshina@inbox.ru

Мельниченко Галина Афанасьевна – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора Центра по научной работе ФГБУ “НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5634-7877>. e-mail: teofrast2000@mail.ru

Мокрышева Наталья Георгиевна – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор Центра, заведующая кафедрой персонализированной и трансляционной медицины, научный руководитель отделения патологии околощитовидных желез и нарушений минерального обмена ФГБУ “НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9717-9742>. E-mail: mokrisheva.natalia@endocrincenr.ru

Contact*: Angelina V. Khairieva – e-mail: komarito@mail.ru

Angelina V. Khairieva – Radiologist, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6758-5918>. E-mail: komarito@mail.ru

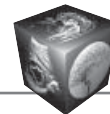
Natalia V. Tarbaeva – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Reference-center of Radiation Diagnostic Methods, Head of the Department of Computer and Magnetic Resonance Imaging, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7965-9454>. E-mail: ntarbaeva@inbox.ru

Almaz V. Manaev – Medical physicist, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0009-0003-8035-676X>. E-mail: a.manaew2016@yandex.ru

Ekaterina A. Troshina – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director, Director of the Clinical endocrinology institute, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8520-8702>. E-mail: troshina@inbox.ru

Galina A. Melnichenko – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy director for Research, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5634-7877>. e-mail: teofrast2000@mail.ru

Natalia G. Mokrysheva – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doct of Sci. (Med.), Professor; Director of the Center, Head of the Department of Personalized and Translational Medicine, Scientific Director of the Department of Pathology of the Parathyroid Glands and Disorders of Mineral Metabolism, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9717-9742>. E-mail: mokrisheva.natalia@endocrincenr.ru



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1571>



Новые возможности постуральной рентгенографии позвоночника

© Орел А.М.*

Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы; 105120 Москва, ул. Земляной Вал, д. 53, Российская Федерация

Цифровая рентгенография решила центральную проблему лучевой нагрузки на пациента. Помимо этого, в силу высокой чувствительности цифрового детектора значительно возросло качество получаемых изображений. Совокупность этих характеристик позволила сделать получение единого изображения всего позвоночника на одном снимке рутинной задачей. Рентгенограммы позвоночника делаются при вертикальном положении пациента, потому они получили название “постуральная рентгенография”. Ценность данных изображений состоит в том, что на них, помимо морфологических особенностей, получают отображение положения каждого позвонка, отдела и позвоночника в целом, что широко используется в целях прогноза ортопедических хирургических вмешательств. Метод системного анализа рентгенограмм позвоночника позволяет зарегистрировать эти данные на едином протоколе исследования.

Цель исследования: продемонстрировать возможности постуральной рентгенографии и системного анализа рентгенограмм позвоночника для исследования морфологических особенностей и положения позвонков одновременно всех отделов позвоночника.

Ключевые слова: позвоночник; постуральная рентгенография позвоночника; системный анализ рентгенограмм позвоночника

Этическая экспертиза. Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией (принята в июне 1964 г., пересмотрена в октябре 2013 г.), от каждого участника исследования было получено информированное согласие.

Источник финансирования. Исследование не финансировалось каким-либо источником.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Орел А.М. Новые возможности постуральной рентгенографии позвоночника. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 49–60. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1571>

Поступила в редакцию: 01.06.2025. **Принята к печати:** 05.12.2025. **Опубликована online:** 11.02.2026.

New possibilities of postural spine radiography

© Aleksander M. Orel*

S.I. Spasokukotsky Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine; 53, Zemlyanoi Val str., Moscow 105120, Russian Federation

Digital radiography has solved the central problem of patient's radiation exposure. In addition, due to the high sensitivity of digital detector, the quality of the images obtained has significantly increased. The combination of the characteristics made it possible to obtain a single image of the entire spine as routine task. Spine radiographs are made with the patient in an upright position, so this investigation has called “postural radiography”. The value of these images lies in the fact that, in addition to morphological features, they display the position of each vertebra, spine part, and a spine as a whole. It is widely used for the purpose of prognosis of orthopedic surgical interventions. The method of spine radiograph system analysis allows to register the data on a single examination protocol.

The purpose of this work was to demonstrate the possibilities of postural radiography and system analysis of spinal radiographs to study the morphological features and vertebra positions of all spine parts simultaneously.



Keywords: spine; postural radiography of the spine; system analysis of spine radiographs

Ethical expertise. The study was conducted in accordance with the Helsinki Declaration (adopted in June 1964, revised in October 2013), informed consent was obtained from each participant of the study.

Funding. The study was not funded by any source.

Conflict of interest. The author declares no obvious and potential conflict of interests related on the article publication.

For citation: Orel A.M. New possibilities of postural spine radiography. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 49–60. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1571>

Received: 01.06.2025.

Accepted for publication: 05.12.2025

Published online: 11.02.2026.

Введение

Рентгенологическое исследование давно является “золотым стандартом” при исследовании позвоночника. Важно отметить, что разработки отечественных ученых XX века внесли весомый вклад в изучение центральной задачи исследования позвоночника – распознание морфологических особенностей его структур.

Традиционно центр внимания ортопедов и хирургов был направлен на выявление заболеваний позвоночника: воспалительных, доброкачественных и злокачественных опухолей, метастазов опухолей, злокачественных переломов позвонков, травматических повреждений позвоночника, на диагностику наследственных системных заболеваний.

Вместе с тем нормальная анатомия, развитие и возрастные изменения позвоночника имеют значительные вариации. В нем нередко выявляются аномалии развития, дегенеративно-дистрофические изменения, нарушения пространственного положения структур. Их подробно описали и классифицировали в своих работах известные отечественные и зарубежные ученые-рентгенологи.

Крупным достижением рентгенологов и морфологов было разделение совокупности многочисленных нозологических единиц, связанных со страданиями позвоночника, в основе которых лежит привязка поражения к морфологическому субстрату. В дорентгенологическую эру все заболевания позвоночника воспалительного характера назывались “спондилит”, невоспалительного характера – “спондилез”. Работами Шморля и Юнгаса [1–3] было показано, что дистрофический процесс в позвоночнике возникает в ответ на постоянно действующую дисгармоничную биомеханическую нагрузку.

Могут страдать суставы и это артроз. Могут страдать межпозвонковые диски и в зависимости от степени поражения были выделены поражение только хрящевых структур – хондроз, поражение, охватывающее хрящ и костную ткань межпозвонкового двигательного сегмента, – остеохондроз. Многочисленные клювовидные остеофиты, охва-

тывающие целые отделы позвоночника, описаны как фиксирующий гиперостоз, названный по имени Форестье.

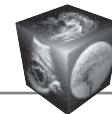
Поражение связок диагностируется как лигаментоз. Появление новых суставов, возникающих в ответ на особенности биомеханики позвоночника, называется “неоартроз”. Автор, описавший их в поясничном отделе, Боструп (Baastrup disease), он дал имя этой нозологической единице. Каждое из названных состояний имеет свою характерную рентгенологическую картину.

На долю спондилеза остается фиксация замыкающими костными скобками в области передней продольной связки измененных позвонков после травмы, что рассматривается как признак стабилизации этого позвоночного сегмента. Весомый вклад в описание рентгенологических проявлений дегенеративно-дистрофических заболевания внесли отечественные ученые Н.С. Косинская [4] и другие.

Закономерен вопрос, что из всего этого объема необходимо знать специалисту для безопасной и эффективной работы с пациентом, который пришел на прием? Ответ прост – практически все. Каждая мелочь может стать определяющей. Вот почему сбрасывать со счетов достижения наших предшественников – учителей, великих ученых старшего поколения, по меньшей мере, неосмотрительно, а использовать знания, что они передали нам, современным врачам, просто необходимо.

Сегодня цифровые технологии значительно упростили искусство рентгенографии. Компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и УЗИ, денситометрия, сцинтиграфия, ПЭТ/КТ, ангиография позволили значительно усовершенствовать диагностику и расширить диапазон диагностических приемов, способствующих выявлению морфологических проявлений заболеваний не только костных структур, но и рентгенонегативных мягких тканей.

Сегодня актуальной становится достоверная диагностика не только локального поражения позвоночника, но и положения каждого позвонка



в отдельности, отдела и позвоночника в целом. И в этом плане рентгенодиагностика позвоночника отнюдь не утратила своих позиций. В отличие от других методов исследования, рентгенографию позвоночника можно проводить при вертикальном положении пациента, учитывая физиологическое положение и изменения, что присуще для стоящего человека.

Постуральная рентгенография является признанным методом визуализации и широко используется в целях компьютерного моделирования и количественной оценки взаимосвязей изменений положения различных отделов позвоночника [5–11].

Цифровая рентгенография позволила снизить дозу лучевой нагрузки в десятки раз, а качество изображений стало таким, что можно уверенно диагностировать состояние переходных участков позвоночника без назначения дополнительных специальных исследований. Цифровое изображение всех структур позвоночника можно получить, склеив его из отдельных изображений каждого отдела. Современные рентгеновские аппараты способны это сделать в автоматическом режиме, формируя постуральные рентгенограммы.

Особенности метода системного анализа рентгенограмм позвоночника

Важно сказать, что получение самого рентгеновского изображения решает только часть задачи. Рентгенограмма требует детального исследования. Она содержит громадный объем визуальной информации. Однако исследователь, не подготовленный надлежащим образом, может увидеть лишь самые общие варианты нормы и (или) патологии. Все это диктует необходимость квалифицированного обследования пациента, регистрации деталей и количественной оценки каждого признака.

Системный анализ рентгенограмм позвоночника (САРП) разработан как метод, позволяющий одновременно и в деталях, и в целом зарегистрировать и дать подробную количественную оценку каждой структуре позвоночника, доступной для исследования на рентгеновском изображении во фронтальной и в сагиттальной проекциях [12]. С его помощью была решена задача регистрации наиболее существенных морфологических особенностей позвоночника и одновременно положения каждого позвонка. Разработан протокол исследования, в котором в виде графического образа (картинки) и посредством словесного описания фиксируются все значимые признаки. С помощью языка условных схематизированных изображений

формируется системная модель позвоночника по принципу “рентгенограмма на бумаге”.

Протокол исследования содержит особый инструмент – схему для регистрации бокового наклона, положения вектора остистого отростка относительно тела позвонка и направление ротационной установки для каждого позвонка. Каждому параметру дается количественная оценка. Совокупность схем на системной модели демонстрирует уникальное положение позвонков на всех уровнях позвоночника. Помимо этого, регистрируются все диагностированные морфологические особенности позвонков [12].

Применение метода САРП в практике восстановительной медицины

Задачи, решаемые с помощью метода САРП, можно разделить на несколько направлений:

1. Диагностика деструктивных заболеваний и дегенеративно-дистрофических состояний с охватом всех рентгенопозитивных структур позвоночника.
2. Планирование методов коррекции позвоночника усилиями мультидисциплинарной бригады специалистов.
3. Регистрация изменений позвоночника после установки подпяточника при синдроме анатомически короткой ноги.

1. Диагностика деструктивных заболеваний и дегенеративно-дистрофических состояний с охватом всех рентгенопозитивных структур позвоночника

Особое место занимает диагностика деструктивных заболеваний на уровне всего позвоночника. Нередко это бывают неожиданные рентгенологические находки. Например, патологический перелом при метастазах опухоли или воспалительный процесс в суставах при болезни Бехтерева. Но такое, не диагностированное ранее заболевание бывает скорее исключением, нежели правилом. Наиболее часто при САРП у людей старшего возраста диагностируются изменения позвоночника в виде компрессионных переломов позвонков на фоне выраженного остеопороза (рис. 1, 2).

Клинический пример

На рентгенограммах пациентки К., 84 лет, на фоне резко выраженного инволютивного остеопороза (IV степени) отмечается S-образная сколиотическая деформация позвоночника, грудной кифоз резко усилен (рис. 1). Отмечается ретролистез C_{III}, L_I, L_{II}; антелистез C_{IV}–C_{VII}, L_{IV}, L_V. Имеют место выраженная передняя кли-

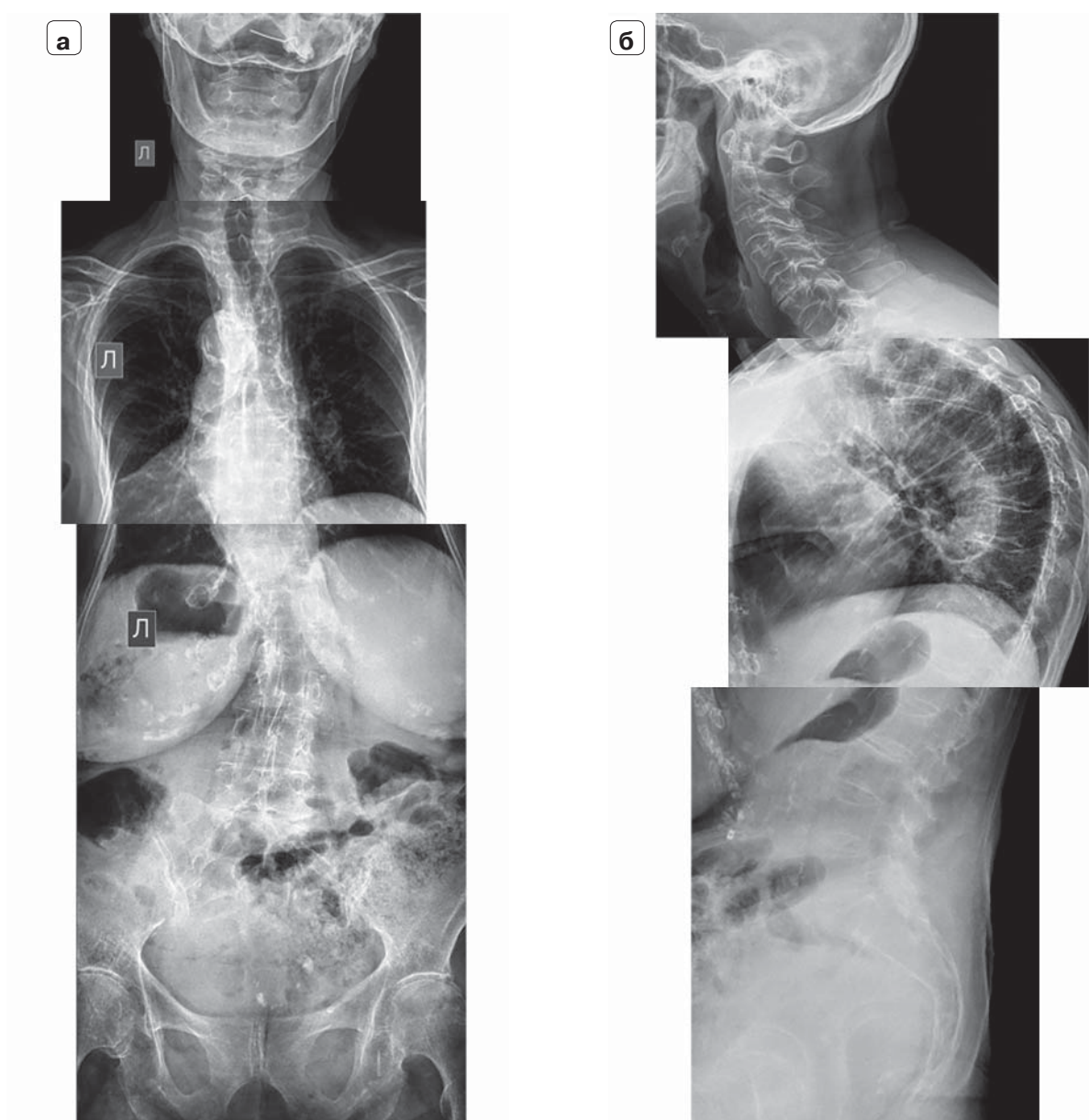
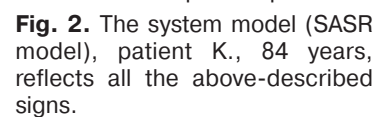


Рис. 1. Панорамные постуральные рентгенограммы позвоночника пациентки К., 84 лет. **а** – фронтальная рентгенограмма; **б** – сагиттальная рентгенограмма.

Fig. 1. Panoramic postural spine radiographs, patient K., 84 years. **a** – frontal plane; **b** – sagittal plane.





новидная деформация тела T_{VIII} -позвонка и равномерное снижение высоты тел позвонков T_{IV} – L_{II} , деформации тел по типу “рыбьих позвонков” C_{VI} , T_{VI} , T_{VIII} , T_{XI} , T_{XII} , L_1 – L_{IV} , как проявления IV степени остеопороза.

Отмечаются проявления дегенеративно-дистрофических состояний: остеохондроз – субхондральный остеосклероз, неравномерность структуры замыкающих пластин тел позвонков шейного, грудного и поясничного отделов, снижение высоты межпозвонковых пространств C_V – C_{VI} , L_1 – L_{III} , L_{II} – L_{III} , косвенный признак грыжи межпозвонкового диска в виде вакуум-феномена диагностирован на уровне C_V – C_{VI} .

Имеются проявления распространенного артроза суставов: дугоотростчатых (всех отделов), атлanto-аксиальных, реберно-позвоночных T_I – T_{III} , грудино-ключичных, крестцово-подвздошных с двух сторон, крестцово-копчикового, лонного, двусторонний коксартроз, межостистый неоартроз – симптом Бострупа: C_I – C_{II} , T_{VI} – T_{IX} , L_1 – S_I . Имеет место аномалия развития: правосторонняя сакрализация L_4 .

Преимуществом метода САРП в данном наблюдении является то, что наглядно демонстрируются полный объем и выраженность изменений на всех уровнях позвоночника одновременно. Системная модель (рис. 2) демонстрирует локализацию наиболее выраженных остеопоротических изменений – это грудной отдел. Лечение таких пациентов обычно затруднительно, однако точное знание локализации критически важных поражений позволяет обойти эти зоны и предложить пациентам помощь [12].

2. Планирование методов коррекции позвоночника усилиями мультидисциплинарной бригады специалистов

Наличие системной модели позволяет планировать селективное воздействие на определенные группы позвонков в рамках общей задачи восстановительного лечения мультидисциплинарной бригадой. В состав такой бригады могут входить врачи и средние медицинские работники самых разных специальностей. При использовании системной модели САРП специалисты получают точную картину особенностей позвоночника пациента, формируется уточненное понимание, что и в какой последовательности необходимо сделать. Клиническое применение данного подхода позволяет добиться эффекта лечения более щадящими методами и в краткие сроки.

3. Регистрация изменений позвоночника после установки подпяточника при синдроме анатомически короткой ноги

Были идентифицированы и зафиксированы одномоментные изменения структур позвоночника

у пациентки с анатомически короткой ногой при установке подпяточника под короткую ногу.

Синдром короткой ноги наиболее часто бывает обусловлен функциональным или истинным анатомическим укорочением одной нижней конечности. Клиницисты отмечают, что наряду с перекосом таза этот синдром включает функциональное сколиозирование позвоночного столба, асимметричное напряжение скелетной мускулатуры тела, фасеточный синдром, нарушения осанки и скелетно-мышечные боли различной локализации [13].

Даже незначительная разница в длине ног может быть главной причиной рецидивирующих болей в спине и в суставах нижних конечностей. При анатомической разнице в длине ног, превышающей 10 мм, выявляются спазм, укорочение и функциональная слабость при тестировании *m. psoas* (на стороне короткой ноги) и *m. gluteus medius* (на стороне длинной ноги) [13].

Предложены методы функциональной оценки положения таза и позвоночника при анатомически короткой ноге в целях прогнозирования степени выравнивания несоосностей позвоночного столба и таза при планируемой лифт-терапии [13].

С целью диагностики изменения положений структур таза, проксимальных отделов бедер и позвонков на уровне всего позвоночника пациентке Г., 11 лет, проведена постуральная рентгенография в вертикальном положении, сначала стоя босиком на полу (рис. 3, 4), и затем повторная рентгенография, когда под укороченную ногу поместили деревянный блок в целях полной компенсации разницы длины ног (рис. 5, 6).

Разница во времени между проведенными рентгенологическими исследованиями составила 2 мин.

Полученные в обоих случаях постуральные рентгенограммы как во фронтальной, так и в сагиттальной проекции (см. рис. 3, 5) были описаны с помощью технологии САРП (см. рис. 4, 6).

Протокол исследования позвоночника до коррекции положения стопы подпяточником

На постуральной рентгенограмме во фронтальной проекции и модели САРП пациентки Г., 11 лет, до установки корректирующего подпяточника отмечается S-образная сколиотическая деформация поясничного и грудного отделов позвоночника, что сопровождается правосторонней клиновидной деформацией тела позвонка T_{VIII} . Нижняя дуга величиной 9° находится слева на уровне T_{XI} – L_V -позвонков, верхняя дуга определяется справа на уровне T_{III} – T_{IX} . Отмечаются боковые наклоны позвонков: C_V , C_{VII} , T_{II} – T_{VII} и L_{III} – L_V – влево; C_{II} , C_{III} , T_{X} – T_{XII} , L_1 – вправо.

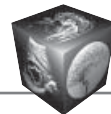


Рис. 3. Постуральные рентгенограммы всего позвоночника во фронтальной (а) и сагиттальной (б) проекции пациентки Г., 11 лет, до установки корректирующего подпяточника. Диагноз: анатомическое укорочение левой ноги.

Fig. 3. The postural spine radiographs, frontal (a) and sagittal (б) projections, patient G., 11 years, before corrective heel pad installation. Diagnosis: anatomical left leg shortening.

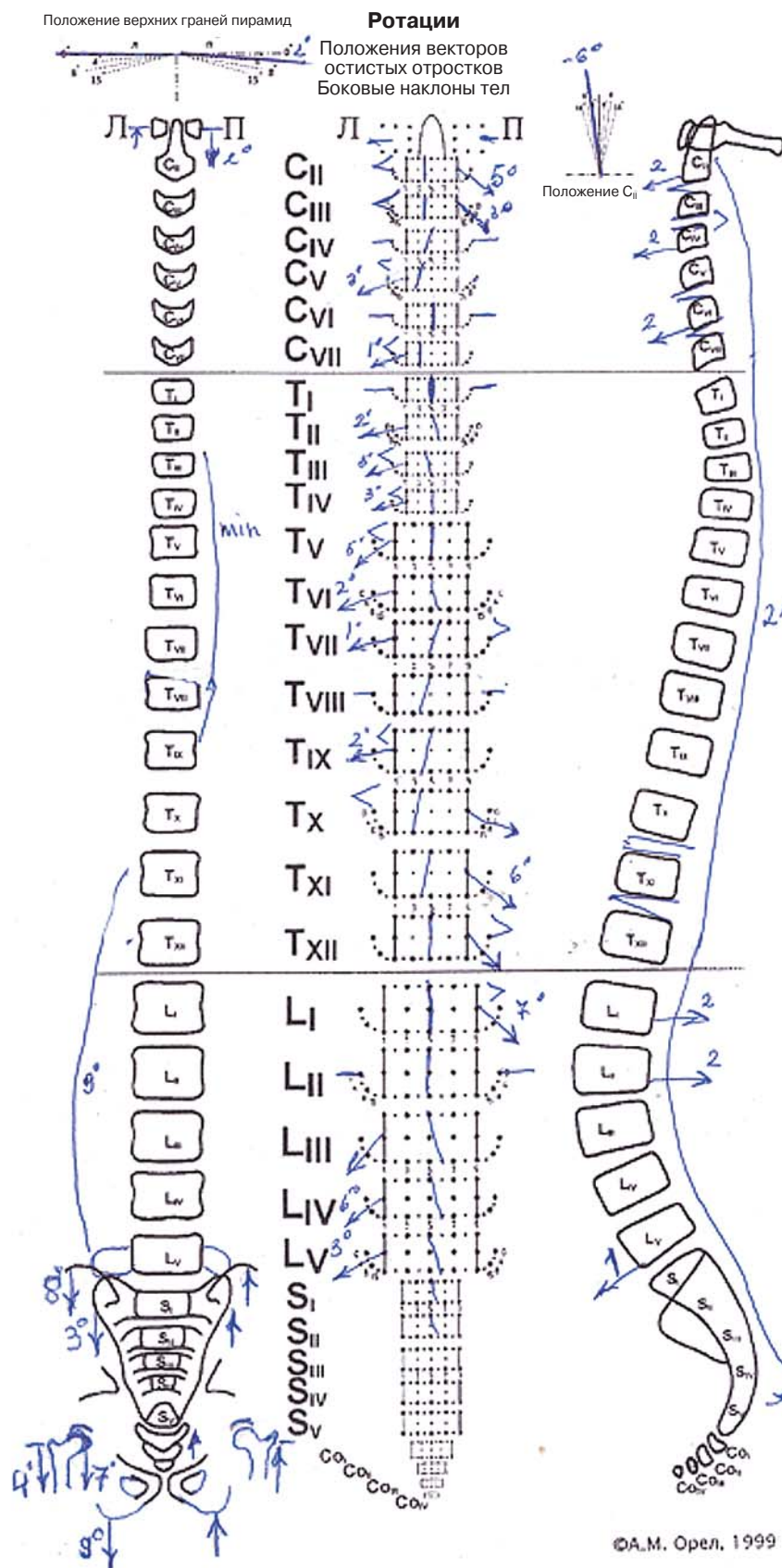


Рис. 4. Системная модель САРП пациентки Г., 11 лет, до коррекции.

Fig. 4. The system spine model (SASR model), patient G., 11 years, before correction.

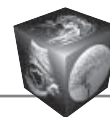


Рис. 5. Постуральные рентгенограммы всего позвоночника во фронтальной (а) и в сагиттальной (б) проекции пациентки Г., 11 лет, после установки под левую стопу корректирующего подпяточника +22 мм.

Fig. 5. The postural spine radiographs, frontal (a) and sagittal (б) projections, patient G., 11 years, after corrective heel pad installation under the left foot (+22 mm).

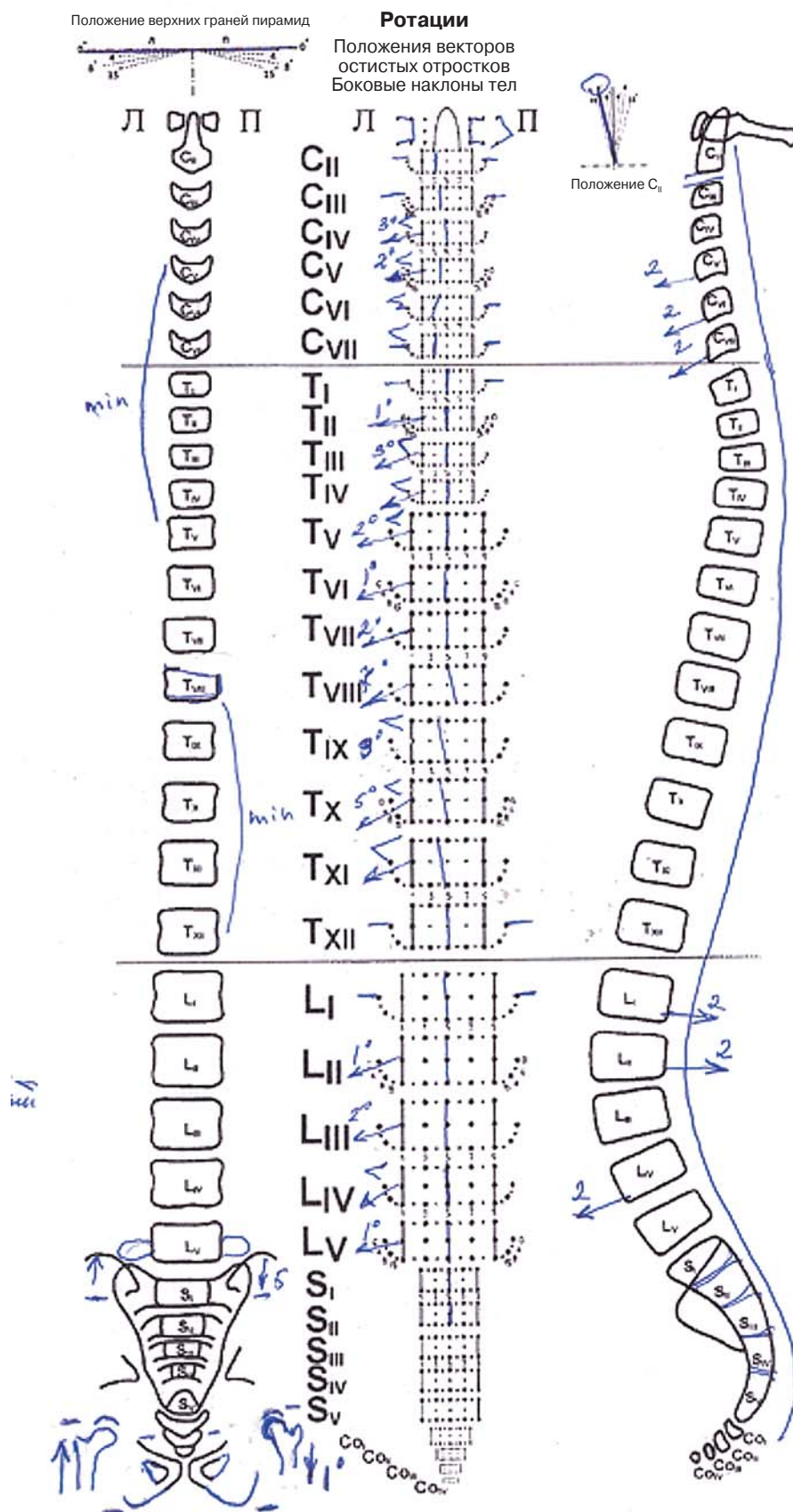
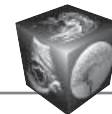


Рис. 6. Системная модель САРП пациентки Г., 11 лет, после коррекции положения стопы подпяточником высотой +22 мм под левую стопу.

Fig. 6. The system spine model (SASR model), patient G., 11 years, after the left foot position correcting by the +22 mm heel pad.



Левая половина таза относительно правой половины наклонена на 8° , крестец наклонен вбок, влево на 3° . Крыша левой вертлужной впадины относительно правой смещена вниз на 7° , большой вертел левого бедра ниже правого на 4° . В лонном сочленении левая лонная кость находится ниже правой. Левый бугор седалищной кости относительно правого смещен вниз на 9° . Атлант расположен асимметрично и наклонен вправо на 2° . Плечевые суставы приподняты, ключицы образуют асимметричный угол.

На постуральной рентгенограмме позвоночника в сагиттальной проекции: шейный лордоз в целом замещен на кифоз. Грудной кифоз уплощен до 18° . Крестец в сагиттальной проекции занимает горизонтальное положение: $\angle\alpha = 52^\circ$, $\angle\delta = 27^\circ$. Отмечается антелистез (смещение кпереди) позвонков C_{II} , C_{IV} , C_{VII} и L_V , а также ретролистез (смещение кзади) позвонков L_I и L_{II} .

Из аномалий развития отмечаются признаки двусторонней симметричной сакрализации L_V и платибазия основания черепа I степени. Дегенеративно-дистрофические изменения структур позвоночника не выявлены.

Протокол исследования позвоночника после коррекции положения стопы подпяточником (см. рис. 5, 6)

В целях коррекции анатомической величины левой конечности под левую стопу был установлен подпяточник высотой 22 мм

При повторном исследовании (см. рис. 5) на постуральной рентгенограмме во фронтальной проекции положение крестца, вертлужных впадин, лонных костей и седалищных бугров стало симметричным, отмечается небольшое скручивание подвздошных костей вправо -5° , большой вертел правой бедренной кости по сравнению с левым опустился на 1° .

Изменились положение и протяженность сколиотических дуг. Нижняя дуга теперь дифференцируется справа и выше на уровне $T_{VIII}-T_{XII}$, верхняя дуга находится слева на уровне C_V-T_V .

Изменились направление и выраженность боковых наклонов позвонков (*side bending*). Было: дифференцировались боковые наклоны позвонков: C_V , C_{VII} , $T_{II}-T_{VII}$ и $L_{II}-L_V$ – слева; C_{II} , C_{III} , T_X-T_{XII} , L_I – справа. Стало после коррекции: боковой наклон влево имеют позвонки C_{VI} , C_V , $T_{II}-T_{XI}$ и $L_{II}-L_V$; боковые наклоны позвонков вправо не определяются.

Появилась ротация атланта относительно аксиса вправо, имевшийся ранее боковой наклон не определяется. После коррекции положение ключиц стало более симметричным, плечевые суставы опустились, заняли более правильное положение.

На постуральных рентгенограммах в сагиттальной проекции выявлено, что величина наклона аксиса вперед (кифоз) увеличилась до 8° (было 6°). Изменилось положение позвонков шейного отдела. Шейный лордоз стал выпрямленным, был кифоз. Кифоз грудного отдела приобрел более гармоничное состояние, его величина теперь находится в пределах нормы 36° , до установки подпяточника он был уплощен. Крестец в сагиттальной проекции занял нормальное положение: $\angle\alpha = 40^\circ$, $\angle\delta = 40^\circ$. На рентгенограмме дифференцируются признаки антелистеза позвонков C_V , C_{VI} , C_{VII} , L_{IV} . Сохраняется ретролистез позвонков L_I и L_{II} .

По-прежнему дифференцируются признаки правосторонней клиновидной деформации тела позвонка T_{VIII} , двусторонней симметричной сакрализации L_V и уплощения основания черепа (платибазии) I степени.

После коррекции положения левой нижней конечности подпяточником высотой 22 мм отмечаются значительные изменения положения практически всех позвонков как во фронтальной, так и в сагиттальной проекции на протяжении всего позвоночника. Осанка и положение таза, крестца и бедер стали более симметричными и гармоничными.

Выводы

1. Постуральная рентгенография, дополненная описанием с помощью метода системного анализа рентгенограмм позвоночника, является полезным инструментом для регистрации морфологических особенностей и положения позвонков во всех отделах позвоночника.

2. Постуральная рентгенография полезна для диагностики деструктивных заболеваний на протяжении всего позвоночника.

3. На системных моделях позвоночника в наглядной форме отражаются наиболее важные рентгенологические признаки дегенеративно-дистрофических состояний позвонков одновременно на всех уровнях позвоночника.

4. Метод полезен для оценки изменения положения структур позвоночника после установки корригирующего подпяточника.

Участие автора

Орел А.М. – концепция, дизайн исследования, сбор и обработка данных, подготовка, создание работы.

Authors' participation

Orel A.M. – concept and design of the study, collection and analysis of data, preparation and creation of the work.



Список литературы [References]

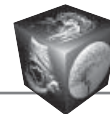
1. Schmorl Ch.G., Junghans H. Die gesunde und kranke Wirbelsäule im Röntgenbild. Leipzig, 1932.
2. Schmorl Ch.G., Junghans H. Die gesunde und die kranke Wirbelsäule im Röntgenbild und Klinik. Stuttgart, 1957.
3. Junghans H. Die Wirbelsäule unter den Einflüssen des taglichen Lebens, der Freireit, des Sports. Stuttgart: Hippokrates, 1986. 503 S.
4. Косинская Н.С. Дегенеративно-дистрофические поражения костно-суставного аппарата. Л.: Медгиз, 1961. 196 с.
Kosinskaya N.S. Degenerative and dystrophic lesions of the osteoarticular apparatus. Leningrad: Medgiz, 1961. 196 p. (In Russian)
5. Roussouly P., Gollogly S., Berthounaud E., Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005; 30: 346–353. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000152379.54463.65>
6. O'Brien M.F., Kuklo T.R., Blanke K.M. et al. Radiographic Measurement Manual of Spinal Deformity Study Group. Medtronic Sofamor Danek USA, Inc., 2008. 110 p.
7. Mac-Thiong J.M., Roussouly P., Berthounaud E., Guigui P. Sagittal parameters of global spinal balance: normative values from a prospective cohort of seven hundred nine Caucasian asymptomatic adults. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010; 35 (22): E1193–1198. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181e50808>
8. Clément J.L., Solla F., Amorese V. et al. Lumbopelvic parameters can be used to predict thoracic kyphosis in adolescents. *Eur. Spine J.* 2020; 29: 2281–2286. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06373-z>
9. Bayat A., Pace D.F., Sekuboyina A. et al. Anatomy-Aware Inference of the 3D Standing Spine Posture from 2D Radiographs. *Tomography*. 2022; 8: 479–496. <https://doi.org/10.3390/tomography8010039>
10. Charles Y.P., Bauduin E., Pesenti S. et al. Variation of Global Sagittal Alignment Parameters According to Gender, Pelvic Incidence, and Age. *Clin. Spine Surg.* 2022; 35: E610–E620. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000001321>
11. Solla F., Ilharreborde B., Blondel B. et al.; French Spine Surgery Society (SFCR). Can Lumbopelvic Parameters Be Used to Predict Thoracic Kyphosis at all Ages? A National Cross-Sectional Study. *Global Spine J.* 2024; 14 (4): 1116–1124. <https://doi.org/10.1177/21925682221134039>
12. Орел А.М. Системный анализ рентгенограмм позвоночника в практике мануальной медицины. М.: Издательский дом Видар-М, 2018. 432 с.
Orel A.M. System analysis of spine radiographs in the practice of manual medicine. Moscow: Vidar-M Publishing House, 2018. 432 p. (In Russian)
13. Фролов В.А., Нечаев В.И., Нечаев Е.В., Иванов В.В. Синдром короткой ноги в клинической практике. *Российский остеопатический журнал*. 2024; 2: 113–130. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-2-113-130>
Frolov V.A., Nechaev V.I., Nechaev E.V., Ivanov V.V. Short leg syndrome in clinical practice. *Russian Osteopathic Journal*. 2024; 2: 113–130. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2024-2-113-130> (In Russian)

Для корреспонденции*: Орел Александр Михайлович – aorel@rambler.ru

Орел Александр Михайлович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела медицинской реабилитации больных с заболеваниями опорно-двигательного аппарата Московского научно-практического центра медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4129-524X>

Contact*: Alexander M. Orel – aorel@rambler.ru

Alexander M. Orel – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief researcher of the Department of Medical Rehabilitation of Patients with Musculoskeletal System Diseases, S.I. Spasokukotsky Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4129-524X>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1569>



Оценка межэкспертной согласованности мнений врачей ультразвуковой диагностики при использовании Российской классификации ультразвуковых характеристик лимфатических узлов LN-RADS

© Сыч Ю.П.^{1*}, Фисенко Е.П.², Катрич А.Н.^{3, 4}, Буланов М.Н.^{5, 6}

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

² ФГБНУ "Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского"; 119991 Москва, ГСП-1, Абрикосовский пер., д. 2, Российская Федерация

³ ГБУЗ "Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница №1 им. проф. С.В. Очаповского" Минздрава Краснодарского края; 350086 Краснодар, ул. 1 Мая, д. 167, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО "Кубанский государственный медицинский университет" Минздрава России; 350063 Краснодар, ул. им. М. Седина, д. 4, Российская Федерация

⁵ ГБУЗ Владимирской области "Областная клиническая больница"; 600023 Владимир, Судогодское шоссе, д. 41, Российская Федерация

⁶ ФГБОУ ВПО "Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого"; 173003 Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41, Российская Федерация

В последнее десятилетие большое внимание уделяется разработке объективных критериев оценки результатов визуализирующих исследований в медицине, позволяющих минимизировать диагностические ошибки и облегчить взаимодействие врачей разных специальностей. Для оценки состояния лимфатических узлов предложена шкала стратификации ультразвуковых признаков LN-RADS.

Цель исследования: оценка воспроизводимости результатов применения шкалы стратификации ультразвуковых признаков лимфатических узлов LN-RADS, а также согласованности решений (межэкспертной согласованности) врачей ультразвуковой диагностики, использовавших данную классификацию.

Материал и методы. Для оценки согласованности решений 16 врачей ультразвуковой диагностики независимо друг от друга оценили 50 ультразвуковых изображений лимфатических узлов, полученных у пациентов с различными доброкачественными и злокачественными изменениями, с использованием шкалы по стратификации ультразвуковых признаков лимфатических узлов LN-RADS.

Результаты. Межэкспертная согласованность оказалась умеренной, достигая существенного уровня при оценке злокачественных изменений в лимфатических узлах.

Заключение. Система стратификации лимфатических узлов LN-RADS позволяет с достаточно хорошей воспроизводимостью выявлять злокачественный характер изменений, что особенно важно с диагностической точки зрения.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика LN-RADS; лимфатические узлы; межэкспертная согласованность

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Сыч Ю.П., Фисенко Е.П., Катрич А.Н., Буланов М.Н. Оценка межэкспертной согласованности мнений врачей ультразвуковой диагностики при использовании Российской классификации ультразвуковых характеристик лимфатических узлов LN-RADS. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 61–67.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1569>

Поступила в редакцию: 24.05.2025. **Принята к печати:** 26.09.2025. **Опубликована online:** 16.02.2026.



Assessment of inter-expert agreement among ultrasound diagnostic physicians using the Russian classification of lymphatic nodules ultrasound characteristics LN-RADS

© Yulia P. Sych^{1*}, Elena P. Fisenko², Aleksey N. Katrich^{3, 4}, Mikhail N. Bulanov^{5, 6}

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

² B.V. Petrovsky Russian Research Center of Surgery; 2, Abrikosovsky lane, Moscow 119991, Russian Federation

³ The First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky; 167, 1 Maya str., Krasnodar 350086, Russian Federation

⁴ Kuban State Medical University; 4, M. Sedina str., Krasnodar 350063, Russian Federation

⁵ Regional Clinical Hospital; 21, Sudogodskoye shosse, Vladimir 600023, Russian Federation

⁶ Yaroslav-the-Wise Novgorod State University; 41, Bolshaya St. Petersburgskaya str., Veliky Novgorod 173003, Russian Federation

In the last decade, much attention has been paid to the development of objective criteria for assessing the results of visualization studies in medicine, allowing to minimize diagnostic errors and facilitate the interaction of doctors of different specialties. To assess the condition of the lymph nodes, a scale for the stratification of ultrasound signs LN-RADS has been proposed.

Purpose: assessment of the reproducibility of the results of using the LN-RADS scale for stratification of ultrasound signs of lymph nodes and assessment of the consistency of decisions of ultrasound diagnostic doctors who used this classification.

Materials and methods. To assess an inter-rater agreement for LN-RADS scale, sixteen experienced specialists in ultrasound independently assessed fifty ultrasound images of the lymphatic nodes with various benign and malignant changes.

Results. The inter-rater agreement in utilisation of the LN-RADS scale was moderate, reaching a significant level when assessing malignant changes in the lymph nodes.

Conclusions. The LN-RADS stratification system allows for the detection of malignant changes with fairly good reproducibility, which is especially important from a diagnostic point of view.

Keywords: ultrasound; LN-RADS; lymphatic nodules; Inter-Expert Agreement

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

For citation: Sych Yu.P., Fisenko E.P., Katrich A.N., Bulanov M.N. Assessment of inter-expert agreement among ultrasound diagnostic physicians using the Russian classification of lymphatic nodules ultrasound characteristics LN-RADS. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 61–67. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1569>

Received: 24.05.2025.

Accepted for publication: 26.09.2025.

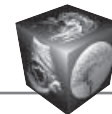
Published online: 16.02.2026.

Актуальность

В последнее десятилетие большое внимание уделяется разработке объективных критериев оценки результатов визуализирующих исследований в медицине, позволяющих минимизировать диагностические ошибки и облегчить взаимодействие врачей разных специальностей. В настоящее время широко используют шкалы по оценке ультразвуковых признаков очаговых изменений в молочной (BI-RADS), щитовидной (TI-RADS) железах, яичниках (O-RADS) и других органах. Для оценки состояния лимфатических узлов (ЛУ)

были предложены подобные ультразвуковые классификации преимущественно по анатомическим областям [1–4]. Группой российских специалистов предложена шкала по стратификации ультразвуковых признаков ЛУ различной локализации LN-RADS [5, 6].

Цель исследования: оценка воспроизводимости результатов применения шкалы стратификации ультразвуковых признаков ЛУ LN-RADS, а также согласованности решений врачей ультразвуковой диагностики, использовавших данную классификацию.



Материал и методы

Для оценки воспроизводимости результатов применения шкалы стратификации ультразвуковых признаков ЛУ LN-RADS и оценки согласованности решений 16 врачей-экспертов оценили 50 статических ультразвуковых изображений ЛУ, полученных у 47 пациентов со следующими заболеваниями: рак молочной железы (15 человек), фиброаденома молочной железы (12), лимфома (11), рак щитовидной железы (3), рак ротоглотки (1), рак ануса (1), меланома (1), ОРВИ (2), лимфаденит (1). По данным морфологических исследований выявлены 22 ЛУ с доброкачественными изменениями (18 – реактивные изменения, 1 – острый лимфаденит, 1 – инволютивные изменения, 2 – неизменные ЛУ) и 28 ЛУ с признаками злокачественных процессов (11 – лимфома и 17 – метастатическое поражение). 16 врачей ультразвуковой диагностики с опытом работы от 5 до 10 лет в стационаре в “ослепленном” режиме, т.е. без информации о клинических данных пациента, независимо друг от друга оценивали каждое исследование и присваивали ему категорию LN-RADS [5]:

- категория 1 (LN 1): нормальные/неизменные ЛУ;
- категория 2 (LN 2): вероятно, доброкачественные изменения ЛУ у пациентов с жалобами, характерными для острого воспалительного процесса и без онкоанамнеза;
- категория 3 (LN 3): сомнительный/неопределенный характер изменений ЛУ у пациентов с онкоанамнезом, имеющих жалобы, характерные для острого воспалительного процесса, или у пациентов без жалоб, характерных для острого воспалительного процесса;
- категория 4 (LN 4): подозрительный характер изменений ЛУ;
- категория 5 (LN 5): высокоподозрительный характер изменений ЛУ, ЛУ имеют вид метастатического поражения.

Для обработки полученных данных применили два статистических метода оценки измерения межэкспертного согласия – определение коэффициентов межэкспертного согласия (каппа Коэна) путем попеременной оценки согласованности экспертов друг с другом и каппа Флейса для оценки общей согласованности между всеми экспертами, а также внутриклассового коэффициента корреляции (ICC) для оценки надежности диагностических оценок ЛУ, предложенных врачами-исследователями.

При расчете коэффициента ICC использована модель с двусторонним случайным эффектом и допущением абсолютной согласованности для нескольких экспертов (two-way random effects,

absolute agreement, multiple raters (ICC 2, k)). Полученные значения ICC трактовались следующим образом: ICC от 0,5 до 0,75 соответствует “умеренной надежности оценок” (“moderate reliability”), 0,75–0,9 – “хорошей” (“good reliability”) и >0,9 – превосходной надежности (“excellent reliability”).

Для расчетов критерия согласия каппа Флейса использовался он-лайн каппа-калькулятора <http://justusrandolph.net/kappa/> [7], а для расчетов каппы Коэна в попарных сравнениях оценок экспертов был применен он-лайн каппа-калькулятор MedCalc Software Ltd. Inter-rater agreement. <https://www.medcalc.org/calc/kappa.php> (Version 23.2.1).

Коэффициенты межэкспертного согласия (каппа Коэна и каппа Флейса) оценивали следующим образом: слабое согласие ($\kappa > 0-0,2$), незначимое ($\kappa > 0,21-0,4$), умеренное ($\kappa > 0,41-0,6$), существенное ($\kappa > 0,61-0,8$) и полное согласие ($\kappa > 0,81-1,0$) [8].

Результаты и их обсуждение

Оценку всех ЛУ проводили по стандартному протоколу УЗИ [9] с описанием следующих ультразвуковых характеристик: размеры (по длинной (L) и короткой (S) осям), толщина коры в подмышечных и паховых ЛУ; индекс округлости ЛУ (соотношение L/S), оценка формы, контуров, границ, структуры, дифференцировки составляющих частей ЛУ, васкуляризации и типа кровотока. Распределение ЛУ по категориям LN-RADS проводили с учетом клинических симптомов и анамнеза пациентов. Ультразвуковые критерии, определяющие нормальное/неизменное состояние ЛУ, позволившие определить их в категорию 1, совпадали с литературными данными и подробно представлены в работе D. Fisherova и соавт. (2021) [10]: нормальные размеры, овальная (плоская, овоидная) форма, индекс $L/S \geq 2$, четкие границы, ровные или слабоволнистые контуры, сохраненная дифференцировка составных частей, а- или гиповаскулярные, тип кровотока воротный/хилусный (рис. 1).

К категории 2 относились ЛУ при указании на наличие у пациентов клинической картины воспаления или перенесенного вирусного заболевания, когда появлялись не характерные для доброкачественных изменений параметры: увеличение размеров, округление формы, дольчатость контуров, утолщение коры, гипervasкуляризация при воротном типе кровотока (рис. 2). Те же ультразвуковые признаки без воспалительных процессов или у онкологических больных считали сомнительными и переводили ЛУ в категорию 3, где показано кратковременное наблюдение.

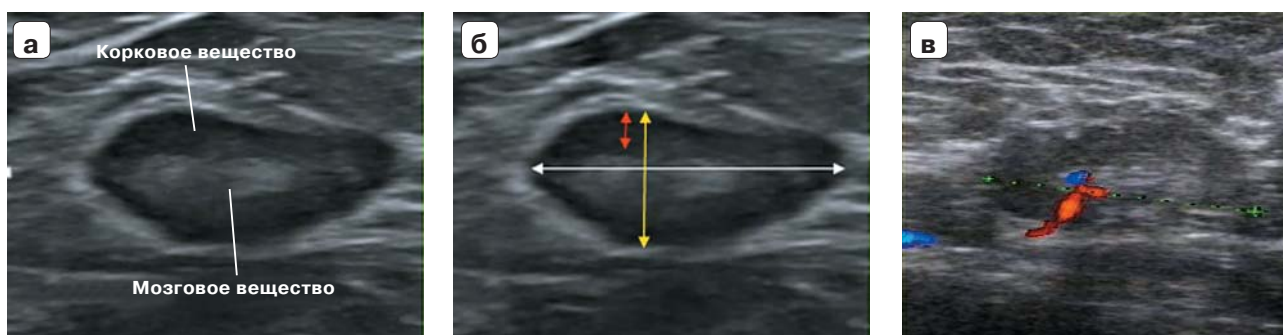


Рис. 1. Нормальная ультразвуковая структура поверхностного ЛУ: правильная овальная форма, четкие контуры, ровные границы, гипоехогенная периферия, соответствующая корковому веществу, и центральная гиперэхогенная часть, соответствующая мозговому веществу. **а** – нормальная дифференцировка ЛУ; **б** – измерение ЛУ. Белая стрелка – по длинной оси, желтая стрелка – по короткой оси, красная стрелка – измерение толщины коры; **в** – воротный тип кровотока: сосуды определяются в области ворот.

Fig. 1. Normal echostructure of superficial lymphatic nodule: oval shape, regular margins, hypoechoic peripheral part (cortex), and hyperechoic central part (medulla). **а** – normal structure of lymphatic nodule; **б** – measurement of lymphatic nodule sizes: white arrow – long axis, yellow arrow – short axis, red arrow – measurement of cortex; **в** – normal vascularity in hilum.



Рис. 2. Изменения ультразвуковой структуры подмышечных ЛУ при доброкачественных состояниях. Категория LN-RADS 2. **а** – значительное утолщение коры – реактивные изменения при остром мастите; **б** – округлая форма, неровные угловатые контуры, дифференцировка отсутствует, мелкие жидкостные включения в структуре ЛУ – острый лимфаденит; **в** – множественные гипоехогенные ЛУ с отсутствием дифференцировки – изменения на фоне Covid-19. Динамическое наблюдение за пациентами демонстрировало восстановление структуры ЛУ в ходе ликвидации основного процесса. Те же характеристики ЛУ при наличии у пациентки рака молочной железы будут подозрительны на злокачественный процесс и потребуют их определения в категорию 3 для короткого наблюдения на фоне терапии воспалительных процессов. При отсутствии положительной динамики необходим перевод в более высокие категории для проведения пункции с последующей морфологической оценкой ЛУ.

Fig. 2. Changes in lymph node echostructure associated with benign conditions. Category LN2. **а** – significantly enlarged cortex (associated with acute mastitis); **б** – round shape uneven margins, absence of hilum, small cystic inclusions (acute lymphadenitis); **в** – multiple hypoechoic nodes without hilum (associated with Covid-19 infection). During the follow-up, the structure of the presented lymphatic nodules was completely restored after elimination of the underlying condition. The similar structure of lymph nodes in a patient with a history of malignancy may be regarded as suspicious and stratified in higher categories of the LN-RADS system.

У неправильной формы, с прерывистой границей, угловатыми контурами, отсутствием дифференцировки, с патологическими включениями (кальцинаты, жидкостные включения), или патологическим типом кровотока (периферический или смешанный) расценивались как ЛУ с признаками злокачественности и были определены в категорию 5 (рис. 3). Множественность поражения ЛУ и их сетчатая структура встретились только при лимфомах. Эти УЗ-признаки соответствовали категории 4. Кроме того, в 4 категорию отнесены ЛУ

с утолщением коры $>0,3$ см и нарушением дифференцировки при отсутствии клиники воспаления у пациентов с онкологическими заболеваниями в анамнезе.

Результат статистического анализа межэкспертной согласованности (к Флейса и к Козна) при использовании LN-RADS врачами ультразвуковой диагностики представлен в таблице. Коэффициент межэкспертной согласованности (фиксированная к Флейса) для 16 врачей-экспертов, оценивавших выборку из 50 изображений ЛУ,

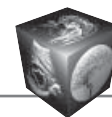


Рис. 3. ЛУ с признаками метастатического поражения. Категория LN-RADS 5. **а** – ЛУ овоидной формы, с отсутствием дифференцировки, неоднородной структуры, с жидкостными включениями (метастаз рака щитовидной железы); **б** – округлый ЛУ с отсутствием дифференцировки, неоднородной структуры, с кальцинатами и жидкостным включением (метастаз аденокарциномы околоушной слюнной железы); **в** – гипоехогенный ЛУ неправильной формы, с неровными угловатыми границами, с отсутствием дифференцировки, неоднородной структуры, с кальцинатами (метастаз меланомы).

Fig. 3. Metastatic lymph nodes. Category LN-RADS 5. **a** – lymph node of ovoid shape, but without hilum and with cystic changes (metastasis of thyroid cancer); **б** – round shape lymph node with calcification, absent hilum and cystic component (metastasis of parotid adenocarcinoma); **в** – hypoechoic lymph node of indefinite shape, with irregular margins, absence of hilum, and microcalcifications (metastasis of melanoma).

составил 0,42 (95% ДИ 0,33–0,50), что соответствует умеренной степени согласия. При этом доля совпадений мнений экспертов составила 53,52%.

При попарной оценке согласованности между экспертами коэффициент κ Козна колебался от минимального значения 0,34904 (95% ДИ 0,17015–0,52793) до 0,74129 (95% ДИ 0,63094–0,85163). Среди 120 пар сравнений было получено только одно значение каппа с низкой согласованностью (0,34904). Большая часть (95%) результатов κ для пар экспертов (67 (56%) из 120) оказались в диапазоне хорошей согласованности

оценок ($\kappa = 0,41–0,6$), а еще 47 (39%) из 120 результатов – в диапазоне существенной согласованности ($\kappa = 0,61–0,8$).

Дополнительно было проведено два отдельных анализа согласованности оценок доброкачественных изменений и злокачественных поражений ЛУ. Для доброкачественных изменений ЛУ коэффициент согласованности (κ) Флейса между 16 экспертами по 22 ЛУ составил 0,26 (95% ДИ 0,16–0,35), что соответствует незначимому или слабому согласию в оценках. Доля совпадений мнений экспертов составила лишь 40,67%.

Таблица. Статистический анализ межэкспертной согласованности (κ Флейса и κ Козна) при использовании классификации LN-RADS врачами ультразвуковой диагностики

Table. Statistical analysis of inter-rater agreement (Fleiss' κ and Kohen's κ) among specialists in ultrasound using LN-RADS system

Изменения в ЛУ Lymphatic nodule changes	Доля совпадений Percentage of full agreement	κ Флейса Fleiss' κ	Min κ – max κ (κ Козна) (Kohen's κ)	Межэкспертное согласие Inter-rater agreement				
				слабое sleight	незначительное fair	умеренное moderate	существенное substantial	полное согласие almost perfect
				0–0.2	0.21–0.4	0.41–0.6	0.61–0.8	0.81–1.0
Доброкачественные Benign	40.6%	0.26	0.07–0.51	6%	20%	47%	27%	0%
Злокачественные Malignant	63.2%	0.54	0.05–0.81	0%	3%	64%	45%	0.8%
Общая выборка Total	53.5%	0.42	0.35–0.74	0%	5%	56%	39%	0%



В оценке злокачественных изменений ЛУ эксперты продемонстрировали очень хорошую согласованность: их мнения полностью совпали в 63,17%, при этом коэффициент согласованности (к Флейса) составил 0,54% (95% ДИ 0,42–0,65). Коэффициент внутриклассовой корреляции (ICC) для данной группы из 16 врачей-экспертов составил 0,7385 (95% ДИ 0,657–0,817), что демонстрирует хорошую надежность исследовательских оценок эхографических признаков ЛУ по системе LN-RADS. Высокое значение коэффициента 0,7385 подтверждает достоверность и надежность полученных коэффициентов согласованности межэкспертных оценок.

Обсуждение

Исследованиям по оценке межэкспертного согласия (или согласованности мнений врачей) отводится существенное место в медицинских публикациях о диагностических методах, поскольку именно стандартизированная оценка в медицине является залогом успешной диагностики. Проведенный нами анализ мнений врачей при использовании классификации LN-RADS для стратификации ультразвуковых параметров ЛУ продемонстрировал умеренную согласованность мнений врачей-исследователей.

В ходе анализа данных было отмечено несколько тенденций. При наличии злокачественных изменений в ЛУ отмечалась лучшая согласованность мнений экспертов ($\kappa = 0,54$), чем при доброкачественных изменениях ($\kappa = 0,26$). Наибольшие расхождения в оценках экспертов наблюдались по категории 3, где доля совпадений колебалась от 0 до 10%), и наилучшие – по категориям 4 и 5, где доля совпадения оценок экспертов достигала 100%. Согласно классификации LN-RADS, в категорию 3 должны быть отнесены ЛУ с “сомнительным/неопределенным характером изменений у пациентов с онкоанамнезом, имеющих жалобы, характерные для острого воспалительного процесса, или у пациентов без жалоб, характерных для острого воспалительного процесса” [6]. То есть эта категория предполагает знание некоего анамнеза пациента. Объяснением несогласованности оценок врачей по категории 3 LN-RADS может служить тот факт, что по условиям проведения исследования врачи-эксперты были “ослеплены” в отношении анамнеза, и суждения выносились исключительно на основе эхографических признаков ЛУ. Кроме того, эксперты оценивали статические изображения, а не видеопетли, что также стало ограничением нашего исследования и затрудняло вынесение оценки. Аналогичная ситуация хорошо известна для других классифи-

каций, которые содержат так называемые неопределенные категории. Например, для классификации цитологических заключений щитовидной железы Bethesda System частота использования промежуточных категорий варьирует не только между медицинскими учреждениями, но также между специалистами одного центра [11].

Заключение

Предложенная российскими авторами система LN-RADS для оценки и стратификации изменений в лимфатических узлах позволяет с достаточной надежностью и объективностью использовать ее в клинической практике, особенно при выявлении злокачественных изменений лимфатических узлов.

Финансирование исследования и конфликт интересов

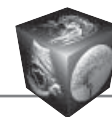
Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Они подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Study Funding and Conflicts of Interest

This study received no funding from any sources. The authors declare that this work, its topic, subject matter, and content do not conflict with any competing interests. The opinions expressed in this article are those of the authors. They confirm that their authorship complies with the ICMJE international criteria. All authors made significant contributions to the concept and preparation of this article, and read and approved the final version prior to publication.

Список литературы [References]

1. Ryu K.H., Lee K.H., Ryu J. et al. Cervical Lymph Node Imaging Reporting and Data System for Ultrasound of Cervical Lymphadenopathy: A Pilot Study. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 206 (6): 1286–1291. <https://doi.org/10.2214/AJR.15.15381>
2. Alamdaran S.A., Randian A., Rasoulia B. et al. Correlation of Sonographic Classification of Neck Adenopathy (A-RADS) and Malignancy. *Iran. J. Otorhinolaryngol.* 2023; 35 (126): 39–47. <https://doi.org/10.22038/IJORL.2022.67255.3299>
3. Zhang M., Ahn R.W., Hayes J.C. et al. Axillary Lymphadenopathy in the COVID-19 Era: What the Radiologist Needs to Know. *Radiographics.* 2022; 42 (7): 1897–1911. <https://doi.org/10.1148/rg.220045>
4. Bedi D.G., Krishnamurthy R., Krishnamurthy S. et al. Cortical morphologic features of axillary lymph nodes as a predictor of metastasis in breast cancer: in vitro sonographic study. *Am. J. Roentgenol.* 2008; 191 (3): 646–652. <https://doi.org/10.2214/AJR.07.2460>



5. Фисенко Е.П., Аллахвердиева Г.Ф., Данзанова Т.Ю., Гаждонова В.Е., Костромина Е.В., Лепэдату П.И., Рязиков А.Н., Заболотская Н.В., Сенча А.Н., Ветшева Н.Н., Синюкова Г.Т., Хамзина Ф.Т., Катрич А.Н., Буланов М.Н., Бусько Е.А., Капустин В.В., Шолохов В.Н., Бердников С.Н. Обоснование создания новой классификации оценки поверхностных лимфатических узлов US NODE-RADS (российская версия) по данным ультразвукового исследования: согласованное мнение экспертов Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине. *Хирургия и онкология*. 2024; 14 (3): 11–17. <https://doi.org/10.17650/2949-5857-2024-14-3-11-17>
Fisenko E.P., Allahverdieva G.F., Danzanova T.Yu. et al. Rationale for creating a new classification for evaluation superficial lymph nodes US NODE-RADS (Russian version) based on ultrasound data: the consensus of experts of the Russian Association of Ultrasound Diagnostics in Medicine. *Khirurgiya i onkologiya = Surgery and Oncology*. 2024; 14 (3): 11–17. <https://doi.org/10.17650/2949-5857-2024-14-3-11-17> (In Russian)
6. Проект российской ультразвуковой классификации поверхностных лимфатических узлов R-US-Lymph-RADS. В сборнике: Материалы Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов “Радиология – 2024”. 28–30 мая 2024 г., Москва. MD-Onco. 2024; 4 (4): 20–31. <https://doi.org/10.17650/2782-3202-2024-4-4-20-31>
The project of the Russian Ultrasound Classification of superficial lymph nodes R-US-Lymph-RADS. Materials of the Russian National Congress of Radiation Diagnosticians and Therapists “Radiology – 2024”. May 28–30, 2024, Moscow. MD-Onco. 2024; 4 (4): 20–31. <https://doi.org/10.17650/2782-3202-2024-4-4-20-31> (In Russian)
7. Randolph J.J.. Online Kappa Calculator [Computer software]. 2008. Retrieved from <http://justus.randolph.name/kappa>
8. Feng G.C. Mistakes and how to avoid mistakes in using intercoder reliability indices. *Methodology*. 2015; 11: 13–22. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000086>
9. Фисенко Е.П., Аллахвердиева Г.Ф., Буланов М.Н., Бусько Е.А., Ветшева Н.Н., Возгомент О.В., Гаждонова В.Е., Данзанова Т.Ю., Заболотская Н.В., Капустин В.В., Катрич А.Н., Костромина Е.В., Лепэдату П.И., Надточий А.Г., Рязиков А.Н., Сенча А.Н., Синюкова Г.Т., Хамзина Ф.Т., Шолохов В.Н. Стандартизация протокола ультразвукового исследования поверхностных лимфатических узлов. Консенсус экспертов Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ). Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2024; 4: 115–131. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-294>
Fisenko E.P., Allahverdieva G.F., Bulanov M.N. et al. Standardization of the protocol of superficial lymph node ultrasound. Consensus of experts of the Russian association of specialists of ultrasound in medicine (RASUDM). *Ultrasound & Functional Diagnostics*. 2024; 4: 115–131. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-294> (In Russian)
10. Fisherova D., Garganese G., Reina H. et al. Terms, definitions and measurements to describe sonographic features of lymph nodes: consensus opinion from the Vulvar International Tumor Analysis (VITA) group. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 2021; 57 (6): 861–879. <https://doi.org/10.1002/uog.23617>
11. Vuong H.G., Ngo H.T.T., Bychkov A. et al. Differences in surgical resection rate and risk of malignancy in thyroid cytopathology practice between Western and Asian countries: a systematic review and meta-analysis. *Cancer Cytopathol*. 2020; 128: 238–249. <https://doi.org/10.1002/cncy.22228>

Для корреспонденции*: Сыч Юлия Петровна – e-mail: juliasytch@mail.ru

Сыч Юлия Петровна – канд. мед. наук, доцент кафедры эндокринологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7000-0095>. SCOPUS Author ID: 57219462677. E-mail: juliasytch@mail.ru

Фисенко Елена Полиектовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник лаборатории ультразвуковой диагностики отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. SCOPUS Author ID: 6507536162. E-mail: e.fissenko@mail.ru

Катрич Алексей Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделением ультразвуковой диагностики ГБУЗ “Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница №1 им. проф. С.В. Очаповского” Минздрава Краснодарского края; доцент кафедры хирургии №1 ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет” Минздрава России, Краснодар. <https://orcid.org/0000-0003-1508-203X>. E-mail: katrich-a1@yandex.ru

Буланов Михаил Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделением ультразвуковой диагностики ГБУЗ ВО “Областная клиническая больница”, Владимир; профессор кафедры внутренних болезней Института медицинского образования ФГБОУ ВО “Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого”, Великий Новгород. <https://orcid.org/0000-0001-8295-768X>. E-mail: doctorbultanov@gmail.com

Contact*: Yulia P. Sych – e-mail: juliasytch@mail.ru

Yulia P. Sych – Cand. of Sci. (Med.), Associated Professor, Department of Endocrinology No 1, Institute of Clinical medicine, I.I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7000-0095>. SCOPUS Author ID: 57219462677. E-mail: juliasytch@mail.ru

Elena P. Fisenko – Doct. of Sci. (Med.), Chief Researcher, Ultrasound Diagnostics Department, B.V. Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. SCOPUS Author ID: 6507536162. E-mail: e.fissenko@mail.ru

Aleksey N. Katrich – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Ultrasound Diagnostics Department, The First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky; Associate Professor, Kuban State Medical University, Krasnodar. <https://orcid.org/0000-0003-1508-203X>. E-mail: katrich-a1@yandex.ru

Mikhail N. Bulanov – Doct. of Sci. (Med.), Head of Ultrasound Diagnostics Department, Regional Clinical Hospital, Vladimir; Professor, Division of Internal Medicine, Institute of Medical Education, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod. <https://orcid.org/0000-0001-8295-768X>. E-mail: doctorbultanov@gmail.com



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1617>



Потенциал мультипараметрического ультразвукового исследования с контрастированием для детекции и прогнозирования статуса сигнальных лимфатических узлов при инвазивном раке молочной железы

© Бикеев Ю.В.^{1*}, Родионова М.В.¹, Сенча А.Н.^{1,3},
Родионов В.В.¹, Кометова В.В.¹, Колядина И.В.^{1,2}

¹ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Академика Опарина, д. 4, Российская Федерация

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

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

Аксиллярное картирование и оценка статуса подмышечных лимфатических узлов (ЛУ) остается ключевым вопросом стадирования для определения тактики и алгоритмов ведения пациенток с инвазивным раком молочной железы (РМЖ). Для повышения информативности используют различные методики ультразвукового метода (эластография, ЦДК, SMI); в последние годы в практику активно внедряется методика с применением ультразвуковых контрастных препаратов (УЗКП), что повышает диапазон диагностических возможностей ультразвукового метода.

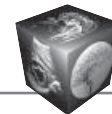
Цель исследования: оценить диагностическую эффективность методики контраст-усиленного ультразвукового исследования (КУЗИ) и мультипараметрического УЗИ с включением ультразвукового контрастирования для детекции и прогнозирования метастазирования в сигнальных лимфатических узлах (СЛУ) на амбулаторном этапе.

Материал и методы. В настоящем исследовании проведен комплексный анализ данных 120 первичных больных с инвазивным РМЖ для оценки диагностической ценности качественной, количественной и комбинированной модели с ультразвуковым контрастированием (ультразвуковой контраст Соновью, путь введения – параареоларно внутрикочно в общем объеме 1 мл), а также мультипараметрической модели (комбинация КУЗИ, данных В-режима и ЦДК). Проведен статистический анализ (логистическая регрессия, ROC-анализ), в том числе по подгруппам в зависимости от вида метастаза и метастатической нагрузки на аксиллярные ЛУ.

Результаты. Метастазы в подмышечных ЛУ выявлены в 29,2% случаев; доля пациентов pN+ возрастала от паттернов I–II к IV–V (до 71–100%; $p < 0,001$); объединение III–VI паттернов в сравнении с I–II давало ОШ = 6,0. В-режим играл ведущую роль в прогнозировании метастаза по признаку утолщения кориекса более 3 мм ($p < 0,001$; AUC 0,84), поперечный размер и тип кровотока в режиме ЦДК имели умеренную информативность ($p = 0,02$ и $p = 0,077$ соответственно). Интеграция признаков улучшала точность: комбинированная модель (паттерны+ количественные метрики) обеспечивала AUC 0,686, чувствительность 60%, специфичность 81,2%, а мультипараметрическая (комбинированная с дополнением данных В-режима и ЦДК) – наивысшие значения (AUC 0,78, чувствительность 65,8%, специфичность 80%).

Закключение. Внутрикочное параареоларное введение УЗКП обеспечивает высокую частоту идентификации СЛУ и позволяет прогнозировать статус и метастатическое поражение ЛУ. Мультипараметрическое УЗИ, комбинирующее данные В-режима, ЦДК и КУЗИ, повышает диагностическую точность аксиллярного стадирования у больных РМЖ.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование с контрастированием; сигнальный лимфатический узел; рак молочной железы; мультипараметрическое ультразвуковое исследование; ультразвуковой контрастный препарат



Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Бикеев Ю.В., Родионова М.В., Сенча А.Н., Родионов В.В., Кометова В.В., Колядина И.В. Потенциал мультипараметрического ультразвукового исследования с контрастированием для детекции и прогнозирования статуса сигнальных лимфатических узлов при инвазивном раке молочной железы. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 68–80. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1617>

Поступила в редакцию: 21.11.2025. **Принята к печати:** 14.02.2026. **Опубликована online:** 19.02.2026.

The potential of multiparametric contrast-enhanced ultrasound to detect and predict sentinel lymph node status in invasive breast cancer

© Yury V. Bikeev^{1*}, Maria V. Rodionova¹, Alexandr N. Sencha^{1, 3},
Valery V. Rodionov¹, Vlada V. Kometova¹, Irina V. Kolyadina^{1, 2}

¹ National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Akademika Oparina str., Moscow 117997, Russian Federation

² 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

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

Axillary mapping and assessment of axillary lymph node status remains a key staging issue for determining treatment strategies and algorithms for patients with invasive breast cancer. Various ultrasound techniques (elastography, color Doppler, and SMI) are used to improve diagnostic accuracy. In recent years, ultrasound contrast agents have been widely adopted, increasing the diagnostic capabilities of ultrasound.

The aim: to evaluate the diagnostic efficiency of CEUS and multiparametric ultrasound with the inclusion of the ultrasound contrast technique in preoperative detection and prediction of metastases in the SLN.

Materials and methods. This study included a comprehensive analysis of data from 120 up-front patients with invasive breast cancer to evaluate the diagnostic value of qualitative (contrast patterns), quantitative, combined and multiparametric (combined CEUS parameters + B-mode) models.

Results. Axillary lymph node metastases were detected in 29.2% of cases; the proportion of pN+ patients increased from patterns I–II to IV–V (up to 71–100%; $p < 0.001$); combining patterns III–VI versus I–II yielded an OR of 6.0. B-mode showed a leading role in predicting metastasis based on cortical thickening of more than 3 mm ($p < 0.001$; AUC 0.84), transverse size and blood flow type in the color Doppler imaging mode had moderate information content ($p = 0.02$ and $p = 0.077$, respectively). Integration of features improved accuracy: combined model – AUC 0.686, sensitivity – 60%, specificity – 81.2%, and multiparametric (combined with the addition of B-mode and color Doppler imaging) – the highest values (AUC 0.78; sensitivity 65.8%, specificity 80%).

Conclusion. Intradermal paraareolar ultrasound injection of contrast agent provides a high rate of lymph node (SLN) identification and predict the status and metastatic burden of axillary lymph nodes. Multiparametric ultrasound, combining B-mode, color Doppler, and CEUS improves the diagnostic accuracy of axillary staging in patients with breast cancer.

Keywords: contrast-enhanced ultrasound; sentinel lymph node; breast cancer; multiparametric ultrasound; ultrasound contrast agent

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

For citation: Bikeev Y.V., Rodionova M.V., Sencha A.N., Rodionov V.V., Kometova V.V., Kolyadina I.V. The potential of multiparametric contrast-enhanced ultrasound to detect and predict sentinel lymph node status in invasive breast cancer. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 68–80. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1617>

Received: 21.11.2025.

Accepted for publication: 14.02.2026.

Published online: 19.02.2026.



Введение

С учетом современных хирургических подходов и клинического ведения больных раком молочной железы (РМЖ) при обеспечении онкологической безопасности и сохранении показателей общей и безрецидивной выживаемости детекция и оценка статуса сигнальных лимфатических узлов (СЛУ) являются важным этапом в диагностических алгоритмах и при планировании тактики лечения.

Современная онкомаммология рассматривает метастазирование в аксиллярные ЛУ как один из важных прогностических критериев при РМЖ, поэтому биопсия сигнального лимфатического узла (БСЛУ) становится стандартным этапом хирургического стадирования больных с этой формой заболевания, особенно при первично-операбельном РМЖ [1–5]. В процессе получения новых данных по общей и безрецидивной выживаемости больных РМЖ в зависимости от индивидуальных особенностей и объема вмешательства на подмышечных ЛУ происходит пересмотр векторов хирургического лечения данной патологии: переход от расширенной мастэктомии к модифицированным и органосохранным операциям на молочной железе (МЖ) с деэскалацией аксиллярной хирургии. Изменения подходов к тактике и объему хирургического вмешательства позволили не только повысить качество жизни, но и снизить частоту развития осложнений, в том числе вторичной лимфедемы верхней конечности за счет сохранения лимфодренажной функции.

Традиционные методы визуализации часто характеризуются низкими показателями чувствительности и точности при выявлении СЛУ, из-за чего в большинстве случаев требуется их интраоперационная детекция с применением радиоизотопных, флуоресцентных или красящих препаратов. В 2004 г. B.B. Goldberg и соавт. сообщили об удачном опыте визуализации ЛУ с помощью подкожного введения контрастных препаратов, что послужило прорывом для этой методики в выявлении СЛУ при опухолях разных локализаций, включая рак МЖ, вульвы, полового члена и орофарингеальной зоны [4, 6–9].

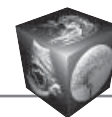
Результаты исследования ACOSOG Z0011 продемонстрировали отсутствие повышения показателей выживаемости у когорты пациентов с ограниченным поражением СЛУ при расширенном объеме вмешательства на аксиллярных ЛУ [10]. На проспективной платформе I-SPY2 зафиксированы снижение частоты выполнения лимфодиссекций и рост доли пациенток с БСЛУ (в том числе после неоадьювантной химиотерапии), что отражает смещение тактики в сторону деэскалации аксиллярной хирургии в большой популяции пациенток

[11]. На этом фоне потребность в надежной неинвазивной предоперационной методике для детекции и оценки статуса СЛУ только усиливается.

Предоперационное или амбулаторное стадирование регионарных зон лимфооттока остается приоритетной диагностической задачей. Возможности мультипараметрического ультразвукового исследования (УЗИ) расширяются за счет внедрения и более широкого использования новых методов и технологий: SMI, эластография, применение ультразвуковых контрастных препаратов (УЗКП). В исследовании Q. Zhang и соавт. проведено сравнение диагностических возможностей основных ультразвуковых модальностей: В-режим, эластография и контраст-усиленное ультразвуковое исследование (КУЗИ) с внутрикожным введением УЗКП. Было доказано повышение чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной прогностической ценности до 94, 89, 86 и 95% соответственно, а точность детекции достигала 100% (при сравнении с методикой с использованием красителя метиленовый синий) [12]. Метаанализ X.W. Yuan и соавт. был посвящен детекции и особенностям контрастирования СЛУ в зависимости от способа введения УЗКП; было показано, что периареолярное интрадермальное введение УЗКП (контрастирование через лимфатические протоки) превосходит внутривенное контрастирование по чувствительности и площади под кривой AUC в выявлении метастазов СЛУ, снижает частоту недиагностированных метастазов. Частота пропущенных метастатических ЛУ при внутрикожном введении составила 12% (при внутривенном введении – 42%), площадь под ROC-кривой – 0,94 [13].

Трансдермальное введение УЗКП с трассировкой по лимфатическим сосудам обеспечивает высокую частоту детекции СЛУ, улучшает отбор пациентов для предоперационной тонкоигольной аспирационной биопсии и core-биопсии и потенциально прогнозирует метастатический статус ЛУ и общее метастатическое поражение подмышечных ЛУ по типам контрастирования узла [8, 10, 14–16].

W. Pang и соавт. выполнили 102 КУЗИ с внутрикожным введением УЗКП и классифицировали особенности накопления в ЛУ на 4 типа (I–IV, 6 подтипов); СЛУ и лимфатические сосуды визуализировались в 100% случаев, конкордантность составила 98%. По сравнению с серошкальным УЗИ методика с УЗКП значительно повышала диагностические возможности методики при прогнозировании метастатического поражения подмышечных ЛУ (AUC 0,794 против 0,579; $p < 0,001$): III–IV типы накопления ассоциировались с высокой частотой метастазов (74,4 и 87,5%), I–IIa–IIb –



чаще выявлялись при отсутствии метастазов (pN0). По общей метастатической нагрузке на подмышечные ЛУ при I, IIa, IIb и IIIa типах накопления, как правило, выявляли ≤ 2 метастатических СЛУ (95,5% совпадений с гистологией), IIb и IV типы ассоциированы с поражением >2 подмышечных ЛУ (71,4% совпадений); площадь под ROC-кривой при прогнозировании метастатической нагрузки на ЛУ составила 0,879 ($p < 0,001$) [8].

В исследовании Q. Cui и соавт. в проспективной когорте ($n = 109$) методика КУЗИ обеспечивала детекцию СЛУ на уровне 96,3%, при этом конкордантность с методикой с синим красителем blue dye составила 100% [17]. В работе J. Liu и соавт. уровень детекции СЛУ достигал 71,17%, а точность навигации с помощью КУЗИ при биопсии ЛУ – 94,67% [18]. При этом литературные данные подчеркивают ограничения и факторы, влияющие на точность методики: высокая чувствительность КУЗИ сопровождается умеренной специфичностью из-за ложноположительных паттернов, что подчеркивает необходимость стандартизации критериев оценки.

Целью исследования Y. Dong и соавт. стало изучение факторов, влияющих на результат предоперационного поиска СЛУ с чрескожным введением препарата Соновью. В когорте из 176 человек было показано, что чувствительность, специфичность и точность методики составляет 81,5, 90,7 и 87,8% соответственно, частота ложноотрицательных и ложноположительных результатов – 18,5 и 9,3%. Также было продемонстрировано, что возраст, локализация, глубина опухоли в толще МЖ и метастазы являются независимыми факторами, предрасполагающими к отрицательному результату в выявлении СЛУ [19].

Отдельные исследования по мультипараметрическим методикам оценки СЛУ показывают, что стандартизация протокола КУЗИ (с возможной маркировкой хода лимфатических сосудов и СЛУ) в сочетании с эластографией и морфологической верификацией обеспечивает оптимальный баланс точности и воспроизводимости методики [3, 5, 20].

Несмотря на увеличение числа исследований, посвященных применению УЗКП для выявления и прогнозирования статуса СЛУ, отсутствие стандартизированных протоколов ограничивает внедрение данной методики в рутинную предоперационную диагностику и стадирование РМЖ [21]. Несмотря на широкое освещение клинической значимости КУЗИ в литературе, небольшое количество исследований посвящено анализу количественных переменных и особенностям накопления и распределения УЗКП в ЛУ, оказывающим влия-

ние на диагностические результаты. В исследованиях с трансдермальным введением УЗКП отмечается вариабельность частоты детекции; при этом отсутствие визуализации ЛУ не всегда указывает на метастатическое поражение, а визуализируемые СЛУ могут нести метастатическую нагрузку [21–23].

В настоящее время методика оценки СЛУ с применением УЗКП ограничивается вариабельностью технического проведения и умеренной специфичностью стратификации на паттерны без унифицированной шкалы. Требуются многоцентровые исследования с унификацией протоколов (доза препарата, точки инъекции, классификация типов усиления), корреляция с видом метастаза (макро-, микрометастазы, изолированные опухолевые клетки) и общей метастатической нагрузкой на подмышечные ЛУ [11, 12, 24, 25].

Материал и методы

Данное проспективное исследование проведено на базе отделения патологии молочной железы и отдела визуальной диагностики ФГБУ “НМИЦ АГиП имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России в период май 2024 г. – январь 2025 г. и было одобрено на заседании комиссии по этике биомедицинских исследований при ФГБУ “НМИЦ АГиП имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России 5 сентября 2024 г. Всеми пациентами, включенными в исследование, было подписано добровольное информированное согласие.

Критерии включения: женщины старше 18 лет, первично-операбельный РМЖ, клиническая стадия Ia–IIIa (cT1–3 N0–1 M0), гистологически верифицированный инвазивный РМЖ, определенный иммуногистохимический фенотип. Критерии исключения: гистологические формы неинвазивного РМЖ (DCIS/LCIS), первично-неоперабельные формы РМЖ, пациенты после предоперационной неоадъювантной химиотерапии (НАХТ), отдаленные метастазы (M1), беременность и лактация в период проведения исследования, выраженная сопутствующая соматическая патология, аллергические реакции на препараты гексафторида серы.

Дизайн исследования включал мультипараметрическое исследование зон регионарного метастазирования, ультразвуковое контрастирование с применением УЗКП, детекцию с последующей маркировкой СЛУ красителем, интраоперационную детекцию СЛУ меченных радиофармпрепаратом и красителем (методика двойного контрастирования), на заключительном этапе – проведение и интерпретация срочного и планового гистологического исследования удаленных ЛУ.



Этапы, связанные с ультразвуковым методом, выполнялись в день операции на диагностической ультразвуковой системе Resona 9 (Mindray, КНР) с использованием линейного датчика L1 4–5 WU. При оценке в В-режиме учитывались ультразвуковые признаки: поперечный и продольный размеры ЛУ, толщина и равномерность коркового слоя, соотношение длинной/короткой оси, форма узла и его контуры. Дополнительно в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) оценивался тип кровотока. После мультипараметрического исследования МЖ и зон регионарного метастазирования выполнялось исследование с УЗКП. В качестве ультразвукового контраста применяли гексафторид серы – препарат Соновью (BraccoSwiss, SA, Швейцария), который вводили интрадермально, параареолярно в 4 точки (3,6,9,12 часов условного циферблата) по 0,25 мл в каждую для создания папул (депо контраста) с последующим поверхностным массажем по направлению от ареолы к аксиллярной области для ускорения пассажа раствора контраста по лимфатическим протокам. Детекцию проводили сразу после окончания введения раствора УЗКП. Выявляли контрастируемые лимфатические протоки в наружных квадрантах МЖ с последующим выявлением зоны/зон с максимальным сигналом контрастирования в аксиллярной области (СЛУ), затем соотносили зоны контрастирования с ультразвуковым изображением ЛУ в В-режиме (левая часть экрана). Для маркировки зоны с СЛУ, выявленного методикой ультразвукового контрастирования, вводили краситель (индигокармин 0,4 мг/мл) в объеме 0,15 мл.

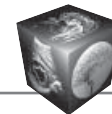
В исследование было включено 120 пациенток с верифицированным инвазивным РМЖ, поступивших на хирургическое лечение без предоперационной НАХТ. Средний возраст составил $55,9 \pm 11,8$ года; по репродуктивной функции 2/3 пациенток находились в пери- и постменопаузальном периоде, что отражает общую структуру популяции больных инвазивным РМЖ, 30,5% пациенток были репродуктивного возраста (табл. 1).

По локализации в МЖ опухоль выявлялась в правой и левой железах со схожей частотой (правая МЖ – 58 (48,3%), левая МЖ – 62 (51,7%)), по квадрантам – чаще в наружных квадрантах (в первую очередь верхненаружный – 56,7%), во внутренних квадрантах и центральной зоне – значительно реже (32 (26,7%) случая). По гистологическому типу в подавляющем большинстве случаев была выявлена инвазивная протоковая карцинома неспецифического типа – 78 (65%), реже – дольковый рак (7,5%), смешанный протоково-дольковый, муцинозный, тубулярный и редкие формы рака – в 6,7, 4,2, 3,3 и 10,8% соответ-

Таблица 1. Распределение пациенток по клинико-морфологическим характеристикам и дополнительным параметрам, статусу сигнального лимфатического узла (n = 120)

Table 1. Distribution of patients by clinico-morphological characteristics and additional parameters, and sentinel lymph node status (n = 120)

Показатель / Indicator	n	%
Репродуктивный возраст / Reproductive age:		
репродуктивный / reproductive	36	30.5
перименопауза / perimenopause	39	33.1
постменопауза / postmenopause	43	36.4
Квадрант молочной железы / Breast quadrant:		
верхненаружный / upper outer	68	56.7
верхневнутренний / upper inner	12	10.0
нижненаружный / lower outer	20	16.7
нижневнутренний / lower inner	9	7.5
центральная зона / central zone	11	9.1
Гистологическая форма рака / Histological type:		
протоковый / ductal	78	65.0
дольковый / lobular	9	7.5
протоково-дольковый / ductal-lobular	8	6.7
тубулярный / tubular	4	3.3
муцинозный / mucinous	5	4.2
микропапиллярный / micropapillary	3	2.5
прочие формы / other types	13	10.8
Grade (инвазивный рак / invasive cancer):		
I	10	8.3
II	72	60.0
III	38	31.7
Клиническая стадия / Clinical stage (cT):		
cT1	20	16.7
cT2	68	56.7
cT3	32	26.6
Молекулярный подтип / Molecular subtype:		
люминальный A / luminal A	24	20.0
люминальный B HER2– / luminal B HER2–	52	43.3
люминальный B HER2+ / luminal B HER2+	16	13.3
нелюминальный HER2+ / non-luminal HER2+	6	5.0
трижды негативный / triple-negative	18	15.0
Статус лимфатических узлов / Lymph node status (pN):		
pN0	85	70.8
pN1mi	4	3.3
pN1a	26	21.7
pN2–3	5	4.2
Стадия опухолевого процесса / Stage:		
I A	65	54.2
I B	5	4.2
II A	33	27.5
II B	13	10.8
III A	4	3.3



ственно. По дифференцировке преобладали опухоли с умеренной степенью G2 – 60%. По размерам первичной опухоли преобладали опухоли размером 2–5 см (сT2 – 56,7%), меньшая часть относилась к категориям сT1 (16,7%) и сT3 (26,6%). Когорта преимущественно была представлена пациентками с ранними стадиями РМЖ: IA – 54,2%, IB – 4,2%, IIA – 27,5%, IIB – 10,8% и IIIA – 3,3%. По молекулярным подтипам опухолей преобладали люминальные варианты: люминальный В HER2-отрицательный (43,3%) и люминальный А (20,0%), агрессивные подтипы (HER2-положительный и трижды негативный) встречались в 18% случаев.

Метастатическое поражение подмышечных ЛУ (pN+) было выявлено в 35 (29,1%) случаях, макрометастазы – в 85,7% от всех метастазов, микрометастазы – в 11,5%, изолированные опухолевые клетки – в 2,8% наблюдений. Объем аксиллярной хирургии выполнялся в различных объемах: биопсия СЛУ – 90 (75%), подмышечная лимфодиссекция (расширение объема после БСЛУ) – 30 (25%), среднее количество удаленных ЛУ – $4,83 \pm 4,4$, после проведения БСЛУ – среднее количество удаленных СЛУ – 2,65.

Качественные характеристики (стратификация на паттерны контрастирования). На основе визуальной оценки интенсивности сигнала при контрастировании и особенностей распределения УЗКП в структурах ЛУ выделены 2 типа накопления: гомогенное и гетерогенное. При гомогенным распределением УЗКП были выделены 2 подтипа – с интенсивным накоплением (I паттерн), со слабоинтенсивным накоплением (II паттерн). В зависимости от объема дефектов перфузии в структуре ЛУ, которые определялись путем динамического наблюдения за различными участками ЛУ, было проведено разделение на ЛУ с объемом дефектов менее 50% (III паттерн) и ЛУ, в которых дефекты перфузии занимали более 50% объема ЛУ (IV паттерн). Кольцевидное (периферическое распределение УЗКП) было выделено для V паттерна. Кроме ЛУ с различным типом контрастирования, были выявлены лимфатические протоки от места депонирования УЗКП в ареоларной области, которые прослеживались на всем протяжении до подмышечной области, но без наступившего контрастирования ЛУ (визуализируемого в референсной зоне монитора ультразвукового сканера в В-режиме – VI паттерн). Если структуры ЛУ не визуализировались в В-режиме при условии контрастирования протоков, то контрастирование и определение паттерна не учитывались. В нашей когорте наиболее часто встречаемые I и II паттерны выявлены в 72,5% случаев, IV, V и VI паттерны

контрастирования выявлялись в 6,7, 5,8 и 1,7% соответственно (рис. 1а–в).

В совокупности в 29,1% случаев (35/120) выявлены метастазы в подмышечных ЛУ. Чаще всего метастатическое поражение выявлялось при IV, V, VI паттернах – 87,5, 71,4 и 100% соответственно, I–II паттерны преимущественно ассоциировались с pN0 (80–86%), метастазы были выявлены в 19,7 и 14,3% случаев соответственно (табл. 2).

Статистическая значимость связи между паттерном и статусом pN подтверждена ($\chi^2 = 29,23$, $df = 5$, $p < 0,001$); отмечается зависимость увеличения доли ЛУ с метастатическим поражением (pN+) от I к VI паттерну ($Z = 4,64$, $p < 0,001$). Сравнение объединенных групп “III–VI паттерны” и “I–II паттерны” выявило отношение шансов (ОШ) для pN+, равное 6,02 (95% ДИ 2,50–14,49), что свидетельствует о повышении вероятности метастатического поражения при неблагоприятных паттернах контрастирования (практически в 6 раз).

Количественный анализ. В режиме постобработки с помощью программного обеспечения на записанных видеоизображениях строили кривые интенсивности (Time–Intensity Curves) на основании количественных метрик, отражающих особенности поступления, распределения и вымывания УЗКП: PKI – максимальная (пиковая) интенсивность усиления; AT (arrival time) – время поступления УЗКП в ЛУ; RT (rising time) – время нарастания сигнала до пика; TTP (time to peak) – время до достижения максимальной интенсивности сигнала; AS – наклон восходящей фазы кривой (разрешающая способность усиления); DS – наклон нисходящей фазы; FT – время фазового снижения сигнала усиления; SR (signal ratio) – отношение сигнала узла к окружающим тканям на пике контрастирования.

При оценке количественных характеристик учитывали данные 118 пациенток, так как у 2 определялся аконтрастный (VI тип) паттерн. Количественные параметры КУЗИ продемонстрировали различия распределений между группами pN0 и pN+, что подтверждается U-критерием Манна–Уитни для ряда метрик (табл. 3). Для каждого показателя рассчитаны медиана с межквартильным размахом (median [IQR]) в группах pN0 и pN+, значение p при использовании U-критерия, а также ROC-характеристики: AUC с 95% доверительным интервалом и оптимальный порог Юдена. Статистически значимых различий по U-критерию не выявлено (все метрики – $p > 0,05$). Наиболее информативные параметры (по AUC): RT – 0,604 (0,483–0,723); TTP – 0,597 (0,474–0,712); PKI – 0,592 (0,471–0,710).

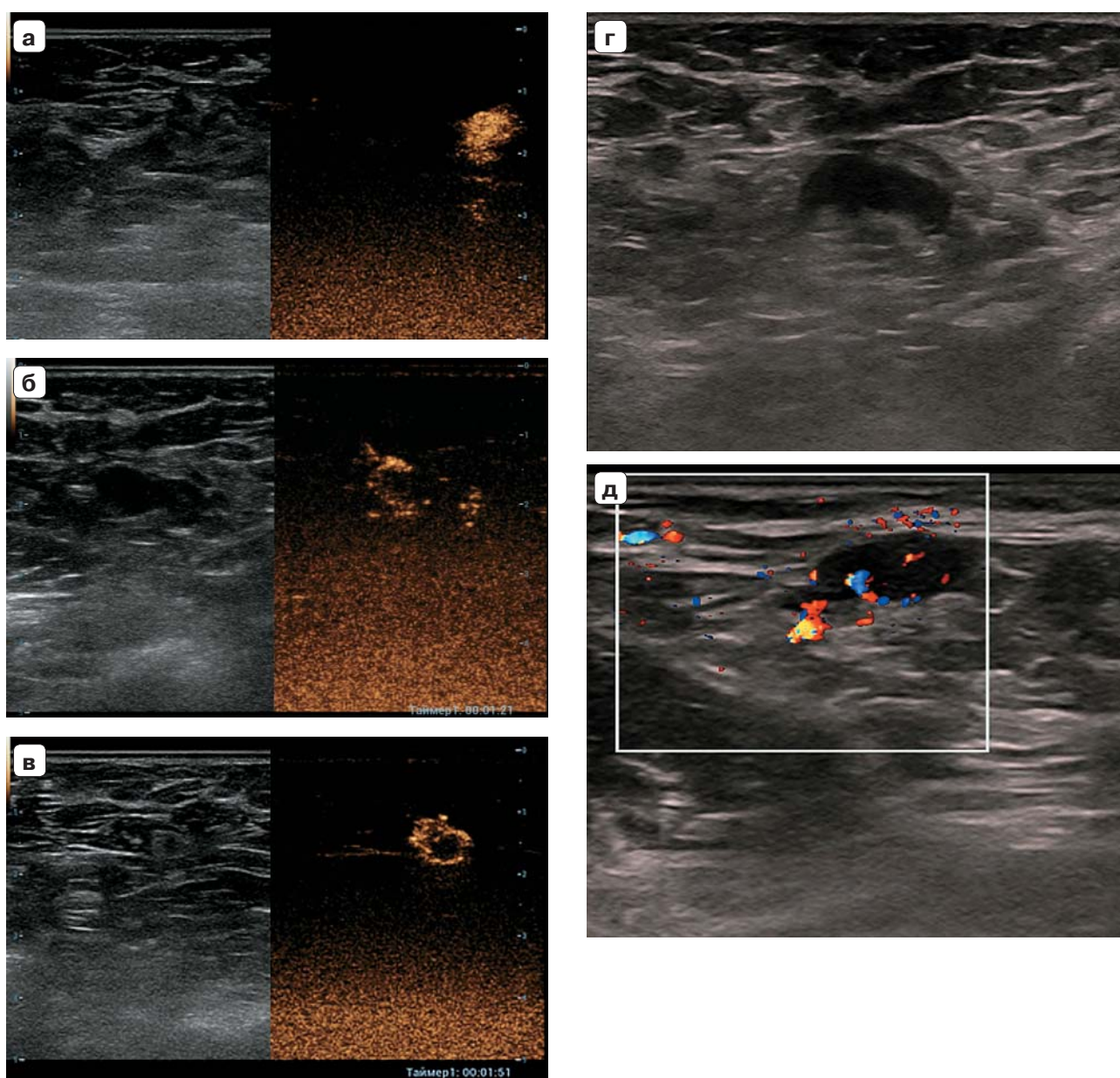


Рис. 1. Паттерны контрастирования и ультразвуковые признаки в В-режиме, характерные для метастатического поражения СЛУ. Эхограммы паттернов контрастирования. **а** – III тип (гетерогенное распределение УЗКП, дефекты перфузии занимают <50% объема ЛУ); **б** – IV тип (гетерогенное контрастирование с множественными дефектами перфузии >50% объема ЛУ); **в** – V тип (периферическое (кольцевидное) распределение УЗКП); **г** – эхограмма ЛУ в В-режиме. Визуализируется лимфатический узел с неравномерным утолщением кортикального слоя до 4,2 мм; **д** – эхограмма ЛУ в режиме ЦДК. Отмечаются периферический (нехилусный) тип кровотока, множественные цветные локусы в кортексе.

Fig. 1. Contrast-enhancement patterns and B-mode ultrasound features characteristic of metastatic SLNs. CEUS images. **a** – type III pattern (heterogeneous enhancement with perfusion defects occupying <50% of the nodal volume); **b** – type IV (heterogeneous enhancement with multiple perfusion defects occupying >50%); **c** – type V (peripheral/annular enhancement); **d** – B-mode image: lymph node with asymmetric cortical thickening up to 4.2 mm; **e** – color Doppler image: peripheral (non-hilar) vascularity with multiple cortical color foci.

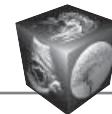


Таблица 2. Распределение паттернов контрастирования и связь со статусом сигнального лимфатического узла и видом метастаза (pN), n = 120

Table 2. Distribution of contrast-enhancement patterns and association with SLN status and metastasis type (pN), n = 120

Паттерн Pattern	Всего Total n (%)	Статус ЛУ, n (%) LN status, n (%)		Вид метастаза, n (%) Type of metastasis, n (%)		
		pN0	pN+	макрометастаз macrometastasis	микрометастаз micrometastasis	ИОК ITC
I	66 (55.0%)	53 (80.3%)	13 (19.7%)	9 (69.2%)	4 (30.8%)	1 (1.5%)
II	21 (17.5%)	18 (85.7%)	3 (14.3%)	3 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
III	16 (13.3%)	11 (68.8%)	5 (31.2%)	4 (80.0%)	1 (20.0%)	0 (0.0%)
IV	8 (6.7%)	1 (12.5%)	7 (87.5%)	7 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
V	7 (5.8%)	2 (28.6%)	5 (71.4%)	5 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
VI	2 (1.7%)	0 (0.0%)	2 (100.0%)	2 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Всего / Total	120 (100.0%)	85 (70.8%)	35 (29.2%)	30 (85.7%)	5 (14.3%)	1 (0.8%)

Таблица 3. Количественные параметры КУЗИ (TIC-кривая) и связь с pN (n = 118)

Table 3. Quantitative CEUS parameters (time–intensity curve, TIC) and association with pN (n = 118)

Параметр Indicator	pN0: median [IQR]	pN+: median [IQR]	U-тест p	AUC (95% ДИ)	Попор Youden Youden cut-off	Se/Sp
AS	0.26 [0.12; 0.64]	0.2 [0.1; 1.04]	0.59	0.532 (0.407–0.653)	0.75	0.39/0.78
AT	16.1 [9.4; 24.7]	16.1 [10.2; 31.7]	0.66	0.526 (0.410–0.642)	7.2	0.91/0.22
DS	1.55 [0.47; 2.63]	1.29 [0.57; 2.65]	0.96	0.503 (0.388–0.618)	0.28	0.91/0.16
FT	6.7 [3.7; 11.2]	9.2 [3.8; 12.2]	0.23	0.571 (0.445–0.688)	11.8	0.42/0.82
PKI	16.7 [11.1; 22.4]	13.4 [8.13; 20.2]	0.12	0.592 (0.471–0.710)	–9.06	0.36/0.89
RT	65.2 [27; 99.1]	31.8 [12.4; 96.2]	0.08	0.604 (0.483–0.723)	–21.2	0.42/0.82
SR	6.64 [1.78; 15.6]	4.09 [0.9; 15.5]	0.39	0.551 (0.422–0.679)	–1.71	0.45/0.75
TTP	87.8 [52.5; 121]	62.5 [38.6; 113]	0.10	0.597 (0.474–0.712)	–83.1	0.64/0.58

Ультразвуковые признаки в В-режиме и режиме ЦДК. Анализ ультразвуковых признаков проводился отдельно для каждого показателя. При анализе проводились оценка продольного и поперечного размеров ЛУ, равномерность кортекса, измерение толщины кортекса в максимальном месте расширения и оценивался вид кровотока в режиме ЦДК (хилусный и нехилусный). Для бинарных признаков рассчитывалось р-значение по критерию Фишера или χ^2 ; для категориальных – общее р в критерии χ^2 ; для числовых – сравнивали медианы (median [IQR – межквартильный диапазон]) с помощью критерия Манна–Уитни, для каждого признака была дополнительно рассчитана дискриминационная способность (табл. 4).

В результате проведенного анализа было выявлено 2 статистически значимых признака: толщина кортикального слоя ЛУ оказалась существенно выше при pN+ ($p < 0,001$; AUC = 0,84), что свиде-

тельствует о высокой дискриминационной способности данного параметра. Поперечный размер ЛУ демонстрирует умеренные различия ($p = 0,02$; AUC = 0,63) (рис. 1г, д). Дополнительно при сравнении типов кровотока отмечалось, что наличие периферического (нехилусного) кровотока чаще ассоциировалось с метастатическим поражением ЛУ. Доля пациентов с нехилусным типом кровотока была значительно выше в группе с метастазами (41%), что подчеркивает диагностическую значимость этого признака при УЗИ.

Для остальных признаков статистически значимых различий не получено ($p > 0,05$); площадь под ROC-кривой AUC соответствуют низкой или умеренной информативности.

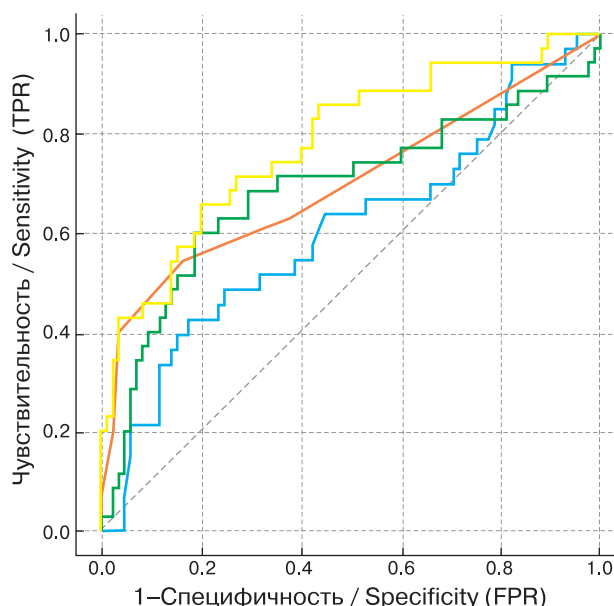
При анализе по паттернам КУЗИ получены диагностические показатели чувствительности и специфичности на уровне 54,3 и 83,5% соответственно, площадь под ROC-кривой AUC составила 0,7, что соответствует умеренной дискриминации.

**Таблица 4.** Диагностическая ценность ультразвуковых признаков (В-режим и ЦДК) при прогнозировании метастазов в сигнальном лимфатическом узле (однофакторный анализ)**Table 4.** Diagnostic value of ultrasound features (B-mode and color Doppler) for predicting sentinel lymph node metastasis (univariable analysis)

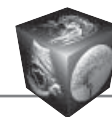
Признак Feature	pN+ при наличии признака pN+ in presence of the feature, n/N (%)	pN+ при отсутствии признака pN+ in absence of the feature, n/N (%)	ОШ (95% ДИ) OR (95% CI)	p (Fisher/ χ^2)	AUC
Продольный размер, мм Longitudinal size, mm	pN0: 17.1 [14.7; 19.5]	pN+: 15 [14.5; 17.5]	–	0.48	0.541
Поперечный размер, мм Transverse size, mm	pN0: 7 [6; 8]	pN+: 8 [6.5; 10]	–	0.02	0.633
Равномерность кортекса (да/нет) Cortical uniformity (yes/no)	16/41 (39.0%)	19/79 (24.1%)	2.02 (0.90–4.55)	0.13	0.582
Толщина кортекса, мм Cortical thickness, mm	pN0: 2.3 [1.8; 2.9]	pN+: 3.2 [2.8; 3.85]	–	<0.001	0.840
Кровоток хилусный/нехилусный) Hilar / non-hilar blood flow	16/39 (41.0%)	19/81 (23.5%)	2.27 (1.00–5.15)	0.07	0.593

Количественный подход (лучший показатель – RT) показал чувствительность 42,4%, специфичность 82,4% при AUC = 0,604, т.е. ниже по общей точности. Комбинированная модель контрастирования по паттернам и количественным метрикам обеспечила чувствительность 60,0%, специфичность 81,2%, AUC = 0,686. Наилучшие интегральные показатели в прогнозировании метастатического процесса в ЛУ продемонстрировала мультипара-

метрическая модель, интегрирующая параметры КУЗИ и характеристики В-режима: чувствительность 65,7%, специфичность 80,0%, показатель площади под ROC-кривой AUC составил 0,782. В целом добавление количественных метрик и ультразвуковых признаков по В-режиму к паттернам КУЗИ повышало AUC, однако увеличение показателей чувствительности и специфичности оставалось умеренным (рис. 2).

**Рис. 2.** ROC-кривые моделей прогнозирования метастазов в сигнальном лимфатическом узле. Показаны: качественная модель со стратификацией по паттернам КУЗИ (AUC = 0,699; чувствительность 54,3%; специфичность 83,5%), количественная модель (AUC = 0,604; 42,4%; 82,4%), комбинированная модель “качественные+количественные характеристики” (AUC = 0,686; 60,0%; 81,2%) и мультипараметрическая модель (AUC = 0,782; 65,7%; 80,0%).**Fig. 2.** ROC curves of models predicting sentinel lymph node metastasis. Shown: qualitative (CEUS patterns; AUC=0.699; sensitivity 54.3%; specificity 83.5%), quantitative (AUC = 0.604; 42.4%; 82.4%), combined “qual.+quant.” (AUC=0.686; 60.0%; 81.2%), and multiparametric (AUC = 0.782; 65.7%; 80.0%) models.

- Качественная (AUC = 0.699)
Qualitative
- Количественная (AUC = 0.604)
Quantitative
- Комбинированная (AUC = 0.687)
Combined
- Мультипараметрическая (AUC = 0.782)
Multiparametric



Анализ с учетом типа метастаза показал, что все модели демонстрируют более высокую эффективность при макрометастазах по сравнению с микрометастазами (чувствительность и AUC качественного и количественного подходов снижались для микрометастазов до 0,60–0,70), что согласуется с данными о сложностях визуализации и минимальном влиянии небольших метастатических фокусов на структуры ЛУ. При увеличении метастатической нагрузки на подмышечные ЛУ точность всех моделей повышалась.

Обсуждение

В нашем исследовании была проведена оценка диагностической значимости ультразвуковых признаков в прогнозировании метастатического поражения аксиллярных ЛУ при инвазивном РМЖ. Анализ основывался на комплексной оценке качественных характеристик распределения УЗКП в структурах ЛУ с последующей стратификацией признаков по выявленным паттернам, а также включал количественные перфузионные метрики и характеристики ЛУ, полученные в В-режиме и при ЦДК.

Целью исследования являлась оценка предиктивной силы индивидуальных и интегрированных признаков при прогнозировании метастатического поражения СЛУ, а также определение вклада каждого класса показателей в общую мультипараметрическую модель прогнозирования метастазов в СЛУ.

В нашей когорте метастатическое поражение подмышечных ЛУ ($pN > 0$) составило 35 случаев – 29,1% (из них доля макрометастазов 85,7%, микрометастазов 11%, ИОК 2,8%). Данные показатели сопоставимы с диапазонами значений у пациенток с ранним РМЖ, которые приводятся в современных научных публикациях. Согласно этим данным, частота поражения СЛУ составляет около 19% у пациенток с клинической стадией T1–2N0, но может значительно увеличиваться при наличии дополнительных факторов риска [8, 19, 26].

Качественная оценка с применением паттернов КУЗИ продемонстрировала умеренную диагностическую точность ($AUC = 0,699$; специфичность 83,5%; чувствительность 54,3%), что соответствует данным литературы о вариабельности визуального определения зон гипоусиления и дефектов перфузии, обусловленных операторозависимым фактором и особенностями протокола исследования. Однако именно стратификация по паттернам отражает ключевые особенности интранодального распределения УЗКП и лежит в основе стратификации риска поражения ЛУ [11, 12, 27].

Отдельно используемые количественные метрики контрастирования уступали по эффективности визуальным шаблонам: наилучший индивидуальный показатель (RT) обеспечил $AUC = 0,604$ при чувствительности 42,4% и специфичности 82,4%. Это ожидаемо, поскольку отдельные параметры отражают разнородные аспекты лимфоциркуляции и характеризуют лишь часть вариабельности [13, 15].

По результатам однофакторного и интегративного анализа ультразвуковые предикторы в В-режиме оказались ведущими среди одиночных признаков. Наиболее информативной характеристикой оказалась толщина кортекса ЛУ: различия между группами pN0 и pN+ были статистически значимы ($p < 0,001$), дискриминационная способность оставалась на высоком уровне ($AUC = 0,84$). Полученный эффект патофизиологически объясняется утолщением коркового слоя за счет опухолевой инфильтрации и отека с последующей утратой кортико-медуллярной дифференцировки. Поперечный размер ЛУ также ассоциировался с метастатической нагрузкой на ЛУ ($p = 0,02$) при умеренном значении $AUC = 0,63$; характеристики васкуляризации в режиме ЦДК демонстрировали пограничную ассоциацию (ОШ ~2,3; $p = 0,08$; $AUC = 0,59$), выступая вспомогательными маркерами при интерпретации основных морфометрических признаков визуализации.

Наибольший практический эффект при достижении цели дала интеграция признаков в prognostic models. Комбинированная модель (паттерны + количественные метрики) обеспечила площадь под ROC-кривой $AUC = 0,686$ (чувствительность 60,0%; специфичность 81,2%), что указывает на взаимодополняемость визуальной и числовой (объективной) информации. Мультипараметрическая модель, дополнительно включающая основные ультразвуковые признаки В-режима (толщина кортекса, поперечный размер и др.), показала лучший баланс чувствительности и специфичности ($AUC = 0,782$; чувствительность 65,7%; специфичность 80,0%), что согласуется с тенденциями современных исследований, в которых КУЗИ рассматривают не изолированно, а как компонент мультипараметрического ультразвукового стадирования и прогнозирования [8, 12, 27].

Сопоставление с данными литературы показывает, что в ряде клинических исследований предоперационный анализ паттернов контрастирования СЛУ демонстрирует высокую диагностическую эффективность (чувствительность и специфичность на уровне 80–90%); при этом в части работ отмечается очень высокая чувствитель-



ность при снижении показателей специфичности [11, 12, 27]. В исследовании J. Liu и соавт. подчеркнута ограниченная специфичность до 49% при высоких показателях чувствительности (~98%) из-за ложноположительных паттернов, что является значимым аргументом в пользу комбинирования КУЗИ с В-режимом/эластографией [18]. В исследовании “трех модальностей” КУЗИ с интрадермальным и внутривенным введением УЗКП и эластографией превзошла каждую технику по отдельности и обеспечила 100% точность идентификации СЛУ [17].

Последние метаанализы указывают на преимущество чрескожного способа введения УЗКП в пери- или параареолярной области перед внутривенным способом по чувствительности при сопоставимой площади под суммарной ROC-кривой, а также на зависимость результатов от стандартизации протокола (механический индекс, частота кадров, объем контрастного препарата, длительность записи) [13]. В этом контексте умеренные показатели качественного и количественного анализов в нашем исследовании выглядят реалистично и объяснимо в связи с использованием системы стратификации по 6 паттернам и фиксацией порогов по критерию Юдена, что смещает баланс чувствительности и специфичности; была учтена вариабельность протокола и операторозависимость методик, которые нередко остаются незамеченными в одноцентровых исследованиях с узкой экспертизой [11–13, 15, 27]. При паттернах, характерных для метастазирования (IV–VI), добавление морфометрии повышает специфичность и уменьшает риск проведения ненужных инвазивных вмешательств и позволяет прогнозировать объем аксиллярной хирургии с трендом на деэскалацию [8, 16].

Таким образом, наши данные подтверждают, что одиночные ультразвуковые признаки, в частности толщина коры, обладают высокой информативностью, однако максимальная точность достигается при интеграции паттернов, количественных метрик и ультразвуковых характеристик В-режима. Такой мультипараметрический подход представляется оптимальным для предоперационного аксиллярного стадирования у пациенток с предполагаемым cN0-статусом и позволяет взвешенно подходить к планированию объема оперативного вмешательства и проводить отбор случаев для таргетной лимфодиссекции [11–13, 15, 27].

Заключение

Мультипараметрическое УЗИ, комбинирующее данные КУЗИ, В-режима и ЦДК, повышает диагностическую точность аксиллярного стадирования

и картирования у больных РМЖ в сравнении с монорежимами. Внутрикожное введение УЗКП обеспечивает высокую частоту идентификации СЛУ и позволяет прогнозировать не только статус, но и метастатическую нагрузку на подмышечные ЛУ. Ограничениями остаются вариабельность техники проведения, умеренная специфичность отдельных паттернов контрастирования и невысокие показатели количественного анализа, в связи с чем необходима стандартизация протокола и шкал оценки.

Вклад авторов

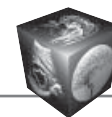
Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку рукописи, ознакомились с окончательной версией работы и одобрили ее к публикации.

Authors' participation

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. Нартокова А.С.-Х., Койчужев А.А., Марченко А.Г., Нартоков Д.Н. Клинические аспекты биопсии сигнальных лимфатических узлов при раке молочной железы: обзор литературы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021; 5 (107): 53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.053>
Nartokova A.S.-Kh., Koychuev A.A., Marchenko A.G., Nartokov D.N. On clinical aspects of sentinel lymph node biopsy in breast cancer: a literature review. *International Research Journal*. 2021; 5 (107): 53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.053> (In Russian)
2. Семиглазов В.Ф., Криворотко П.В., Жильцова Е.К., Канаев С.В., Труфанова Е.С., Крживицкий П.И., Комяхов А.В., Табагуа Т.Т., Николаев К.С., Бессонов А.А., Иванов В.Г., Гиголаева Л.П., Иванова О.А., Зернов К.Ю., Дашян Г.А., Семиглазов В.В., Емельянов А.С., Бусько Е.А., Чёрная А.В., Артемьева А.С., Новиков С.Н. Двадцатилетний опыт изучения биопсии сигнальных лимфатических узлов при раке молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2020; 16 (1): 12–20. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2020-16-1-12-20>
Semiglazov V.F., Krivorotko P.V., Zhiltsova E.K. et al. Twenty-year experience of examining biopsies of signal lymph nodes in breast cancer. *Tumors of Female Reproductive System*. 2020; 16 (1): 12–20. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2020-16-1-12-20> (In Russian)
3. Ecanow J.S., Abe H., Newstead G.M. et al. Axillary staging of breast cancer: what the radiologist should know. *Radiographics*. 2013; 33 (6): 1589–1612. <https://doi.org/10.1148/rg.336125060>
4. Goldberg B.B., Merton D.A., Liu J.B. et al. Sentinel lymph nodes in a swine model with melanoma: contrast-enhanced lymphatic US. *Radiology*. 2004; 230 (3): 727–734. <https://doi.org/10.1148/radiol.2303021440>
5. Jin L., Wang R., Zhuang L. et al. Evaluation of whole axillary status with lymphatic contrast-enhanced ultrasound in



- patients with breast cancer. *Eur. Radiol.* 2022; 32 (1): 630–638. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08100-8>
6. Gkegkes I.D., Iavazzo C. Advantages by using the intradermal microbubbles for sentinel lymph node detection in penile cancer. *Hell. J. Nucl. Med.* 2016; 19 (3): 289. <https://doi.org/10.1967/s0024499100414>
7. Lahtinen O., Eloranta M., Anttila M. et al. Preoperative sentinel lymph node localization in vulvar cancer: preliminary experience with inguinal intradermal contrast-enhanced ultrasound. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (5): 2089–2095. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5155-7>
8. Pang W., Zhou F., Zhu Y. et al. The value of percutaneous contrast-enhanced ultrasound in sentinel lymph node identification, metastatic status and burden diagnosis in early breast cancer. *J. Ultrasound Med.* 2024; 43: 293–303. <https://doi.org/10.1002/jum.16359>
9. Wakisaka N., Endo K., Kitazawa T. et al. Detection of sentinel lymph node using contrast-enhanced agent, Sonazoid™, and evaluation of its metastasis with superb microvascular imaging in oral and oropharyngeal cancers: a preliminary clinical study. *Acta Otolaryngol.* 2019; 139 (1): 94–99. <https://doi.org/10.1080/00016489.2018.1535193>
10. Du L.W., Liu H.L., Gong H.Y. et al. Adding contrast-enhanced ultrasound markers to conventional axillary ultrasound improves specificity for predicting axillary lymph node metastasis in patients with breast cancer. *Br. J. Radiol.* 2021; 94 (1118): 20200874. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200874>
11. Boughey J.C., Yu H., Dugan C.L. et al. Changes in surgical management of the axilla over 11 years – report on more than 1500 breast cancer patients treated with neoadjuvant chemotherapy on the prospective I-SPY2 trial. *Ann. Surg. Oncol.* 2023; 30 (11): 6401–6410. <https://doi.org/10.1245/s10434-023-13759-y>
12. Zhang Q., Agyekum E.A., Zhu L. et al. Clinical value of three combined ultrasonography modalities in predicting axillary lymph node metastasis risk in breast IDC. *Front. Oncol.* 2021; 11: 715097. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.715097>
13. Yuan X.W., Cao C.L., Li W.X. et al. Diagnostic value of different CEUS methods for SLN metastasis in breast neoplasms: meta-analysis and indirect comparison. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2025; 15 (6): 5660–5673. <https://doi.org/10.21037/qims-24-317>
14. Huang C., Luo J., Shan Z. et al. The value of the improved percutaneous and intravenous contrast-enhanced ultrasound diagnostic classification in sentinel lymph nodes of breast cancer. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2024; 14 (3): 2391–2404. <https://doi.org/10.21037/qims-23-1210>
15. Omoto K., Futsuhara K., Watanabe T. Sentinel lymph node identification using contrast-enhanced ultrasound in breast cancer: review of the literature. *J. Med. Ultrason.* 2024; 51 (4): 581–585. <https://doi.org/10.1007/s10396-023-01313-y>. Erratum in: *J. Med. Ultrason.* 2024; 51 (4): 693. <https://doi.org/10.1007/s10396-024-01493-1>
16. Zhu Y., Jia Y., Pang W. et al. Ultrasound contrast-enhanced patterns of sentinel lymph nodes: predictive value for nodal status and metastatic burden in early breast cancer. *Quant. Imaging Med. Surg.* 13 (1): 160–170. <https://doi.org/10.21037/qims-22-234>
17. Cui Q., Dai L., Li J. et al. Contrast-enhanced ultrasound-guided sentinel lymph node biopsy in early-stage breast cancer: a prospective cohort study. *Wld J. Surg. Oncol.* 2023; 21: 143. <https://doi.org/10.1186/s12957-023-03024-7>
18. Liu J., Liu X., He J. et al. Percutaneous contrast-enhanced ultrasound for localization and diagnosis of sentinel lymph node in early breast cancer. *Sci. Rep.* 2019; 9 (1): 13545. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49736-3>
19. Dong Y., Liu J., Jia W. et al. Factors affecting preoperative sentinel lymph nodes contrast-enhanced ultrasound in breast cancer. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2025; 15 (9): 8125–8136. <https://doi.org/10.21037/qims-2024-2879>
20. Dobruch-Sobczak K., Szlenk A., Gumowska M. et al. Multiparametric ultrasound assessment of axillary lymph nodes in patients with breast cancer. *Sci Rep.* 2024; 14 (1): 23072. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73376-x>
21. Barentsz M.W., Verkooijen H.M., Pijnappel R.M. et al. Sentinel lymph node localization with contrast-enhanced ultrasound and an I-125 seed: an ideal prospective development study. *Int. J. Surg.* 2015; 14: 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.12.019>
22. Matsuzawa F., Einama T., Abe H. et al. Accurate diagnosis of axillary lymph node metastasis using contrast-enhanced ultrasonography with Sonazoid. *Mol. Clin. Oncol.* 2015; 3 (2): 299–302. <https://doi.org/10.3892/mco.2014.483>
23. Zhong J., Sun D.S., Wei W. et al. Contrast-Enhanced Ultrasound-Guided Fine-Needle Aspiration for Sentinel Lymph Node Biopsy in Early-Stage Breast Cancer. *Ultrasound Med. Biol.* 2018; 44 (7): 1371–1378. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.03.005>
24. Бусько Е.А. Мультипараметрическое ультразвуковое исследование в ранней диагностике и мониторинге лечения рака молочной железы: Дис. ... д-ра мед. наук. СПб.: ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова” МЗ РФ, 2021. 328 с.
Busko E.A. Multiparametric ultrasound examination in early diagnosis and monitoring of treatment of breast cancer: Dis. ... Doctor of Medicine. St. Petersburg: Federal State Budgetary Institution “N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2021. 328 p. (In Russian)
25. Yuan X.W., Cao C.L., Li W.X. et al. Diagnostic value of different contrast-enhanced ultrasound (CEUS) methods for sentinel lymph node metastasis in patients with breast neoplasms: a meta-analysis and indirect comparison. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2025; 15 (6): 5660–5673. <https://doi.org/10.21037/qims-24-317>
26. Fan Y., Luo J., Lu Y. et al. The application of contrast-enhanced ultrasound for sentinel lymph node evaluation and mapping in breast cancer patients. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2023; 13 (7): 4392–4404. <https://doi.org/10.21037/qims-22-901>
27. Giuliano A.E., Ballman K.V., McCall L. et al. Effect of axillary dissection vs no axillary dissection on 10-year overall survival among women with invasive breast cancer and sentinel node metastasis: the ACOSOG Z0011 randomized trial. *JAMA.* 2017; 318: 918–926. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.11470>



Для корреспонденции*: Бикеев Юрий Васильевич – e-mail: yu.bikeev@gmail.com

Бикеев Юрий Васильевич – канд. мед. наук, врач-онколог, врач УЗИ, научный сотрудник отделения ультразвуковой и функциональной диагностики, отделения патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-3757-5025>

Родионова Мария Валерьевна – канд. мед. наук, врач-онколог отделения патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1540-5644>

Сенча Александр Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделом визуальной диагностики ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГАОУ ВО “РНИМУ им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0005-1597-1920>

Родионов Валерий Витальевич – доктор. мед. наук, заведующий отделением патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4589-3645>

Кометова Влада Владимировна – канд. мед. наук, заведующая отделением онкопатологии ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9666-6875>

Колядина Ирина Владимировна – доктор. мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отделения патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; профессор кафедры онкологии и паллиативной медицины им. акад. А.И. Савицкого ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1124-6802>

Contact*: Yuri V. Bikeev – e-mail: yu.bikeev@gmail.com

Yury V. Bikeev – Cand. of Sci. (Med.), oncologist, ultrasound specialist, departments of ultrasound and functional diagnostics, breast pathology department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-3757-5025>

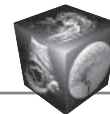
Mariya V. Rodionova – Cand. of Sci. (Med.), oncologist, Breast Pathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1540-5644>

Alexander N. Sencha – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Diagnostic Imaging Department, Professor, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0009-0005-1597-1920>

Valery V. Rodionov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Breast Pathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4589-3645>

Vlada V. Kometova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Oncoathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9666-6875>

Irina V. Kolyadina – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Leading Research Fellow, Breast Pathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Palliative Medicine, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (RMANPO), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1124-6802>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1565>



Диабетическая фетопатия – патогенез, прогнозирование, перинатальные и неонатальные исходы

© Зимина Н.Д.^{1,2*}, Фомина С.В.¹, Мицеля Е.В.^{1,2}, Самойлова Ю.Г.¹

¹ ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздрава России; 634050 Томск, Московский тракт, д. 2, Российская Федерация

² ОГАУЗ “Областной перинатальный центр им. И.Д. Евтушенко”; 634063 Томск, ул. И. Черных, д. 96/1, Российская Федерация

Сахарный диабет (СД) в период беременности связан с повышенным риском осложнений как для матери, так и для плода, а также может иметь неблагоприятные долгосрочные последствия для новорожденного. Количество случаев СД среди беременных женщин неуклонно растет, что подчеркивает актуальность этой проблемы. Несмотря на прогресс в методах диагностики и контроля уровня глюкозы у беременных с СД, осложнения во время беременности продолжают оставаться распространенными, встречаясь у 80% женщин, страдающих этим заболеванием.

Цель исследования: изучить клинико-лабораторные и ультразвуковые особенности у пациенток с гестационным СД для определения факторов риска развития данного осложнения беременности.

Материал и методы. В исследование были включено 86 пациенток, а также их новорожденные дети, которые, согласно исходам беременности, были разделены на 2 группы: основная – 43 женщины, беременность которых осложнилась развитием диабетической фетопатии, и контрольная – 43 пациентки, беременность которых закончилась рождением живого доношенного ребенка без признаков диабетической фетопатии.

Результаты. В группе женщин с гестационным СД были выявлены следующие особенности: ожирение (53% vs 11%), хроническая артериальная гипертензия (11% vs 2%), заболевания щитовидной железы (13% vs 4%) ($p < 0,05$). Наличие ожирения увеличивает шанс развития гестационного СД в 8,7 раза ($OR = 8,7$; 95% ДИ 2,885–26,478; $p = 0,001$). Лабораторные показатели продемонстрировали повышение уровня холестерина ($p = 0,04$), в то время как различий в уровнях глюкозы и гликированного гемоглобина между группами не выявлено. Ультразвуковые параметры плода показали значительные различия между группами: окружность живота превышала 75-й перцентиль ($p = 0,001$), наблюдался двойной контур головки ($p = 0,044$), толщина подкожно-жировой клетчатки шеи превышала 0,32 см ($p = 0,014$), а толщина подкожно-жировой клетчатки груди и живота превышала 0,5 см ($p = 0,007$). В контрольной группе при массе плода более 3000 г толщина подкожно-жировой клетчатки шеи составляла более 0,3 см, в то время как в основной группе составляла от 0,35 см, что указывает на необходимость пересмотра пороговых значений с целью увеличения прогностической ценности текущего признака. Статистически значимых различий в маточно-плацентарном и плодово-плацентарном кровотоке между группами не обнаружено. Антропометрические показатели новорожденных, такие как рост и масса тела, также не показали существенных различий между группами. В основной группе чаще фиксировался перивентрикулярный отек ($p = 0,02$), а лабораторные показатели у новорожденных свидетельствовали о значительном повышении частоты гипогликемии ($p = 0,0002$).

Заключение. В ходе исследования выявлены значительные особенности у женщин с гестационным сахарным диабетом, включая повышенный риск сопутствующих заболеваний, таких как ожирение и хроническая артериальная гипертензия, что подчеркивает важность тщательного мониторинга здоровья беременных и регулярных ультразвуковых обследований для оценки состояния плода. Ультразвуковые параметры показали изменения, требующие дальнейшего исследования и возможного пересмотра существующих норм. Кроме того, в связи с отсутствием значительных различий в уровнях глюкозы и гликированного гемоглобина необходимо проводить анализ вариабельности глюкозы с использованием системы непрерывного мониторингирования, что позволит обеспечить более точный контроль гликемии у пациенток и положительно скажется на их здоровье.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика; диабетическая фетопатия; метаболические нарушения; ожирение; гестационный сахарный диабет; риски беременности; перинатальные исходы; заболевания матери

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.



Для цитирования: Зимина Н.Д., Фомина С.В., Мицеля Е.В., Самойлова Ю.Г. Диабетическая фетопатия – патогенез, прогнозирование, перинатальные и неонатальные исходы. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 81–91. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1565>

Поступила в редакцию: 20.05.2025. **Принята к печати:** 04.08.2025. **Опубликована online:** 11.02.2026.

Diabetic fetopathy – pathogenesis, prognosis, perinatal and neonatal outcomes

© Natalia D. Zimina^{1, 2*}, Svetlana V. Fomina¹, Elena V. Mitselya^{1, 2}, Iulia G. Samoilova¹

¹ Siberian State Medical University; 2, Moskovskii trakt, Tomsk 634050, Russian Federation

² I.D. Yevtushenko Regional Perinatal Center; 96/1, I. Chernykh str., Tomsk 634063, Russian Federation

Abstract. Diabetes mellitus (DM) during pregnancy is associated with an increased risk of complications for both the mother and the fetus, and may also have adverse long-term consequences for the newborn. The incidence of DM among pregnant women is steadily increasing, which emphasizes the relevance of this problem. Despite progress in diagnostic methods and glucose control in pregnant women with DM, complications during pregnancy remain common, occurring in 80% of women with this disease.

Objective: to study the clinical, laboratory and ultrasound features of patients with gestational diabetes mellitus to determine the risk factors for the development of this pregnancy complication.

Materials and methods. The study included 86 patients and their newborns, who were divided into two groups according to pregnancy outcomes. Group I (main) – 43 women whose pregnancy was complicated by the development of diabetic fetopathy, Group II (control) – 43 patients whose pregnancy ended with the birth of a live full-term baby without signs of diabetic fetopathy.

Results. The following features were identified in the group of women with gestational diabetes mellitus: obesity (53% vs 11%), chronic arterial hypertension (11% vs 2%), thyroid disease (13% vs 4%) ($p < 0.05$). The presence of obesity increases the chance of developing gestational diabetes mellitus by 8.7 times (OR = 8.7; 95% CI: 2.885–26.478; $p = 0.001$). Laboratory parameters demonstrated an increase in cholesterol levels ($p = 0.04$), while no differences in glucose and glycated hemoglobin levels were found between the groups. Ultrasound parameters of the fetus revealed significant differences between the groups: abdominal circumference exceeded the 75th percentile ($p = 0.001$), double contour of the head was observed ($p = 0.044$), subcutaneous fat thickness of the neck exceeded 0.32 cm ($p = 0.014$), and subcutaneous fat thickness of the chest and abdomen exceeded 0.5 cm ($p = 0.007$). In the control group, with a fetal weight of more than 3000 g, the subcutaneous fat thickness of the neck was more than 0.3 cm, while in the main group it was 0.35 cm, which indicates the need to revise the threshold values in order to increase the prognostic value of the current sign. Statistically significant differences in uteroplacental and fetal-placental blood flow between the groups were not found. Anthropometric parameters of newborns, such as height and weight, also did not show significant differences between the groups. In the main group, periventricular edema was more often recorded ($p = 0.02$), and laboratory parameters in newborns indicated a significant increase in the frequency of hypoglycemia ($p = 0.0002$).

Conclusion. The study revealed significant features in women with gestational diabetes mellitus, including an increased risk of comorbidities such as obesity and chronic arterial hypertension, which emphasizes the importance of careful monitoring of the health of pregnant women and regular ultrasound examinations to assess the condition of the fetus. Ultrasound parameters showed changes that require further study and possible revision of existing standards. In addition, due to the lack of significant differences in glucose and glycated hemoglobin levels, it is necessary to analyze glucose variability using a continuous monitoring system, which will provide more accurate glycemic control in patients and have a positive effect on their health. Key words: ultrasound diagnostics, diabetic fetopathy, metabolic disorders, obesity, gestational diabetes mellitus, pregnancy risks, perinatal outcomes, maternal diseases.

Keywords: ultrasound diagnostics; diabetic fetopathy; metabolic disorders; obesity; gestational diabetes mellitus; pregnancy risks; perinatal outcomes; maternal diseases

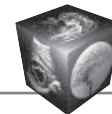
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Zimina N.D., Fomina S.V., Mitselya E.V., Samoilova Iu.G. Diabetic fetopathy – pathogenesis, prognosis, perinatal and neonatal outcomes. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 81–91. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1565>

Received: 20.05.2025.

Accepted for publication: 04.08.2025.

Published online: 11.02.2026.



Введение

Диабетическая фетопатия (ДФ) является значимой медицинской и социальной проблемой, так как связана с повышенным риском неблагоприятных исходов для здоровья матери и ребенка. С каждым годом заболеваемость сахарным диабетом среди беременных женщин растет, что подчеркивает высокую важность исследования этой темы [1–6].

Несмотря на то что определение ультразвуковых признаков не позволяет достаточно точно предсказать наличие или отсутствие ДФ, окончательный диагноз устанавливается лишь после родов, антенатальная диагностика ультразвуковых маркеров ДФ и макросомии служит основанием для назначения или коррективы инсулинотерапии, а также вызывает необходимость обсуждения сроков и методов родоразрешения [7].

Следовательно, выявление и определение надежных ранних пренатальных маркеров, а также разработка методов прогнозирования ДФ и макросомии смогут значительно улучшить подходы к ведению беременности у женщин с сахарным диабетом, что позволит подобрать наиболее подходящую тактику родоразрешения и в итоге улучшить перинатальные исходы для таких пациентов.

Материал и методы

Согласно поставленной цели, было проведено наблюдательное одноцентровое ретроспективное выборочное и неконтролируемое исследование в дизайне случай–контроль. С учетом критериев включения и исключения в исследование были отобраны 43 женщины с диагнозом “гестационный сахарный диабет”, а также 43 пациентки с физиологически протекающей беременностью. Все участницы исследования родоразрешались на базе “Областного перинатального центра им. И.Д. Евтушенко” в городе Томске.

Критерии включения пациенток в основную группу исследования: наличие диагноза “гестационный сахарный диабет”, подтвержденного при уровне глюкозы венозной плазмы натощак более 5,1 ммоль/л, а также на основании результатов перорального глюкозотолерантного теста.

Критерии исключения из основной группы исследования: отсутствие диагноза “гестационный сахарный диабет” в настоящую беременность, тяжелая экстрагенитальная патология в стадии декомпенсации, инфекция, вызванная вирусом иммунодефицита человека, отказ пациентки от участия в исследовании.

Критерии включения пациенток в контрольную группу: отсутствие диагноза “гестационный

сахарный диабет” в настоящую беременность, информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения из контрольной группы исследования: развитие гестационного сахарного диабета во время беременности, тяжелая экстрагенитальная патология в стадии декомпенсации, инфекция, вызванная вирусом иммунодефицита человека, отказ пациентки от участия в исследовании.

При поступлении пациенткам проводились УЗИ и доплерография на аппарате Nemio XG (Toshiba, Япония). УЗИ включало:

- В-режим:

- 1) стандартная фетометрия по формуле Hadlock's: бипариетальный размер + окружность головы + окружность живота + длина бедра = предполагаемая масса тела плода с оценкой по процентильным таблицам;

- 2) оценка фенотипических признаков ДФ (измерение проводилось при наличии сахарного диабета 1 или 2 типа): двойной контур головки плода, толщина подкожно-жировой клетчатки в области шейной складки на уровне I–III шейных позвонков, толщина подкожно-жировой клетчатки живота на уровне визуализации пупочной вены и большой кривизны желудка, толщина подкожно-жировой клетчатки грудной клетки на уровне четырехкамерного среза сердца;

- 3) висцеральные признаки: кардиомегалия, гепатомегалия, спленомегалия;

- 4) оценка максимального вертикального кармана (многоводие);

- 5) диффузное утолщение плаценты, кальциноз, расширение межворсинчатых пространств;

- 6) нарушение фетоплацентарной гемодинамики.

- Режимы цветовой и импульсно-волновой доплерографии: измерение скорости кровотока и периферического сопротивления в пуповине, маточных артериях.

Статистические методы: результаты исследования обрабатывали методом вариационной статистики с использованием пакета прикладных программ Statistica 12. Для описания количественных данных использованы медиана, 25-й и 75-й процентиля. Для описания качественных данных использованы абсолютные и относительные частоты. Для сравнения качественных данных использован критерий χ^2 с поправкой Йетса. Для сравнения непараметрических количественных данных двух групп использован критерий Манна–Уитни.

При попарном сравнении уровень значимости скорректирован с учетом поправки Бонферрони. С целью оценки влияния факторов на формирова-



ние гестационного сахарного диабета вычисляли отношение шансов (OR) с расчетом 95% доверительного интервала (ДИ).

Результаты исследования

В результате проведенного исследования (табл. 1) были выявлены различия между группами женщин с гестационным сахарным диабетом и контрольной группой. Индекс массы тела в основной группе составил 30,70 кг/м², что значительно выше, чем в контрольной группе (25,45 кг/м², $p = 0,049$). Частота ожирения в основной группе достигла 53%, что является значительным показателем по сравнению с 11,6% в контрольной группе ($p = 0,002$). Хроническая артериальная гипертензия в основной группе достигла 26%, что является значительным показателем по сравнению с 5% в контрольной группе ($p = 0,054$). Заболевания

щитовидной железы также были более распространены среди женщин с гестационным сахарным диабетом (30,23% против 9,3%, $p = 0,022$).

Лабораторные показатели выявили значимое различие только по уровню холестерина ($p = 0,048$), тогда как уровни глюкозы, АСТ и АЛТ не выявили статистически значимых отличий. Следует отметить отсутствие различий в уровнях глюкозы и гликированного гемоглобина ($p = 0,824$ и $p = 0,436$ соответственно), что подчеркивает необходимость проведения анализа вариабельности глюкозы с использованием системы непрерывного мониторинга.

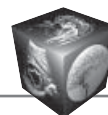
Поправка Бонферрони, устанавливающая уровень значимости на 0,002, предполагает, что выявленные различия представляют собой тенденцию, и для окончательных выводов и клинических рекомендаций требуются дальнейшее исследование

Таблица 1. Клинико-анамнестическая характеристика обследованных пациенток

Table 1. Clinical and anamnestic characteristics of the examined patients

Параметры Parameters		Основная группа (гестационный сахарный диабет) Main group Gestational diabetes mellitus (n = 43)	Контрольная группа Control group (n = 43)	p
Возраст матери, годы Mother's age, years	Me (Q1; Q3)	26.5 (31.5; 36)	29.5 (23; 35)	0.344*
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index, kg/m ²	Me (Q1; Q3)	30,70 (22,3; 33,2)	25,45 (20,7; 30,2)	0.049*
Соматическая патология/ Somatic pathology, абс. (%):				
Ожирение Obesity		23 (53)	5 (12)	0.001**
Преэклампсия Preeclampsia		6 (14)	2 (5)	0.554**
Хроническая артериальная гипертензия Chronic arterial hypertension		11 (26)	2 (5)	0.054**
Наличие заболевания щитовидной железы Presence of thyroid disease		13 (30)	4 (10)	0.022**
Лабораторные показатели матери/ Maternal laboratory parameters:				
Уровень глюкозы Glucose level	Me (Q1; Q3)	4.72 (4.19; 5.05)	4,3 (3.9; 5.2)	0.824*
Аспартатаминотрансфераза Aspartate aminotransferase	Me (Q1; Q3)	14,8 (12.7; 24)	18.5 (15.3; 22.0)	0.525*
Аланинаминотрансфераза Alanine aminotransferase	Me (Q1; Q3)	11,1 (7.45; 30.05)	20.0 (14.0; 24.0)	0.84*
Холестерин Cholesterol	Me (Q1; Q3)	5.9 (5.51; 7.53)	5.1 (4.0; 6.0)	0.048*
Гликированный гемоглобин Glycated hemoglobin	Me (Q1; Q3)	5.2 (4.9; 5.6)	5.2 (4.7; 5.7)	0.436*

Здесь и в табл. 3: * – тест Манна–Уитни, ** – критерий χ^2 . При попарном сравнении с учетом поправки Бонферрони p принимали равным 0,002 (вместо 0,05).

**Таблица 2.** Факторы риска развития гестационного сахарного диабета у обследованных пациенток**Table 2.** Risk factors for the development of gestational diabetes mellitus in the examined patients

Фактор риска Risk factor	OR	95% ДИ 95% CI	p
Ожирение	8.740	2.885–26.478	0.001

и анализ влияния метаболических факторов на исходы беременности при гестационном сахарном диабете.

Также было установлено, что ожирение в 8,7 раза, увеличивает риск развития гестационного сахарного диабета (OR = 8,7; 95% ДИ 2,885–26,478; $p < 0,001$) (табл. 2).

Анализ данных табл. 3 показывает, что в основной группе женщин с гестационным сахарным

диабетом наблюдаются тенденции к изменению ряда параметров плода, включая увеличение окружности живота более 75% (47% против 14%, $p = 0,001$), наличие утолщения подкожно-жировой клетчатки шеи (рис. 1, 2) больше 0,32 см (16 (37%) против 6 (14%), $p = 0,014$), двойной контур головки (рис. 3, 4) был зафиксирован чаще в основной группе (8 (19%) против 2 (5%), $p = 0,044$), а толщина подкожно-жировой клетчатки груди и живота

Таблица 3. Ультразвуковые параметры плода**Table 3.** Ultrasound parameters of the fetus

Параметры Parameters		Основная группа (гестационный сахарный диабет) Main group Gestational diabetes mellitus (n = 43)	Контрольная группа Control group (n = 43)	p
Бипариетальный размер, мм Biparietal size, mm	Me (Q1; Q3)	91 (90; 93)	92 (89; 94)	0.760*
Окружность головы, мм Head circumference, mm	Me (Q1; Q3)	330 (328; 339)	329.5 (325; 343)	0.099*
Окружность живота, мм Abdominal circumference, mm	Me (Q1; Q3)	339 (330; 344)	337 (320.5; 344)	0.039*
Окружность живота более 75-го перцентиля Abdominal circumference greater than 75th percentile		20 (47%)	6 (14%)	0.001**
Длина бедра, мм Thigh length, mm	Me (Q1; Q3)	73 (71; 76)	73 (71; 74)	0.755*
Многоводие Polyhydramnios		10 (23%)	2 (5%)	0.065**
Толщина плаценты, мм Placenta thickness, mm	Me (Q1; Q3)	39 (37; 40)	37 (34; 40)	0.834*
Двойной контур головки >0,2 см Double head contour >2 cm		8 (19%)	2 (5%)	0.044**
Толщина подкожно-жировой клетчатки шеи >0,32 см Neck subcutaneous fat thickness >0.32 cm		16 (37%)	6 (14%)	0.014**
Толщина подкожно-жировой клетчатки груди и живота >0,5 см Thickness of subcutaneous fat of the chest and abdomen >0.5 cm		15 (35%)	2 (5%)	0.007**
Нарушение кровотока в пупочной артерии Disturbance of blood flow in the umbilical artery		0	1 (2%)	0.315**
Нарушение кровотока в маточных артериях Disturbance of blood flow in the uterine arteries		1 (2,3%)	3 (7)%	0.56**

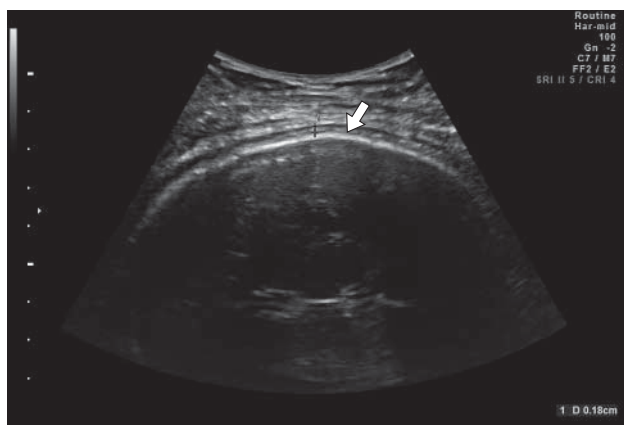


Рис. 1. Визуализация подкожно-жировой клетчатки головы. Представлено отсутствие утолщения подкожно-жировой клетчатки головы после 30-й недели беременности.

Fig. 1. Visualization of the subcutaneous fat tissue of the head. Shows the absence of thickening of the subcutaneous fat of the head after the 30th week of pregnancy.



Рис. 2. Визуализация утолщения подкожно-жировой клетчатки головы. Представлено утолщение подкожно-жировой клетчатки головы при диабетической фетопатии после 30-й недели беременности.

Fig. 2. Visualization of thickening of the subcutaneous fat tissue of the head. Shows thickening of the subcutaneous fat of the head in diabetic fetopathy after the 30th week of pregnancy.



Рис. 3. Визуализация подкожно-жировой клетчатки шеи. Представлено отсутствие утолщения подкожно-жировой клетчатки шеи после 30-й недели беременности.

Fig. 3. Visualization of the subcutaneous fat of the neck. Shows the absence of thickening of the subcutaneous fat of the neck after 30 weeks of pregnancy.



Рис. 4. Визуализация утолщения подкожно-жировой клетчатки шеи. Представлено утолщение подкожно-жировой клетчатки шеи при диабетической фетопатии после 30-й недели беременности.

Fig. 4. Visualization of thickening of the subcutaneous fat tissue of the neck. Shows thickening of the subcutaneous fat of the neck in diabetic fetopathy after the 30th week of pregnancy.

(рис. 5, 6) превышала 0,5 см ($p = 0,007$). В основной группе с гестационным сахарным диабетом было зарегистрировано 10 случаев многоводия (23%) (рис. 7, 8), в то время как в контрольной группе – 2 случая (5%), при этом статистически значимая разница ($p = 0,065$) указывает на тенденцию к повышению частоты многоводия у женщин с этим состоянием, требуя дальнейших исследований для подтверждения данной связи. В контрольной группе при массе тела плода бо-

лее 3000 г толщина подкожно-жировой клетчатки шеи составляла более 0,3 см, в то время как в основной группе составляла от 0,35 см, что указывает на необходимость пересмотра пороговых значений с целью увеличения прогностической ценности текущего признака.

Поправка Бонферрони, устанавливающая уровень значимости на 0,002, предполагает, что выявленные различия представляют собой тенденцию в изменении ультразвуковых параметров плода,

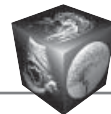


Рис. 5. Визуализация подкожно-жировой клетчатки живота. Представлено отсутствие утолщения подкожно-жировой клетчатки груди и живота после 30-й недели беременности.

Fig. 5. Visualization of the subcutaneous fat tissue of the abdomen. Shows the absence of thickening of the subcutaneous fat tissue of the chest and abdomen after the 30th week of pregnancy.



Рис. 6. Визуализация утолщения подкожно-жировой клетчатки живота. Представлено утолщение подкожно-жировой клетчатки груди и живота при диабетической фетопатии после 30-й недели беременности.

Fig. 6. Visualization of thickening of the subcutaneous fat tissue of the abdomen. Shows thickening of the subcutaneous fat of the chest and abdomen in diabetic fetopathy after the 30th week of pregnancy.



Рис. 7. Визуализация максимального вертикального кармана. Представлено измерение максимального вертикального кармана для оценки многоводия у плода. На данном изображении величина кармана составляет 43 мм, что соответствует норме.

Fig. 7. Visualization of the Maximum Vertical Pocket. Shows the measurement of the maximum vertical pocket to assess fetal polyhydramnios. In this image, the pocket size is 43 mm, which is normal.

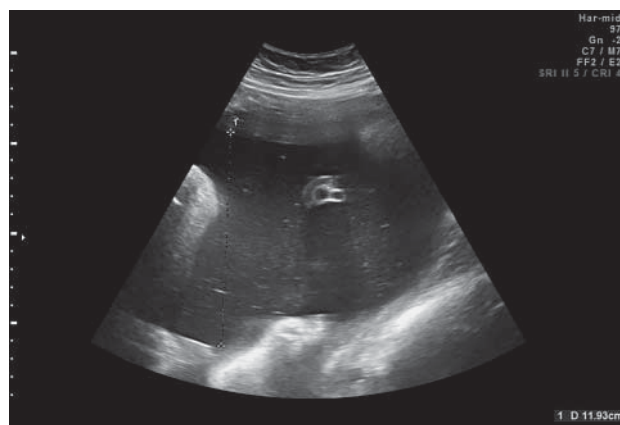


Рис. 8. Визуализация наличия многоводия (максимальный вертикальный карман более 80 мм). Представлено измерение максимального вертикального кармана для оценки многоводия у плода. Величина кармана составляет 119 мм, что указывает на увеличенное количество околоплодных вод (многоводие), тогда как нормой максимального вертикального кармана считается значение от 20 до 80 мм.

Fig. 8. Visualization of the presence of polyhydramnios (MVK more than 80 mm). Shows the measurement of the maximum vertical pocket for assessing polyhydramnios in the fetus. The pocket size is 119 mm, which indicates an increased amount of amniotic fluid (polyhydramnios), while the normal maximum vertical pocket is considered to be a value from 20 to 80 mm.



Таблица 4. Антропометрия новорожденного

Table 4. Anthropometry of the newborn

Параметры Parameters		Основная группа (гестационный сахарный диабет) Main group Gestational diabetes mellitus (n = 43)	Контрольная группа Control group (n = 43)	p
Рост новорожденного, см Growth of a newborn, cm	Me (Q1; Q3)	53 (50.5; 55)	52.5 (50;55)	0.566*
Масса тела новорожденного, г Weight of newborn, g	Me (Q1; Q3)	3340 (3005;3465)	3300 (2980;3520)	0.340*

* – тест Манна–Уитни. При попарном сравнении с учетом поправки Бонферрони p принимали равным 0,002 (вместо 0,05).

Таблица 5. Ультразвуковые параметры новорожденного

Table 5. Ultrasound parameters of a newborn

Параметры Parameters	Основная группа (гестационный сахарный диабет) Main group Gestational diabetes mellitus (n = 43)	Контрольная группа Control group (n = 43)	p
Субэпендимальные кисты Subependymal cysts	0	2 (5%)	0.153**
Внутрижелудочковые кровоизлияния Intraventricular hemorrhage	0	2 (5%)	0.153**
Перивентрикулярный отек Periventricular edema	7 (16%)	1 (2%)	0.026**

** – критерий χ^2 . При попарном сравнении с учетом поправки Бонферрони p принимали равным 0,008 (вместо 0,05).

Таблица 6. Лабораторные показатели уровня глюкозы

Table 6. Laboratory parameters of glucose level

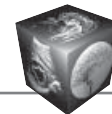
Параметры Parameters	Основная группа (гестационный сахарный диабет) Main group Gestational diabetes mellitus (n = 43)	Контрольная группа Control group (n = 43)	p
Уровень глюкозы Glucose level	3.095 (2.91;3.54)	4.150 (3.70; 4.85)	0.0002*

* – тест Манна–Уитни.

и для окончательных выводов требуется дальнейшее исследование. Анализ данных табл. 4 демонстрирует отсутствие статистически значимых различий между новорожденными в основной и контрольной группах. Средний рост новорожденного составил 53 см в основной группе и 52,5 см в контрольной группе ($p = 0,566$). Аналогично средняя масса тела новорожденного в основной группе составила 3340 г, в то время как в контрольной группе – 3300 г, что также не продемонстрировало статистически значимых различий ($p = 0,340$).

При сравнении исследуемых групп (табл. 5) была выявлена тенденция к различиям в частоте перивентрикулярного отека: он наблюдался у 16% новорожденных в основной группе и 2% в контрольной ($p = 0,026$). Это указывает на необходимость дальнейшего изучения данной патологии.

Анализ данных, представленных в табл. 6, демонстрирует статистически значимые различия в уровне глюкозы между исследуемыми группами ($p = 0,0002$).



Обсуждение

В исследовании был проведен анализ соматического анамнеза, данных лабораторных исследований и течения беременности у женщин, беременность которых была осложнена развитием гестационного сахарного диабета. По данным литературы, соматическая патология чаще встречается у беременных с гестационным сахарным диабетом, что порой определяет высокий риск развития данного осложнения [8–11].

При исследовании лабораторных показателей статистически значимых различий между группами по уровню глюкозы и гликированного гемоглобина выявлено не было. Согласно результатам исследования, проведенного В. Claire и Н. Sharon, в литературе имеются ограниченные данные об использовании HbA_{1c} в качестве скринингового инструмента для выявления недиагностированного диабета в I триместре беременности. Хотя определение гликированного гемоглобина (HbA_{1c}) считается полезным тестом для выявления диабета у небеременных женщин, гормональные и метаболические изменения, происходящие во время беременности, означают, что существует множество ограничений при его использовании во время беременности [12–15]. Кроме того, на уровень HbA_{1c} влияет дефицит железа, который часто встречается во время беременности, что подчеркивает необходимость проведения анализа вариабельности глюкозы с использованием системы непрерывного мониторингирования, это позволит обеспечить более точный контроль гликемии у пациенток и положительно скажется на их здоровье.

В нашем исследовании анализ ультразвуковых параметров плода показал, что окружность живота является статистически значимым показателем. Однако возникает вопрос о прогностической ценности некоторых других параметров. Согласно данным О.В. Рожковой и И.Г. Брусенцова [16], при диагностике ДФ сочетание четырех и более антенатально выявленных ультразвуковых маркеров, предложенных в клинических рекомендациях, значительно повышает вероятность постнатального подтверждения диагноза. В то же время такие параметры, как толщина подкожно-жировой клетчатки шеи ($>0,32$ см) и толщина подкожно-жировой клетчатки груди и живота ($>0,5$ см), требуют дальнейшего изучения для определения их прогностической ценности. Применение дополнительных параметров наряду со стандартными биометрическими измерениями может оказаться полезным в ведении беременных, страдающих диабетом [16–18].

При анализе антропометрических данных новорожденных статистически значимых различий

не было выявлено. Однако в популяционном исследовании, проведенном М. Li и соавт., было установлено, что у женщин с гестационным диабетом предполагаемая масса тела плода превышала норму, начиная с 20-й недели, достигая 3061 г на 37-й неделе, тогда как у женщин с нормальной толерантностью к глюкозе она составила 2943 г. Уровни глюкозы между 10-й и 14-й неделями также показали положительную корреляцию с массой тела плода начиная с 23-й недели [19]. Результаты исследования L. Adamczak и соавт. подтверждают, что траектории роста плода у женщин с диабетом 1 типа демонстрируют различные закономерности: кривые роста начинают расходиться во II триместре после 23-й недели беременности [20].

Анализ ультразвуковых параметров новорожденного не выявил статистически значимых отличий, однако у женщин с гестационным сахарным диабетом отмечалось более частое возникновение перивентрикулярного отека. Согласно данным Г.А. Аракелян и соавт. [21], у младенцев матерей с гестационным диабетом и ожирением (в любой степени) основным заболеванием был синдром угнетения центральной нервной системы, что привело к переводу новорожденных на II этап выхаживания в 1,8 раза чаще, чем у детей от женщин с нормальной массой тела. Это подчеркивает необходимость дальнейших исследований для более глубокого понимания этой патологии.

Анализ уровня глюкозы продемонстрировал различия в ее уровне у новорожденных, матери которых страдали гестационным сахарным диабетом. По данным Е.В. Анциферовой и соавт. [22], факторами риска развития гипогликемии являются крупная масса тела при рождении, сахарный диабет у матери и задержка внутриутробного развития. Характерной особенностью неонатальной гипогликемии является отсутствие явных клинических проявлений, что подчеркивает важность мониторинга гликемии в раннем неонатальном периоде для своевременного и адекватного лечения.

Ограничения нашего исследования связаны, прежде всего, с небольшим числом пациенток, участвовавших в нем, вместе с тем нам удалось получить ряд статистически значимых различий между группами.

Заключение

В ходе исследования выявлены значительные особенности у женщин с гестационным сахарным диабетом, включая повышенный риск сопутствующих заболеваний, таких как ожирение и хроническая артериальная гипертензия, что подчеркивает важность тщательного мониторинга здоровья беременных и регулярных ультразвуковых обследо-



ваний для оценки состояния плода. Ультразвуковые параметры показали изменения, требующие дальнейшего исследования и возможного пересмотра существующих норм, а также поиска новых маркеров диабетической фетопатии.

В связи с отсутствием значительных различий в уровнях глюкозы и гликированного гемоглобина необходимо проводить анализ variability глюкозы с использованием системы непрерывного мониторинга, что позволит обеспечить более точный контроль гликемии у пациенток и положительно скажется на их здоровье. Учитывая эти факторы, крайне важна профилактика гестационного сахарного диабета, включая раннюю диагностику, правильное питание, физическую активность и информирование беременных женщин о потенциальных рисках, что может способствовать снижению уровня заболеваемости и улучшению исходов как для матерей, так и для их детей.

Участие авторов

Зими́на Н.Д. – написание статьи, сбор данных, анализ и интерпретация данных, оформление рукописи.

Фомина С.В. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Мицеля Е.В. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Самойлова Ю.Г. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Authors' participation

Zimina N.D. – manuscript writing, data collection, data analysis and interpretation.

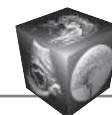
Fomina S.V. – conceptualization and design of the publication, critical revision of intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Mitselya E.V. – conceptualization and design of the publication, critical revision of intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Samoilova Yu.G. – conceptualization and design of the publication, critical revision of intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Список литературы [References]

1. Riddle M.C., Cefalu W.T., Evans P.H. et al. Consensus Report: Definition and Interpretation of Remission in Type 2 Diabetes. *Diabetes Care*. 2021; 44 (10): 2438–2444. <https://doi.org/10.2337/dc21-0034>
2. Дедов И.И., Шестакова М.В., Майоров А.Ю. и др. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом. *Сахарный диабет*. 2021; 1S: 1–236. Dedov I.I., Shestakova M.V., Mayorov A.Yu. et al. Algorithms for specialized medical care for patients with diabetes mellitus. *Diabetes Mellitus*. 2021; 1S: 1–236. (In Russian)
3. Лебедева М.А. Особенности ведения беременности и родоразрешения при диабетической фетопатии: Дис. ... канд. мед. наук. М.: ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова», 2021. 120 с. Lebedeva M.A. Features of pregnancy management and childbirth in diabetic fetopathy: dis. ... candidate of medical sciences. Moscow: A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. 2021. 120 p. (In Russian)
4. American Diabetes Association. Management of diabetes in pregnancy: standards of medical care in diabetes-2021. *Diabetes Care*. 2021; 44 (Suppl. 1): S200–S210. <https://doi.org/10.2337/dc21-S014>
5. Herath M.P., Beckett J.M., Hills A.P. et al. Gestational diabetes mellitus and infant adiposity at birth: a systematic review and meta-analysis of therapeutic interventions. *J. Clin. Med*. 2021; 10 (4): 835. <https://doi.org/10.3390/jcm10040835>
6. Riskin A., Garcia J. Infants of women with diabetes. UptoDate. Literature review current through: Aug. 2022. URL: <https://www.uptodate.com/contents/infants-of-women-with-diabetes>
7. Ремнёва О.В., Рожкова О.В., Трухачева Н.В., Брусенцов И.Г. Прогнозирование диабетической фетопатии при гестационном сахарном диабете у матери. *Доктор.Ру*. 2020; 19 (6): 45–49. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2020-19-6-45-49> Remneva O.V., Rozhkova O.V., Trukhacheva N.V., Brusentsov I.G. Prediction of diabetic fetopathy in gestational diabetes mellitus in the mother. *Doctor.Ru*. 2020; 19 (6): 45–49. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2020-19-6-45-49> (In Russian)
8. Мищенко О.И., Крюков П.М., Мозес К.Б., Мозес В.Г., Елгина С.И., Рудаева Е.В., Черных Н.С. Диабетическая фетопатия: патогенез, прогнозирование, перинатальные и неонатальные исходы. *Мать и дитя в Кузбассе*. 2020; 1 (80): 4–8. <https://doi.org/10.24411/26867338-202010002> Mishchenko O.I., Kryukov P.M., Moses K.B. et al. Diabetic fetopathy: pathogenesis, prognosis, perinatal and neonatal outcomes. *Mother and Child in Kuzbass*. 2020; 1 (80): 4–8. <https://doi.org/10.24411/26867338-202010002> (In Russian)
9. Радзинский В.Е., Котайш Г.А., Боташева Т.Л., Волкова Н.И. Ожирение. Диабет. Беременность. Версии и контраверсии. Клинические практики. Перспективы. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 528 с. Radzinsky V.E., Kotaysh G.A., Botasheva T.L., Volkova N.I. Obesity. Diabetes. Pregnancy. Versions and controversies. Clinical practices. Prospects. Moscow: GEOTAR-Media, 2020. 528 p. (In Russian)
10. Moll U., Olsson H., Landin-Olsson M. Women with a predisposition for diabetes have an increased risk of pregnancy complications, especially in combination with pregestational overweight. *BMC Pregnancy and Childbirth*. 2020; 20 (1): 74. <https://doi.org/10.1186/s12884-020-2741-5>
11. Lewandowska M. Maternal obesity and risk of low birth weight, fetal growth restriction, and macrosomia: multiple analyses. *Nutrients*. 2021; 13 (4): 1213. <https://doi.org/10.3390/nu13041213>
12. Claire B., Sharon H. Should HbA1C be used to screen pregnant women for undiagnosed diabetes in the first trimester? A review of the evidence. *J. Public Health*. 2020; 42 (1): 132–140. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdy229>



13. Bozkurt L., Göbl C.S., Leitner K. et al. HbA1c during early pregnancy reflects beta-cell dysfunction in women developing GDM. *BMJ Open Diabetes Res. Care.* 2020; 8 (2): e001751. <https://doi.org/10.1136/bmjdr-2020-001751>
14. Walker A.R., Caughey A.B. Positivity thresholds of HbA1c assay as a screening test for diabetes mellitus in the first trimester in high-risk populations. *J. Matern. Fetal Neonatal. Med.* 2022; 35 (2): 230–234. <https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1716213>
15. Scott E.M., Feig D.S., Murphy H.R., Law G.R. Continuous glucose monitoring in pregnancy: importance of analyzing temporal profiles to understand clinical outcomes. *Diabetes Care.* 2020; 43 (6): 1178–1184. <https://doi.org/10.2337/dc19-2527>
16. Рожкова О.В., Брусенцов И.Г. Возможности ультразвуковой диагностики диабетической фетопатии при гестационном сахарном диабете. *Мать и дитя в Кузбассе.* 2020; 1 (80): 32–36. <https://doi.org/10.24411/2686-7338-2020-10006>
Rozhkova O.V., Brusentsov I.G. Possibilities of ultrasound diagnostics of diabetic fetopathy in gestational diabetes mellitus. *Mother and Child in Kuzbass.* 2020; 1 (80): 32–36. <https://doi.org/10.24411/2686-7338-2020-10006> (In Russian)
17. Staniewski P.J., Majewska A., Lipa M. et al. Ultrasound evaluation of the fetal fat tissue, heart, liver and umbilical cord measurements in pregnancies complicated by gestational and type 1 diabetes mellitus: potential application in the fetal birth-weight estimation and prediction of the fetal macrosomia. *Diabetol. Metab. Syndr.* 2021; 13 (1): 22. <https://doi.org/10.1186/s13098-021-00634-7>
18. Di Filippo D., Wanniarachchi T., Wei D. et al. The diagnostic indicators of gestational diabetes mellitus from second trimester to birth: a systematic review. *Clin. Diabetes Endocrinol.* 2021; 7 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/s40842-021-00126-7>
19. Li M., Hinkle S.N., Grantz K.L. et al. Glycaemic status during pregnancy and longitudinal measures of fetal growth in a multi-racial US population: a prospective cohort study. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020; 8 (4): 292–300. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30024-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30024-3)
20. Adamczak L., Boron D., Gutaj P. et al. Fetal growth trajectory in type 1 pregestational diabetes (PGDM): an ultrasound study. *Ginek. Pol.* 2021; 92 (2): 110–117. <https://doi.org/10.5603/GPa2020.0136>
21. Аракелян Г.А., Оразмурадов А.А., Маяцкая Т.А., Бекбаева И.В., Котайш Г.А. Особенности новорожденных от матерей с гестационным сахарным диабетом и прегестационным ожирением. *Акушерство и гинекология: новости, мнения, обучение.* 2020; 8 (3): Прил. 24–29. <https://doi.org/10.24411/2303-9698-2020-13904>
Arakelyan G.A., Orazmuradov A.A., Mayatskaya T.A. et al. Features of newborns from mothers with gestational diabetes mellitus and pregestational obesity. *Obstetrics and Gynecology: news, opinions, training.* 2020; 8 (3): App. 24–29. <https://doi.org/10.24411/2303-9698-2020-13904> (In Russian)
22. Анциферова Е.В., Таранушенко Т.Е., Киселева Н.Г. Неонатальные гипогликемии у детей с факторами риска. *Тихоокеанский медицинский журнал.* 2021; 4: 80–84. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2021-4-80-84>
Antsiferova E.V., Taranushenko T.E., Kiseleva N.G. Neonatal hypoglycemia in children with risk factors. *Pacific Medical Journal.* 2021; 4: 80–84. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2021-4-80-84> (In Russian)

Для корреспонденции*: Зими́на Наталья Дани́ловна – e-mail: falloutgerl@mail.ru

Зими́на Наталья Дани́ловна – ассистент мультипрофильного аккредитационно-симуляционного центра ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздрава России; врач ультразвуковой диагностики ОГАУЗ “Областной перинатальный центр им. И.Д. Евтушенко”, Томск. <https://orcid.org/0009-0005-9576-666X>. E-mail: falloutgerl@mail.ru

Фомина Светлана Викторовна – канд. мед. наук, доцент, заведующая отделением, врач ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>. E-mail: statfom@mail.ru

Мицеля Елена Вадимовна – аспирант кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздрава России; врач-эндокринолог ОГАУЗ “Областной перинатальный центр им. И.Д. Евтушенко”, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-1429-3604>. E-mail: voelva@mail.ru

Самойлова Юлия Геннадьевна – доктор мед. наук, профессор кафедры эндокринологии и диабетологии, заведующая кафедрой педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>. E-mail: samoilova_y@inbox.ru

Contact*: Natalia D. Zimina – e-mail: falloutgerl@mail.ru

Natalia D. Zimina – Assistant, Multidisciplinary Accreditation and Simulation Center, Siberian State Medical University; ultrasound diagnostics doctor, I.D. Yevtushenko Regional Perinatal Center, Tomsk. <https://orcid.org/0009-0005-9576-666X>. E-mail: falloutgerl@mail.ru

Svetlana V. Fomina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Head of the Department – Doctor of Ultrasound Diagnostics, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>. E-mail: statfom@mail.ru

Elena V. Mitselya – postgraduate student of the Department of Pediatrics with a course in endocrinology, Siberian State Medical University; endocrinologist, I.D. Yevtushenko Regional Perinatal Center, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-1429-3604>. E-mail: voelva@mail.ru

Iulia G. Samoilova – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Endocrinology and Diabetology, Head of the Department of Pediatrics with a Course in Endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>. E-mail: samoilova_y@inbox.ru



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1563>



Эхографическая характеристика седалищных нервов при аутопсии (пилотное исследование)

© Дубровских С.Н.^{1*}, Татарина А.В.¹, Гумерова Э.А.¹,
Степанова Ю.А.², Пацап О.И.³, Дубровских Д.С.⁴

¹ ФГБУ «НМИЦ высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневского» Минобороны России; 143420 Красногорск, Московская область, п. Новый, д. 1, Российская Федерация

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

³ ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА России; 117513 Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 10, Российская Федерация

⁴ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Цель исследования: оценить эхографические характеристики структурной организации нормальных седалищных нервов при аутопсии; сопоставить эхографические и морфологические признаки; определить эхографическую картину неповрежденных седалищных нервов, которая может быть использована в качестве эталона для оценки состояния поврежденных нервов.

Материал и методы. Проанализированы результаты ультразвукового исследования 4 седалищных нервов при аутопсии, анатомическая целостность нервов не была нарушена, прижизненно патологии седалищных нервов не было выявлено. Причиной гибели пациентов были болезни сердечно-сосудистой системы.

Состояние всех седалищных нервов оценивалось при помощи ультразвукового метода исследования во время аутопсии путем установки ультразвукового датчика непосредственно на нервное волокно по задней поверхности бедра после выполненного патологоанатомом доступа к нерву. Далее осуществляли забор материала для морфологического исследования нервных стволов. Послеоперационный материал доставлялся для гистологического исследования в соответствии с правилами лабораторной практики.

Результаты. УЗИ седалищных нервов при аутопсии эффективно для детальной оценки эхоструктуры неизмененных периферических нервов.

Заключение. Изучение эхографического строения седалищных нервов при аутопсии дало следующие результаты. Для детальной оценки эхоструктуры периферических нервов необходимо использовать гелевую прослойку, что позволяет сместить фокус ультразвукового луча непосредственно на нервное волокно и дает возможность детально рассмотреть строение нерва при аутопсии. При аутопсии седалищные нервы в поперечном сечении представляют собой округлые или овальные образования с упорядоченным пучковым строением. В продольном сечении – это тяжи с правильным чередованием гипо- и гиперэхогенных зон, что отражает морфологическую структуру и упорядоченное пучковое строение нервных волокон. При проведении интраоперационных ультразвуковых исследований эхографическая картина неповрежденных седалищных нервов, полученная при аутопсии, может быть использована в качестве эталона для сравнения нормальной эхоструктуры нерва с ее измененным аналогом.

Ключевые слова: УЗИ периферических нервов; морфология; аутопсия; седалищные нервы

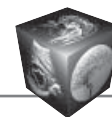
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Дубровских С.Н., Татарина А.В., Гумерова Э.А., Степанова Ю.А., Пацап О.И., Дубровских Д.С. Эхографическая характеристика седалищных нервов при аутопсии (пилотное исследование). *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 92–99. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1563>

Поступила в редакцию: 14.05.2025.

Принята к печати: 09.12.2025.

Опубликована online: 16.02.2026.



Echographic characteristics of sciatic nerves at autopsy (pilot study)

© Svetlana N. Dubrovskikh^{1*}, Alena V. Tatarina¹, Elmira A. Gumerova¹, Yulia A. Stepanova², Olga I. Patsap³, Daria S. Dubrovskikh⁴

¹ National Medical Research Center for High Medical Technologies – Central Military Clinical Hospital named after A.A. Vishnevsky of the Ministry of Defense of Russia; 1, Novy village, Krasnogorsk, Moscow region 143420, Russian Federation

² 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

³ Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical and Biological Agency (FCBRN of FMBA of Russia); 1, bld. 10, Ostrovityanova str., Moscow 117513, Russian Federation

⁴ Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanova str., Moscow 117997, Russian Federation

Objective. To evaluate the echographic characteristics of the normal sciatic nerves structural organization at autopsy. To compare echographic and morphological features. To determine the echographic picture of intact sciatic nerves, which can be used as a standard for assessing the damaged nerves condition.

Materials and methods. The results of ultrasound of 4 sciatic nerves at autopsy were analyzed. The anatomical integrity of the nerves was not violated. No pathology of the sciatic nerves was detected during life. The cause of patients death was cardiovascular diseases.

The condition of all sciatic nerves was assessed using the ultrasound during autopsy by installing an ultrasound sensor directly on the nerve fiber along the back of the thigh after the pathologist had accessed the nerve. Then, material was collected for morphology of the nerve trunks. Postoperative material was delivered for histology in accordance with the rules of laboratory practice.

Results. Ultrasound of the sciatic nerves at autopsy is effective for detailed assessment of the echostructure of intact peripheral nerves.

Discussion. Echographic characteristics of intact peripheral nerves have been revealed, allowing them to be used as controls for intraoperative ultrasound examination of damaged peripheral nerves.

Conclusion. The study of the echographic structure of sciatic nerves during autopsy yielded the following results.

For a detailed assessment of the echostructure of peripheral nerves, it is necessary to use a gel layer, which allows shifting the focus of the ultrasound beam directly to the nerve fiber and makes it possible to examine the structure of the nerve in detail during autopsy.

During autopsy, sciatic nerves in cross section are rounded or oval formations with an ordered fascicular structure. In longitudinal section, they are strands with regular alternation of hypo- and hyperechoic zones, which reflects the morphological structure and ordered fascicular structure of nerve fibers. When performing intraoperative ultrasound examinations, the echographic image of intact sciatic nerves obtained during autopsy can be used as a standard for comparing the normal echostructure of the nerve with its altered analogue.

Keywords: ultrasound of peripheral nerves; morphology; autopsy; sciatic nerves

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

For citation: Dubrovskikh S.N., Tatarina A.V., Gumerova E.A., Stepanova Yu.A., Patsap O.I., Dubrovskikh D.S. Echographic characteristics of sciatic nerves at autopsy (pilot study). *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 92–99. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1563>

Received: 14.05.2025.

Accepted for publication: 09.12.2025.

Published online: 16.02.2026.

Введение

В российской эхографической практике наблюдается дефицит публикаций, посвященных изменениям эхоструктуры периферических нервов после их огнестрельной травмы, эта узкоспециализированная тема имеет ограниченное количество научных работ. С ростом числа пострадавших с огнестрельными травмами периферических нер-

вов конечностей в период с 2022 по 2025 г. и невозможностью выполнения МРТ у таких пациентов становится особенно актуальным изучение роли ультразвукового метода в предоставлении информации об изменениях структуры поврежденного нервного волокна. В настоящее время возникают существенные затруднения при выборе диагностической методики, позволяющей выявить изме-



нения в структуре нервного волокна, влекущие за собой нарушение процесса его регенерации после огнестрельной травмы [1–3]. Анализ литературных источников показал, что УЗИ обладает высоким диагностическим потенциалом для изучения состояния периферических нервов. Современные исследования подтверждают, что эхография играет ведущую роль в диагностике компрессионных синдромов периферических нервов, их травм и демиелинизирующих заболеваний [4–10]. Однако поисковые системы выдают ограниченный список публикаций по запросу “ультразвуковая диагностика огнестрельных травм периферических нервов”, что указывает на необходимость проведения собственных исследований в этой области. В 2023 г. в журнале “Госпитальная медицина: наука и практика” были опубликованы данные ультразвукового обследования 96 периферических нервов с различными видами травматических повреждений, полученных при огнестрельной травме [2]. В результате проведенного исследования было показано, что УЗИ не является эффективной дифференциально-диагностической методикой для определения таких форм повреждения нервов, как сдавление нерва рубцовыми тканями и неполное нарушение анатомической целостности нерва. Дальнейшие исследования показали, что особенностью огнестрельной травмы периферических нервов является сочетание грубых рубцовых изменений мягких тканей (ложная неврома) и заместительного периневрального фиброза с регенерирующими аксонами (собственно невромы). А важным аспектом является необходимость разделять пострадавших с тяжелыми интраневральными повреждениями нерва от менее сложных, с сохраненной непрерывностью нервного волокна и хорошим регенераторным потенциалом. К сожалению, при этих видах огнестрельных повреждений периферических нервов варианты изменений эхоструктуры нервов не имеют строго определенных ультразвуковых признаков, что существенно осложняет выбор лечебной тактики и прогнозы при повреждениях нерва. По данным R.W. Koenig и соавт., Е.А.Журбина и соавт., интраоперационное УЗИ является высокоэффективным методом диагностики травм периферических нервов и позволяет детально оценить степень повреждения нервного волокна. Для того чтобы определить эффективность интраоперационного УЗИ при огнестрельной травме периферических нервов, потребовалась эталонная модель неизменной эхоструктуры периферического нерва, что и послужило основанием для проведения нашего пилотного исследования.

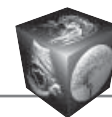
Цель исследования: оценить эхографические характеристики структурной организации нормальных седалищных нервов при аутопсии; сопоставить эхографические и морфологические характеристики неизмененных периферических нервов; определить эхографическую модель неповрежденных седалищных нервов, которая может быть использована в качестве эталона при оценке состояния поврежденных нервов интраоперационно.

Материал и методы

Материалом для исследования послужили 4 седалищных нерва, осмотренные с помощью эхографии во время аутопсии, проводимой в соответствии с Приказом Минздрава России от 06.06.2013 N 354н “О порядке проведения патолого-анатомических вскрытий”. Все 4 нервных ствола изучали у мужчин в возрасте 57–67 лет, средний возраст составил 61 год. Анатомическая целостность нервов не была нарушена, прижизненно патологии седалищных нервов не было выявлено. Причиной гибели пациентов были болезни сердечно-сосудистой системы.

УЗИ всех седалищных нервов осуществлялось ультразвуковым аппаратом S2N, SonoScape, линейным датчиком с частотой от 8 до 14 МГц после предварительного доступа к нерву по задней поверхности бедра, выполненного специалистом патологоанатомом. Датчик устанавливался непосредственно на нервное волокно. Сканирование нерва начинали от средней трети бедра, производили оценку состояния нерва в двух плоскостях: продольной и поперечной в проксимальном и дистальном направлении. Для получения оптимальных изображений в поперечном сечении ультразвуковой луч датчика был направлен на седалищный нерв под углом 90°, нерв сканировался через гелевую прослойку толщиной не менее 1,0 см. Продольное сканирование осуществлялось путем разворота датчика параллельно нервному волокну. Непосредственно в зоне интереса, обычно в средней трети бедра, оконтуривалась площадь поперечного сечения нерва, изучались его фасцикулярное строение, эхогенность, контуры.

Далее производили гистологическое исследование в соответствии с правилами лабораторной практики, полученный материал фиксировали погружением в 10% раствор формалина при комнатной температуре в течение 2 сут. После этого осуществлялась вырезка материала, который находился в гистопроцессоре в течение 21 ч. Затем материал заливался в парафин по стандартной методике, был микротомирован, далее изготавливались гистологические срезы толщиной 2–3 мкм.



Полученные срезы окрашивали гематоксилином и эозином, а также по Ван-Гизону. Окрашенные препараты микроскопировали и фотографировали. При световой микроскопии изучали наличие и степень развития параневральных соединительнотканых структур, сравнивали микроскопическое строение шванновских элементов на периферии и в центре нервного волокна, изучали количество миелиновых и безмиелиновых нервных волокон, диаметр и толщину миелина.

Результаты исследования

Из 4 исследованных нервных стволов все 100% прижизненно не имели признаков нейропатии седалищных нервов.

При установке ультразвукового датчика непосредственно на нервное волокно одного из 4 седалищных нервов оценить его состояние в продольном сечении (рис. 1) и в поперечном сечении (рис. 2) практически не удалось. Нерв нечетко дифференцировался от окружающих тканей, его границы были размытыми, фасцикулярное строение прослеживалось неуверенно и не отчетливо. На полученных эхограммах контуры нерва и его пучковое строение хотя и определялись, но такие изображения нерва были непригодными для детальной оценки эхоструктуры седалищного нерва (см. рис. 1, 2).

Для получения оптимальных изображений было принято решение осуществлять сканирование нервов через гелевую прослойку толщиной не менее 1,0 см. На полученных с помощью гелевой прослойки эхограммах контуры нерва и его пучковое строение четко визуализировались. На эхограммах нервы четко дифференцировались от окружающих тканей, прослеживались их контуры, пучковое строение, что позволяло детально оценить эхоструктуру седалищных нервов при аутопсии. Три седалищных нерва, осмотренные через гелевую прослойку, в продольном сечении представляли собой тяж с правильным чередованием гипо- и гиперэхогенных линейных полос, одинаковых по толщине и эхогенности (рис. 3).

В поперечном сечении нерв визуализировался в виде овально гетерогенного образования, состоящего из одинаковых по диаметру гипоэхогенных округлых образований – фасцикул, разделенных гиперэхогенными перемычками (рис. 4).

При морфологическом исследовании нервные стволы представляли собой пучки, которые состояли из нескольких меньших пучков – фасцикул, каждый из которых содержит множество нитей – аксонов, изолированных миелиновой оболочкой и шванновскими клетками. Скопления аксонов содержатся в индивидуальных оболочках – пери-

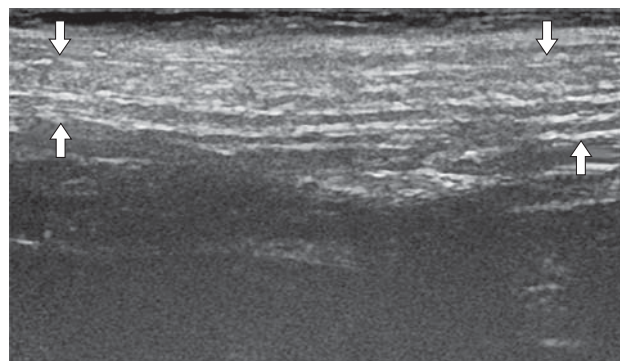


Рис. 1. УЗИ седалищного нерва при аутопсии, В-режим. Продольный скан нерва без гелевой прослойки.

Fig. 1. Ultrasound of the sciatic nerve at autopsy, B-mode. Longitudinal scan of the nerve without a gel layer.

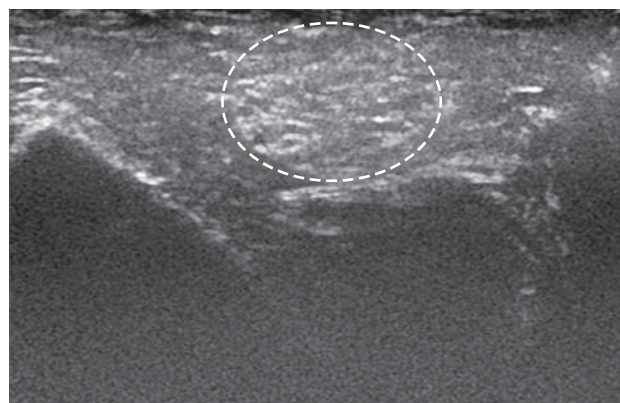


Рис. 2. УЗИ седалищного нерва при аутопсии, В-режим. Поперечный скан нерва без гелевой прослойки.

Fig. 2. Ultrasound of the sciatic nerve at autopsy, B-mode. Transverse scan of the nerve without a gel layer.

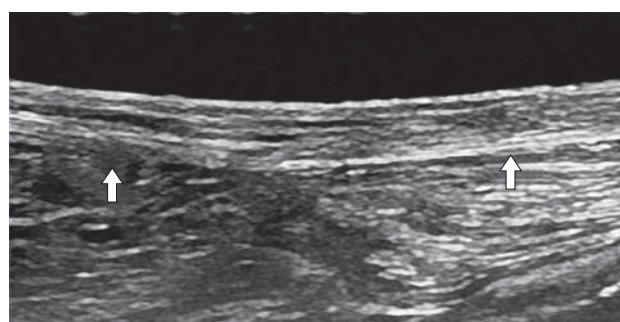


Рис. 3. УЗИ седалищного нерва при аутопсии, В-режим. Продольный скан нерва в В-режиме через гелевую прослойку.

Fig. 3. Ultrasound of the sciatic nerve at autopsy, B-mode. Longitudinal scan of the nerve in B-mode through a gel layer.

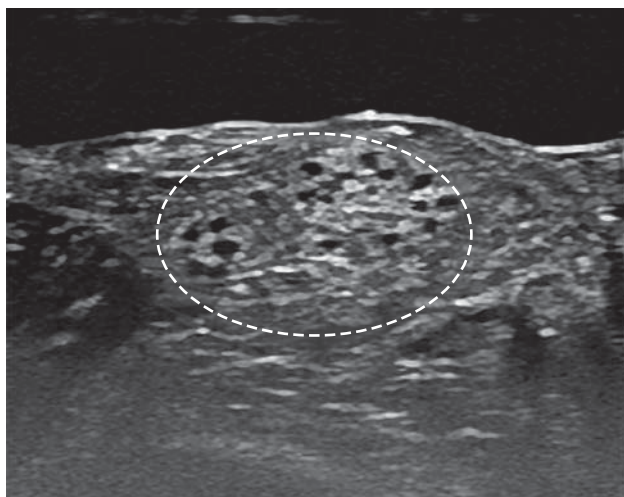


Рис. 4. УЗИ седалищного нерва при аутопсии, В-режим. Поперечный скан седалищного нерва через гелевую прослойку на уровне бифуркации (справа – фасцикулы большеберцового нерва, слева – общего малоберцового).

Fig. 4. Ultrasound of the sciatic nerve at autopsy, B-mode. Transverse scan of the sciatic nerve through a gel layer at the bifurcation level (on the right, fascicles of the tibial nerve, on the left, of the common peroneal nerve).

неврии и объединены защитной внешней оболочкой – эпиневрием.

Схема строения здорового нерва, его интраоперационная эхограмма при аутопсии, гистограмма представлены на рис. 5.

Был выполнен анализ соответствия морфологической структуры седалищных нервов эхографической картине. Данные представлены в таблице.

Анализ корреляции морфологической структуры нервного волокна с эхографической картиной показал, что гипозоногенные линейные полосы на эхограмме при продольном сканировании нерва представляют собой скопления аксонов, собранные в пучки – фасцикулы, гиперэхогенные полосы – это сливающиеся воедино периневрии и внутриствольные структуры, в том числе жировая ткань и питающие нерв сосуды. Пучковое строение нервов в продольном сечении прослеживалось в виде тяжей с правильным чередованием гипо- и гиперэхогенных линейных полос, схожих по толщине и эхогенности, в количестве 10–13, расположенных по всей длине нервного ствола равномерно. По периферии нервного ствола визуализируется гиперэхогенный, нечетко очерченный эпиневрив в виде зоны повышенной эхогенности на границе нервного ствола толщиной не более 0,1 см.

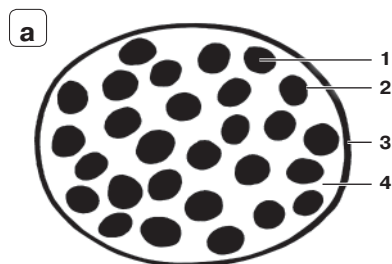
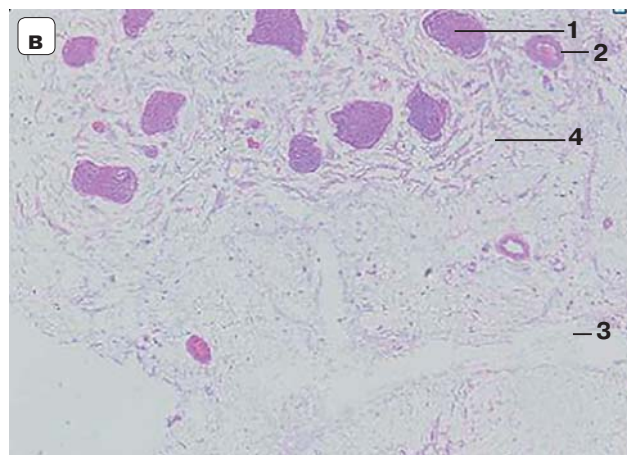
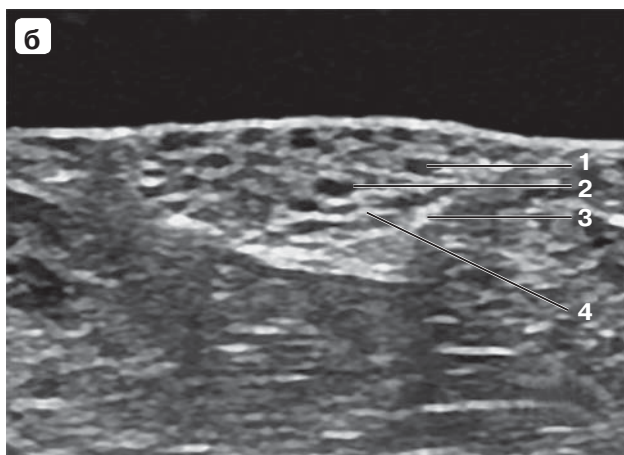
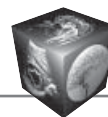


Рис. 5. Схема (а), эхограмма (б) и гистограмма (в) поперечного сечения седалищного нерва. Эхограмма получена с помощью интраоперационного УЗИ при аутопсии. 1 – фасцикул, 2 – периневрий, 3 – эпиневрив, 4 – внутриствольные структуры, в том числе жировая ткань и интраневральные сосуды.

Fig. 5. Scheme (a), echogram (б) and histogram (в) of the cross-section of the sciatic nerve. The echogram was obtained using intraoperative ultrasound at autopsy. 1 – fascicle, 2 – perineurium, 3 – epineurium, 4 – intra-trunk structures, including fatty tissue and intraneural vessels.



**Таблица.** Соответствия морфологической структуры нервного волокна эхографической картине**Table.** Correspondence between the morphological structure of the nerve fiber and the echographic picture

Морфологические параметры Morphological parameters	Эхографические признаки Echographic signs
Пучки аксонов (фасцикулы) Bundles of axons (fascicles)	Внутриствольные гипозоногенные, в поперечном сечении округлые или овальные образования без существенных различий в диаметре Intrastuncular hypoechoic, round or oval formations in cross section without significant differences in diameter
Периневрий Perineurium	Гиперэхогенная зона, расположенная вокруг фасцикул Hyperechoic zone located around the fascicles
Эпиневрй Epineurium	Гиперэхогенная зона, расположенная вокруг нервного ствола Hyperechoic zone located around the nerve trunk
Внутриствольные структуры, в том числе сосуды и жировая ткань Intra-trunk structures, including vessels and adipose tissue	Внутриствольное гиперэхогенное содержимое, на фоне которого визуализируются фасцикулы Intra-trunk hyperechoic content, against the background of which fascicles are visualized

Фасцикулярная структура в поперечном сечении представляет собой одинаковые по диаметру гипозоногенные округлые внутриствольные образования – скопления аксонов в количестве 28–30, расположенные по всей площади нервного ствола равномерно. По периферии отдельно взятых фасцикул визуализировался гиперэхогенный периневрий, представленный зоной повышенной эхогенности толщиной менее 0,1 см. Между фасцикулами прослеживались гиперэхогенные внутриствольные структуры, содержащие в том числе жировую ткань и питающие нерв сосуды. По периферии самого нервного ствола седалищных нервов – гиперэхогенный нечетко очерченный эпиневрй в виде зоны повышенной эхогенности толщиной не более 0,1 см.

Обсуждение

Проблема травматического повреждения периферических нервов конечностей становится наиболее актуальной во время проведения военных компаний, а диагностика различных повреждений периферических нервов при огнестрельной травме за 2022–2025 гг. приобрела особую актуальность. Большинство повреждений нервов приходится на наиболее активную возрастную группу и приводит к длительной потере трудоспособности с высокой частотой инвалидизации пострадавших. Анализ немногочисленных литературных источников, посвященных огнестрельной травме периферических нервов, и собственный опыт показали, что одной из нерешенных проблем ультразвуковой диагностики огнестрельной травмы периферических нервов остается дифференциальная диагностика таких видов повреждения,

как компрессия нерва рубцовыми тканями и нарушения анатомической целостности нервного волокна. Оба эти вида огнестрельной травмы нервов имеют схожие эхографические характеристики, что влечет за собой затруднения при выборе хирургической тактики лечения нерва – невролиз, шов или пластика нерва. Неверная оценка состояния периферического нерва на дооперационном этапе влечет увеличение длительности оперативного вмешательства и может существенно повлиять на его качество. В настоящее время многими авторами высоко оцениваются диагностические возможности в том числе интраоперационного УЗИ периферических нервов. Наиболее детально интраоперационная эхоструктура периферических нервов описана в работе R.W. Koenig и соавт. Однако в отличие от исследования этих авторов, в котором оценивались морфологические и интраоперационные эхографические характеристики поврежденных нервных волокон, наша работа посвящена морфологической оценке и УЗИ неповрежденных нервных стволов при аутопсии. Полученные данные нами использованы в качестве эталона при проведении интраоперационных УЗИ поврежденных при огнестрельной травме периферических нервов.

Заключение

При проведении аутопсии удалось оценить эхографические характеристики структурной организации нормальных, неизмененных по структуре седалищных нервов.

Для детальной оценки эхоструктуры периферических нервов при аутопсии было необходимо использовать гелевую прослойку, что позволяло



сместить фокус ультразвукового луча непосредственно на нервное волокно и давало возможность детально рассмотреть строение нерва.

С использованием гелевой прослойки при УЗИ седалищные нервы хорошо дифференцировались от окружающих тканей и представляли собой: в поперечном сечении округлые или овальные образования с упорядоченным пучковым строением, в продольном сечении – тяжи с правильным чередованием гипо- и гиперэхогенных зон, что отражало морфологическую структуру и упорядоченное пучковое строение нервных волокон.

При проведении УЗИ эхографическая картина неповрежденных седалищных нервов, полученная при аутопсии, может быть использована в качестве эталона для сравнения нормальной эхоструктуры нерва с ее измененным аналогом.

Участие авторов

Дубровских С.Н. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Татарина А.В. – написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Гумерова Э.А. – обзор публикаций по теме статьи.

Степанова Ю.А. – подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Пацап О.И. – участие в научном дизайне.

Дубровских Д.С. – ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

Dubrovskikh S.N. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data.

Tatarina A.V. – writing text, preparation and creation of the published work.

Gumerova E.A. – review of publications.

Stepanova Yu.A. – approval of the final version of the article, text preparation and editing.

Patsap O.I. – participation in scientific design.

Dubrovskikh D.S. – responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы

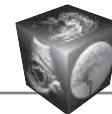
1. Шаповалов В.М., Хоминец В.В., Аверкиев Д.В., Кудяшев А.Л., Остапченко А.А. Особенности оказания специализированной ортопедотравматологической помощи раненым с огнестрельными переломами длинных костей конечностей по опыту боевых действий на Северном Кавказе. *Гений ортопедии*. 2011; 2: 107–111.
2. Дубровских С.Н., Есипов А.В., Татарина А.В., Гумерова Э.А., Корягина А.Д., Пильников А.А. Возможности сонографии в дифференциальной диаг-

ностике поражений периферических нервов при минно-взрывном воздействии. *Госпитальная медицина: наука и практика*. 2023; 6 (2): 37–47. <http://doi.org/10.34852/GM3CVKG.2023.95.78.016>

3. Дубровских С.Н., Чурсин А.В., Татарина А.В., Гумерова Э.А., Степанова Ю.А. Эхографическая и морфологическая характеристика структурных изменений периферических нервов при огнестрельной травме. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2024; 14 (4): 141. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-4-141-152>
4. Koenig R.W., Schmidt T.E., Heinen C.P.G. et al. Intraoperative high-resolution ultrasound: a new technique in the management of peripheral nerve disorders: Clinical article. *J. Neurosurg.* 2011; 114 (2): 514–521. <http://doi.org/10.3171/2010.9.JNS10464>
5. Lee J., Bidwell T., Metcalfe R. Ultrasound in pediatric peripheral nerve injuries: Can this affect our surgical decision making? A preliminary report. *J. Pediatr. Orthop.* 2013; 33 (2): 152–158. <http://doi.org/10.1097/BPO.0b013e318263a130>
6. Айтемиров Ш.М., Нинель В.Г., Коршунова Г.А., Щаницы И.Н. Высокораesшающая ультрасонография в диагностике и хирургии периферических нервов конечностей (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2015; 3: 116–125. <http://doi.org/10.21823/2311-2905-2015-0-3-116-125>
7. Айтемиров Ш.М., Островский В.В., Бажанов С.П., Щаницы И.Н., Бордюгова Т.А., Петрова А.П. Вклад УЗИ в оценку травматических поражений периферических нервов: прошлое, настоящее и будущее. *Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова*. 2022; 14 (3): 130–139. <http://doi.org/10.56618/20712693.2022.14.3.130>
8. Варгасова Т.Н., Краснов В.В. Морфологическое исследование седалищного нерва при лечении сочетанной травмы таза и бедра методом чрескожного остеосинтеза в эксперименте. *Гений ортопедии*. 2010; 4: 36–40.
9. Масгутов Р.Ф., Салафутдинов И.И., Богов А.А., Трофимова А.А., Ханнанова И.Г., Муллин Р.И., Исламов Р.Р., Челышев Ю.А., Богов А.А., Ризванов А.А. Стимуляция посттравматической регенерации седалищного нерва крысы с помощью плазмиды, экспрессирующей сосудистый эндотелиальный фактор роста и основной фактор роста фибробластов. *Клеточная трансплантология и тканевая инженерия*. 2011; 3: 67–71.
10. Журбин Е.А., Декан В.С., Грищенков А.С., Железняк И.С., Чуриков Л.И., Гайворонский А.И. Возможности интраоперационного ультразвукового исследования при травматических повреждениях периферических нервов конечностей. *Лучевая диагностика и терапия*. 2017; 3 (8): 100–101.

References

1. Shapovalov V.M., Khominets V.V., Averkhiyev D.V. et al. Features of providing specialized orthopedic trauma care to the wounded with gunshot fractures of long bones of the extremities based on the experience of military operations in the North Caucasus. *Genij Ortopedii = Genius of Orthopedics*. 2011; 2: 107–111. (In Russian)
2. Dubrovskikh S.N., Esipov A.V., Tatarina A.V. et al. The possibilities of sonography in differential diagnostics of peripheral nerve lesions in mine-explosive impacts.



- Hospital medicine: science and practice*. 2023; 6 (2): 37–47. <http://doi.org/10.34852/GM3CVKG.2023.95.78.016> (In Russian)
3. Dubrovskikh S.N., Chursin A.V., Tatarina A.V. et al. Echographic and morphological characteristics of structural changes in peripheral nerves in gunshot trauma. *REJR*. 2024; 14 (4): 141. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-4-141-152> (In Russian)
 4. Koenig R.W., Schmidt T.E., Heinen C.P.G. et al. Intraoperative high-resolution ultrasound: anew technique in the management of peripheral nerve disorders: Clinical article. *J. Neurosurg*. 2011; 114 (2): 514–521. <http://doi.org/10.3171/2010.9.JNS10464>
 5. Lee J., Bidwell T., Metcalfe R. Ultrasound in pediatric peripheral nerveinjuries: Can this affect our surgical decision making? A preliminary report. *J. Pediatr. Orthop*. 2013; 33 (2): 152–158. <http://doi.org/10.1097/BPO.0b013e318263a130>
 6. Aitemirov S.M., Ninel V.G., Korshunova G.A., Shchanitsyn I.N. High-resolution ultrasonography in the diagnosis and management of peripheral nerve lesions (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2015; 3: 116–125. <http://doi.org/10.21823/2311-2905-2015-0-3-116-125> (In Russian)
 7. Aitemirov Sh.M., Ostrovsky V.V., Bazhanov S.P. et al. Contribution of ultrasound to the assessment of traumatic lesions of peripheral nerves: past, present and future. *Russian Neurosurgical Journal named after prof. A.L. Polenov*. 2022; 14 (3): 130–139. http://doi.org/10.56618/20712693_2022_14_3_130 (In Russian)
 8. Vargasova T.N., Krasnov V.V. Morphological study of the sciatic nerve in the treatment of combined pelvic and hip trauma using percutaneous osteosynthesis in an experiment. *Genius of Orthopedics*. 2010; 4: 36–40. (In Russian)
 9. Masgutov R.F., Salafutdinov I.I., Bogov A.A. et al. Stimulation of rat's sciatic nerve post-traumatic regeneration using plasmids expressing vascular endothelial growth factor and basic fibroblast growth factor. *Cellular Transplantation and Tissue Engineering*. 2011; 3: 67–71. (In Russian)
 10. Zhurbin E.A., Dekan V.S., Grishchenkov A.S., Zheleznyak I.S., Churikov L.I., Gaivoronsky A.I. Possibilities of intraoperative ultrasound examination in traumatic injuries of peripheral nerves of the extremities. *Radiation diagnostics and therapy*. 2017; 3 (8): 100–101. (In Russian)

Для корреспонденции*: Дубровских Светлана Николаевна – e-mail: dwetlana1975@icloud.com

Дубровских Светлана Николаевна – канд. мед. наук, заслуженный врач Российской Федерации, заведующая отделением УЗД (круглосуточной диагностики) Центра лучевой диагностики с архивом ФГБУ “НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого” Министерства обороны России, Красногорск. <https://orcid.org/0009-0000-9498-006X>

Татарина Алена Владимировна – врач отделения УЗД (круглосуточной диагностики) Центра лучевой диагностики с архивом ФГБУ “НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого” Министерства обороны России, Красногорск. <https://orcid.org/0009-0003-4452-6012>

Гумерова Эльмира Анваровна – врач отделения УЗД (круглосуточной диагностики) Центра лучевой диагностики с архивом ФГБУ “НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого” Министерства обороны России, Красногорск. <https://orcid.org/0009-0003-1277-2614>

Степанова Юлия Александровна – доктор мед. наук, профессор, старший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

Пацап Ольга Игоревна – канд. мед. наук, заведующая патологоанатомическим отделением ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4620-3922>

Дубровских Дарья Сергеевна – студентка 6 курса ФГАОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, г. Москва. <https://orcid.org/0009-0000-9498-006X>

Contact*: Svetlana N. Dubrovskikh – e-mail: dwetlana1975@icloud.com

Svetlana N. Dubrovskikh – Cand. of Sci. (Med.), Honored Doctor of the Russian Federation, Head of the ultrasound department round-the-clock diagnostics of the Center (radiation diagnostics with an archive), A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Krasnogorsk, Moscow region. <https://orcid.org/0009-0000-9498-006X>

Alena V. Tatarina – physician of the ultrasound department (round-the-clock diagnostics) of the Center radiation diagnostics with an archive, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Krasnogorsk, Moscow region. <https://orcid.org/0009-0003-4452-6012>

Elmira A. Gumerova – physician of the ultrasound department (round-the-clock diagnostics) of the Center radiation diagnostics with an archive, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Krasnogorsk, Moscow region. <https://orcid.org/0009-0003-1277-2614>

Yulia A Stepanova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Senior Researcher at the Ultrasound Diagnostics Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

Olga I. Patsap – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Pathological Anatomy Department, Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4620-3922>

Daria S. Dubrovskikh – 6th year student of Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-9498-006X>



Роль морфологических магнитно-резонансных признаков в прогнозировании лимфоваскулярной инвазии злокачественных новообразований молочной железы гибридными морфорациомическими моделями

© Васильев Ю.А.¹, Скоробогач И.М.^{1*}, Нуднов Н.В.², Блохин И.А.¹,
Решетников Р.В.¹, Коденко М.Р.¹, Омелянская О.В.¹, Владимировский А.В.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 ФГБУ "Российский научный центр рентгенодиагностики" Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

Цель исследования: повышение достоверности прогноза лимфоваскулярной инвазии (ЛВИ) гибридными морфорациомическими моделями наивного Байеса у пациентов со злокачественными новообразованиями молочной железы (ЗНМЖ) путем выяснения роли морфологических магнитно-резонансных (м-МР) признаков.

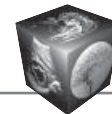
Материал и методы. Проанализированы данные 191 пациента с ЗНМЖ в виде 13 м-МР признаков, 6194 радиомических МР (р-МР)-показателей всего объема опухоли и целевым признаком – ЛВИ. Среди м-МР-признаков с помощью кросстабуляции, многофакторной логистической регрессии, дискретизации методом Entropy-MDL отобраны предикторы ЛВИ. Среди 6194 р-МР-показателей отобраны предикторы ЛВИ дискретизацией методом Entropy-MDL. Отобранные показатели использовались в обучении алгоритма наивного Байеса. Сравнивались показатели эффективности прогноза ЛВИ.

Результаты. По данным многофакторной логистической регрессии повышается шанс ЛВИ при выявлении признака ободка опухоли на диффузионно-взвешенном изображении (DWI) в 4,05 раза (OR 4,05, 95% ДИ 1,63–10,47, $p = 0,003$), перитуморального отека в 5,66 раза (OR 5,66, 95% ДИ 2,27–14,94, $p < 0,001$). Получены 3 гибридные модели с высокими дискриминационными способностями: 1-я модель с признаком DWI ободка и радиомической сигнатурой из 4 р-МР-показателей (AUC – 0,886, чувствительность – 89,5%, специфичность – 79,1%, классификационная правильность – 89,5%, правильность прогноза ЛВИ – 73,3% и ее отсутствия – 95,2%), 2-я модель с перитуморальным отеком и радиомической сигнатурой из 6 р-МР-показателей (AUC – 0,879, чувствительность – 82,5%, специфичность – 80,9%, классификационная правильность – 82,5%, правильность прогноза ЛВИ – 80,0% и ее отсутствия – 83,3%) и 3-я модель с перитуморальным отеком, признаком DWI ободка и радиомической сигнатурой из 8 р-МР-показателей (AUC – 0,957, чувствительность – 96,5%, специфичность – 90,2%, классификационная правильность – 96,5%, правильность прогноза ЛВИ – 86,7% и ее отсутствия – 100%). Удаление признака DWI ободка из 1-й модели ухудшает ее дискриминационную способность (AUC-ROC $0,801 \pm 0,074$ vs $0,886 \pm 0,059$, $p = 0,001$) и правильность прогноза ЛВИ (40% vs 73%, $p = 0,066$). Аналогичные, но менее выраженные, не статистически значимые изменения наблюдаются после удаления признака перитуморального отека из 2-й модели (AUC-ROC $0,843 \pm 0,067$ vs $0,879 \pm 0,060$, $p = 0,190$; правильность прогноза ЛВИ 60% vs 80%, $p = 0,232$). Удаление двух м-МР-признаков из 3-й модели ухудшает ее дискриминационную способность (AUC-ROC $0,957 \pm 0,038$ vs $0,901 \pm 0,055$, $p = 0,024$) и правильность прогноза ЛВИ (80% vs 86,7%, $p = 0,624$).

Закключение. Использование гибридных моделей, объединяющих м-МР-признаки и р-МР-показатели, повышает дискриминационную способность прогноза по сравнению с моделями, использующими только интратуморальные р-МР-показатели.

Ключевые слова: инвазивное злокачественное новообразование молочной железы; лимфоваскулярная инвазия; машинное обучение; МРТ; гибридная модель; дискретизация Entropy-MDL; радиомика

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.



Для цитирования: Васильев Ю.А., Скоробогач И.М., Нуднов Н.В., Блохин И.А., Решетников Р.В., Коденко М.Р., Омелянская О.В., Владимирский А.В. Роль морфологических магнитно-резонансных признаков в прогнозировании лимфоваскулярной инвазии злокачественных новообразований молочной железы гибридными морфорадиомическими моделями. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 100–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1549>

Поступила в редакцию: 21.03.2025.

Принята к печати: 11.06.2025.

Опубликована online: 13.10.2025.

Role of morphologic magnetic resonance features in predicting lymphovascular invasion of malignant breast neoplasms by hybrid morpho-radiomic models

© Yuri A. Vasiliev¹, Ivan M. Skorobogach^{1*}, Nikolay V. Nudnov², Ivan A. Blokhin¹, Roman V. Reshetnikov¹, Maria R. Kodenko¹, Olga V. Omelyanskaya¹, Anton V. Vladzhymsky¹

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

Purpose of the study: to improve the reliability of prediction of lymphovascular invasion (LVI) by hybrid morpho-radiomic naive Bayesian models in patients with malignant breast cancer (MBC) by elucidating the role of morphologic magnetic resonance (m-MR) features.

Materials and Methods. Data from 191 patients with MBC were analyzed in the form of 13 m-MR features, 6194 radiomic MR (r-MR) indicators of the whole tumor volume, and the target feature, LVI. Among the m-MR features, predictors of LVI were selected using cross-tabulation, multivariate logistic regression, and Entropy-MDL discretization. Among 6194 r-MR indicators, predictors of LVI were selected by Entropy-MDL discretization. The selected indicators were used in training the naive Bayes algorithm. The performance of LVI predictors was compared.

Results. According to multivariate logistic regression, the odds of LVI increased when tumor rim feature was detected on DWI image 4.05-fold (OR 4.05, 95%CI: 1.63–10.47, $p = 0.003$), peritumoral edema 5.66-fold (OR 5.66, 95%CI: 2.27–14.94, $p < 0.001$). 3 hybrid models with high discriminatory abilities were obtained: 1 model with DWI rim and radiomic signature from 4 p-MR indicators (AUC = 0.886, sensitivity – 89.5%, specificity – 79.1%, classification correctness – 89.5%, correctness of prediction of LVI – 73.3% and its absence – 95.2%), 2 model with peritumoral edema and radiomic signature from 6 p-MR indicators (AUC = 0.879, sensitivity – 82.5%, specificity – 80.9%, classification correctness – 82.5%, correctness in predicting LVI – 80.0% and its absence – 83.3%) and 3 models with peritumoral edema, rim DWI sign and radiomic signature from 8 p-MR indicators (AUS = 0.957, sensitivity – 96.5%, specificity – 90.2%, classification correctness – 96.5%, correctness in predicting LVI – 86.7% and its absence – 100%). Removing the DWI rim feature from 1 model worsens its discriminatory power (AUC-ROC, 0.801 ± 0.074 vs 0.886 ± 0.059 , $p = 0.001$) and correctness of LVI prediction (40 vs 73%, $p = 0.066$). Similar but less pronounced, non-statistically significant changes were observed after removal of the peritumoral edema feature from the 2 models (AUC-ROC, 0.843 ± 0.067 vs 0.879 ± 0.060 , $p = 0.190$; LVI prediction correctness, 60 vs 80%, $p = 0.232$). Removing 2 m-MR features from the 3 model worsens its discriminatory power (AUC-ROC, 0.957 ± 0.038 vs 0.901 ± 0.055 , $p = 0.024$) and correctness of LVI prediction (80 vs 86.7%, $p = 0.624$).

Conclusion. The use of hybrid models combining m-MR traits and r-MR indices improve the discriminatory power of prediction compared to models using only intratumoral r-MR indices.

Keywords: invasive breast malignancy; lymphovascular invasion; machine learning; MRI; hybrid model; Entropy-MDL discretization; radiomics

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

For citation: Vasiliev Yu.A., Skorobogach I.M., Nudnov N.V., Blokhin I.A., Reshetnikov R.V., Kodenko M.R., Omelyanskaya O.V., Vladzhymsky A.V. Role of morphologic magnetic resonance features in predicting lymphovascular invasion of malignant breast neoplasms by hybrid morpho-radiomic models. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 100–119. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1549>

Received: 21.03.2025.

Accepted for publication: 11.06.2025.

Published online: 13.10.2025.



Введение

Злокачественные новообразования молочной железы (ЗНМЖ) являются наиболее часто диагностируемым типом ЗН у женщин во всем мире и основной причиной смерти, связанной с ЗН. Несмотря на достижения современной онкологии в увеличении выживаемости, смертность, в первую очередь, связана с рецидивами или метастазами ЗНМЖ [1–4].

Лимфоваскулярная инвазия (ЛВИ) выявляется при попадании опухолевых эмболов в лимфатические и кровеносные сосуды перитуморальной области, что является определяющим моментом в прогрессировании и метастазировании ЗНМЖ [5, 6]. По данным систематического обзора доказано, что наличие ЛВИ является независимым предиктором более низкой выживаемости [7].

ЛВИ признана этапом метастазирования пациентов с ЗНМЖ [8]. По результатам метаанализа 15 исследований у 21 704 пациентов на ранней стадии ЗНМЖ с ЛВИ ухудшалась классификационная выживаемость, чаще выявлялись отдаленные метастазы и локальные метастазы после мастэктомии [9]. На основании ЛВИ прогнозируют наличие метастазов в лимфатических узлах, в том числе в сторожевых лимфатических узлах [10–13].

Степень ЛВИ является одним из важных факторов для прогнозирования эффективности неoadъювантной химиотерапии при ЗНМЖ [14]. Сейчас ЛВИ используется для более точного определения протоколов лучевой терапии [15].

В настоящее время эффективность предоперационной биопсии для диагностики ЛВИ остается недоказанной [16–19]. В связи с этим возникает необходимость неинвазивной точной диагностики ЛВИ, в том числе на основании радиомических магнитно-резонансных (р-МР) показателей. Радиомика – это направление углубленного анализа, которое определяет гетерогенность опухоли, количественно характеризуя цифровые изображения [20–25]. Использование радиомических показателей позволяет прогнозировать ЛВИ. Более эффективны, как правило, гибридные модели, включающие как радиологические признаки (перитуморальный отек, состояние подмышечных лимфатических узлов), так и радиомические показатели [26–30]. Причем метаанализ показал, что радиомические модели, включающие перитуморальные и интратуморальные показатели, эффективнее моделей только с интратуморальными показателями в прогнозе ЛВИ ЗНМЖ [31].

Таким образом, недостаточная эффективность предоперационной пункционной и необходимость неинвазивной радиомической диагностики ЛВИ обуславливает актуальность изучения данной

тематики. Несмотря на сообщения о большей эффективности гибридных моделей, включающих как морфологические МР (м-МР) признаки, так и интратуморальные р-МР-показатели, вопрос об эффективности использования м-МР-признаков в гибридных моделях не исчерпан.

Цель исследования: повышение эффективности предоперационной диагностики ЛВИ на основании изучения возможности м-МР-признаков в гибридной модели прогноза, включающей интратуморальные р-МР-показатели.

Материал и методы

Проанализирован набор данных 191 пациента с ЗНМЖ (<https://github.com/Liuhaibo521/LVI-Dataset>). В нем представлены клинические, м-МР-признаки (табл. 1) и р-МР-показатели. Данные получены во время ретроспективного исследования, проведенного с января 2019 г. по июль 2023 г., в двух медицинских центрах – Второй дочерней больницы Хунаньского университета китайской медицины и Центральной больницы Сянтан [32]. Это единственный открытый набор данных, содержащий м-МР-признаки и р-МР-показатели ЛВИ ЗНМЖ.

Критерии включения пациентов в исследование: предоперационная МРТ молочной железы с контрастированием; ЛВИ подтверждена гистологически после операции; все пациенты не проходили эндокринную и химиотерапию; без предыдущих операций на молочной железе.

Авторы использовали магнитно-резонансный томограф 1,5 Тл MAGNETOM Aera с 18-канальной поверхностной катушкой груди (Siemens AG, Мюнхен, Германия) с идентичными протоколами сканирования. Два рентгенолога, специализирующиеся на интерпретации МРТ молочной железы с 7- и 15-летним опытом соответственно, независимо оценили МРТ-изображения. При наличии расхождений в заключениях итоговое решение принималось в ходе консенсуса.

Сегментация изображений и извлечение радиомических функций. МРТ-изображения ЗНМЖ, включая T1- и T2-взвешенные изображения, диффузионно-взвешенные изображения (DWI), постконтрастную МРТ (DCE) и ADC импортировались в программное обеспечение Slicer (версия 4.6; <https://www.slicer.org>). Опухоль сегментировали полуавтоматически в модуле 3D DCE-MRI (молочная железа). Радиомические функции были извлечены из изображений с помощью пакета функций Pyradiomics 3.1.0 (<https://pyradiomics.readthedocs.io>) [33]. МРТ-изображения были преобразованы с помощью фильтра LOG (Лапласиана и Гаусса) с разными шагами (sigma) объема анализируемой опухоли в 2–5 мм, вейвлет-преобразо-

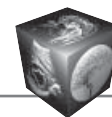


Таблица 1. Клинические и морфологические МР-признаки ЗНМЖ
Table 1. Clinical and morphologic MR signs of breast cancer

Клинические и морфологические МР-признаки Clinical and morphologic MR signs	Градации Gradations
Возраст Age	Непрерывный показатель Continuous index
Менопауза Menopause	Нет – 0, есть – 1 None – 0, Yes – 1
Локализация Localization	Слева – 0, справа – 1 Left – 0, right – 1
Тип кривой динамического контрастирования усиления (ТДКУ) Type of dynamic contrast enhancement curve	Тип I – 1, II – 2, III – 3 Type I – 1, II – 2, III – 3
Плотность фиброгланулярной ткани (ФГТ) Fibroglandular tissue density	Плотная – 1, гетерогенная – 2, разбросанная – 3, преимущественно жировая – 4 Dense – 1, heterogeneous – 2, scattered – 3, predominantly fatty – 4
Увеличение паренхимы молочной железы (УПМЖ) Enlargement of breast parenchyma	Нет – 0, легкая – 1, умеренная – 2, выраженная – 3 None – 0, mild – 1, moderate – 2, severe – 3
Внутриопухолевая высокая интенсивность сигнала (ВВИС) Intratumoral high signal intensity	Нет – 0, есть – 1 None – 0, present – 1
Перитуморальный отек Peritumoral edema	Нет – 0, есть – 1 No – 0, yes – 1
Подкожный отек Subcutaneous edema	Нет – 0, есть – 1 No – 0, yes – 1
Внутриопухолевый некроз Intratumoral necrosis	Нет – 0, есть – 1 No – 0, yes – 1
Паттерн внутреннего усиления (ПВУ) Internal enhancement pattern	Однородный – 1, гетерогенный – 2, усиление по краю – 3 Homogeneous – 1, heterogeneous – 2, edge enhancement – 3
Признак прилежащего сосуда (ППС) Adjacent vessel sign	Нет – 0, есть – 1 None – 0, present – 1
Повышенная ипсилатеральная васкуляриность (ПИБ) Increased ipsilateral vascularity	Нет – 0, есть – 1 No – 0, yes – 1
Статус mrALN (лимфаденопатия) mrALN status (lymphadenopathy)	Нет – 0, есть – 1 No – 0, yes – 1
Признак ободка опухоли на DWI DWI rim sign	Нет – 0, есть – 1 No – 0, yes – 1

вания с высокочастотными (H) и низкочастотными (L) фильтрами и без фильтра – изображение оригинальное.

Мы сами не занимались сегментацией опухоли и использовали только извлеченные из всей опухоли р-МР-показатели для отбора предикторов и построения моделей машинного обучения для прогноза ЛВИ или ее отсутствия. Нами анализировались 13 м-МР-признаков (см. табл. 1) и 6194 р-МР-показателя всего объема опухоли (VOI^{entire}) ЗНМЖ. Целевой признак – ЛВИ.

Для моделей прогноза ЛВИ отбор м-МР-признаков и р-МР-показателей, определение их пороговых значений и соответствующих референтных диапазонов значений проводились методом Entropy-MDL. Дискретизация позволяет преобразовать непрерывные показатели в категориальные с минимальной потерей информации. В моделях с категориальными показателями оптимизировали модель, удаляя высококорреляционные ($\geq 0,7$) и малоинформативные переменные, вносящие минимальный вклад в площадь под ROC-кривой,



и общую правильность прогноза алгоритма машинного обучения.

Определение размера выборки, необходимого для получения достаточно надежной оценки площади (AUC) под ROC-кривой, проводилось при помощи веб-ресурса "sample-size.net" (<https://sample-size.net/sample-size-ci-for-auROC/>). Так, при производительности модели $Q(\text{ROC-AUC})=0,90$, распространенности целевого состояния (ЛВИ) $p = 0,24$, ширине доверительного интервала $W = 0,125$, доверительном интервале значений ($CL=0,95$) минимально необходимый размер выборки составляет $n = 187$.

Обучающая и тестовая выборки. Из набора данных случайным образом были сформированы обучающая ($n = 134$) и тестовая ($n = 57$) выборки (соотношение 7:3). Отбор предикторов ЛВИ дискретизацией методом Entropy-MDL и машинное обучение показателей осуществляли в программе Orange 3.37.0 (университет Любляны, Словения; <https://orangedatamining.com>).

Отобранные предикторы в виде категориальных показателей использовались в обучении алгоритмов индукции правил CN2 (CN2, CN2 Rule Induction), случайного леса (RF, Random Forest), адаптивного бустинга (AB, AdaBoost), логистической регрессии (LR, Logistic Regression), К-ближайших соседей (kNN, k Nearest Neighbor), градиентного бустинга (GB, Gradient Boosting), наивного Байеса (NB, Naive Bayes), метода опорных векторов (SVM, support vector machine), стохастического градиентного спуска (SGD, Stochastic Gradient Descent), нейронных сетей глубокого обучения (NN, Neural Network, многослойный перцептрон).

Нами использовались базовые и наиболее эффективные модели машинного обучения, позволяющие с разных сторон, с точки зрения алгоритмов программирования [34–36], подойти к прогнозу ЛВИ. Так, CN2 – это алгоритм обучения для индукции правил, позволяющий обучать несовершенные обучающие данные. Случайный лес – ансамблевый метод, генерирующий на основе случайных подвыборок данных и объединяющий множество решающих деревьев для улучшения стабильности и точности прогнозирования. Адаптивный бустинг – ансамблевый метаалгоритм, объединяющий слабообучающиеся алгоритмы для создания сильного и исправления ошибок классификации, что позволяет эффективно решать задачи двоичной классификации. Логистическая регрессия с регуляризацией Lasso (L1) – модель, использующая логистическую или сигмоидальную функцию для преобразования линейной комбинации признаков в вероятность принадлежности объекта к определенному классу.

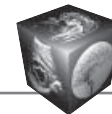
Она является "золотым стандартом" в медико-биологических исследованиях для отбора признаков или уменьшения их размерности. К-ближайших соседей – метод, основанный на принципе "ближайших соседей", где объект прогнозируется на основе классов и значений его "ближайших соседей" в пространстве признаков. Градиентный бустинг – ансамблевый метод, строящий ансамбль слабых моделей (обычно решающих деревьев) последовательно, каждая новая модель исправляет ошибки предыдущей, что обычно обеспечивает высокую точность предсказаний. Алгоритм наивного Байеса – метод основан на принципе теоремы Байеса и предполагает независимость признаков, что делает его быстрым и простым для обучения. Метод опорных векторов – метод, находящий оптимальную разделяющую гиперплоскость между различными классами как линейных, так и нелинейных данных. Стохастический градиентный спуск использовался для обучения метода модифицированного Хубера с регуляризацией L1 для избежания переобучения. Нейронные сети глубокого обучения, состоящие из множества слоев нейронов, включая скрытые слои, обеспечивают более высокую сложность обучения.

Алгоритмы SVM, LR, RF, KNN, GB использовались ранее в работе [32], что позволяет их использовать для сравнения эффективности моделей машинного обучения и нейронной сети, полученных в нашем исследовании.

Номограммы для визуализации классификатора наивного Байеса позволяют определить шансы и вероятность выявления ЛВИ по полученным значениям p -MP-показателей. Если значение показателя неизвестно, его вклад равен 0 баллов. Поэтому исходная общая сумма баллов равна 0, а соответствующая предварительная вероятность равна 0%. Чтобы сделать прогноз (рис. 4, 5а, б), вклад каждого признака измеряется в виде балльной оценки: ось points – логарифм отношения шансов для одного показателя (верхняя ось номограммы). Отдельные балльные оценки суммируются для определения вероятности выявления ЛВИ: две нижние оси номограммы – ось total – логарифм суммы отношений шансов всех показателей, находящихся в диапазоне положительного прогноза, справа; ось probabilities – соответствующая им вероятность.

Кроме того, вероятность выявления ЛВИ вычислялась по графикам объяснения прогноза. Вклад каждого MP-показателя и признака в вероятность выявления ЛВИ определялся по значению критерию Шепли – SHAP (SHapley Additive exPlanations).

В тестовом наборе данных проводили оценку эффективности модели машинного обучения, ко-



торая включала определение матрицы ошибок (AC+, истинно положительные – правильность прогноза ЛВИ и AC-, истинно отрицательные результаты – правильность прогноза отсутствия ЛВИ), чувствительности (Sens), специфичности (Spec), классификационной правильности (AC, accuracy) прогноза и анализ ROC-кривых [34–38].

Сравнение клинических и м-MP-признаков в зависимости от ЛВИ осуществлялось кросс-табуляцией, определение отношения шансов (OR) и их 95% доверительных интервалов (ДИ) – одно- и многофакторной логистической регрессией, сравнение площадей под ROC-кривыми (AUC-ROC) по критерию Де Лонга в программе “Jamovi 2.5.7.0” (<https://www.jamovi.org>). Статистически значимыми считали различия при значениях $p < 0,05$.

Результаты исследования

Проанализированы данные 191 пациента с ЗНМЖ в зависимости от наличия или отсутствия ЛВИ. В группах без ЛВИ ($n = 146$, 76,4%) и с ЛВИ ($n = 45$, 23,6%) статистически значимых различий выявляемости клинических и м-MP-признаков не выявлено для возраста ($51,72 \pm 9,8$ vs $51,50 \pm 9,6$ года, t -критерий Стьюдента 0,110, $p = 0,913$), менопаузы ($p = 0,71$), локализации ($p = 0,06$), плотности фиброглангулярной ткани ($p = 0,68$), увеличения паренхимы молочной железы ($p = 0,98$), внутриопухолевого некроза ($p = 0,16$), типа кривой динамического контрастирования усиления ($p = 0,08$), внутриопухолевой высокой интенсивности сигнала ($p = 0,29$), подкожного отека ($p = 0,66$), паттерна внутреннего усиления ($p = 0,10$), повышенной ипсилатеральной васкуляризации ($p = 0,99$).

У пациентов с ЛВИ ЗНМЖ чаще выявлялись признак прилежащего сосуда – 77,8% vs 58,2% ($p = 0,02$), подмышечная лимфаденопатия (mrALN-статус) – 77,8% vs 58,2% ($p = 0,03$), перитуморальный отек – 64,4% vs 22,6% ($p < 0,001$), признак ободка опухоли на DWI – 53,3% vs 17,1% ($p < 0,001$).

Нами проанализировано влияние клинических и м-MP-признаков ЗНМЖ на шанс выявления ЛВИ. По данным одновариантной логистической регрессии повышается шанс ЛВИ при выявлении перитуморального отека в 6,21 раза (OR 6,21, 95% ДИ 3,05–13,05, $p < 0,001$), признака прилежащего сосуда в 2,51 раза (OR 2,51, 95% ДИ 1,19–5,71, $p = 0,020$), mrALN-статуса в 2,51 раза (OR 2,43, 95% ДИ 1,05–5,47, $p = 0,033$), признака ободка опухоли на DWI в 5,53 раза (OR 5,53, 95% ДИ 2,69–11,58, $p < 0,001$). При многофакторном анализе повышается шанс ЛВИ при выявлении признака ободка опухоли на DWI в 4,05 раза (OR 4,05, 95% ДИ 1,63–10,47, $p = 0,003$), перитумо-

рального отека в 5,66 раза (OR 5,66, 95% ДИ 2,27–14,94, $p < 0,001$) (рис. 1).

В связи с тем что выявление перитуморального отека и DWI ободка опухоли повышает риск выявления ЛВИ, рассмотрим способность МР-признаков ЗНМЖ прогнозировать ЛВИ (табл. 2). Использование признака DWI ободка опухоли не позволяет эффективно прогнозировать ЛВИ. Несмотря на умеренную дискриминационную способность признака DWI ободка в прогнозе ЛВИ (AUC-ROC – 0,807, чувствительность – 73,7%, классификационная правильность – 73,7%, правильность прогноза отсутствия ЛВИ – 100%, см. табл. 2). МР-признак в тестовой выборке демонстрирует инверсную специфичность (26,3%) и невозможность прогнозировать ЛВИ (AC(+) = 0%). Та же тенденция наблюдается и при анализе способности МР-признака перитуморального отека прогнозировать ЛВИ (AUC-ROC – 0,717, чувствительность – 73,7%, классификационная правильность – 73,7%, правильность прогноза отсутствия ЛВИ – 100%, специфичность – 26,3% и невозможность правильно прогнозировать ЛВИ – 0%). Только при выявлении сразу двух МР-признаков ситуация несколько улучшается – способность двух МР-признаков выявлять ЛВИ и ее отсутствие выше по сравнению только с перитуморальным отеком (AUC-ROC – 0,860 $\pm$ 0,064 vs 0,717 $\pm$ 0,083, $p_{4-7} = 0,002$). Почти вдвое возрастает специфичность (54,5% vs 26,3%) и возникает способность правильно прогнозировать ЛВИ (40% vs 0% $p = 0,007$). Несмотря на это, низкие специфичность и правильность прогноза не позволяют эффективно использовать только МР-признаки ЗНМЖ – DWI ободка и перитуморального отека для прогноза ЛВИ.

Теперь рассмотрим вклад м-MP-признаков в прогноз ЛВИ гибридными моделями. Для этого в качестве основного предиктора ЛВИ будем использовать один морфологический МР-признак и к нему будем присоединять радиомическую сигнатуру из 4–6 не связанных между собой показателей до тех пор, пока AUC-ROC увеличится более 0,81, то есть станет оптимальной с точки зрения диагностического потенциала моделей [39]. Затем объединим две полученные модели, чтобы третья модель содержала два м-MP-признака и радиомическую сигнатуру из показателей предыдущих моделей.

Оценены показатели эффективности прогноза ЛВИ ЗНМЖ первой моделью, включающей признак DWI ободка опухоли и радиомическую сигнатуру из 4 МР-показателей, в тестовой группе. В табл. 3 алгоритмы прогноза ранжированы по классификационной правильности. Нами анали-



Возраст / Age	–	1.00 (0.94–1.06, p = 0.927)
Менопауза	0	–
Menopausal status	1	0.67 (0.19–2.34, p = 0.537)
Локализация	0	–
Location	1	1.68 (0.70–4.10, p = 0.246)
Плотность фиброглангулярной ткани	1	–
FGT density	2	1.52 (0.47–5.20, p = 0.491)
	3	1.46 (0.35–6.20, p = 0.601)
	4	3.26 (0.48–22.16, p = 0.222)
Увеличение паренхимы молочной железы	0	–
Enlargement of breast parenchyma	1	1.54 (0.45–5.66, p = 0.498)
	2	1.89 (0.37–10.09, p = 0.447)
	3	1.27 (0.18–9.00, p = 0.812)
Внутриопухолевый некроз	0	–
Intratumoral necrosis	1	1.10 (0.33–3.51, p = 0.872)
Тип кривой динамического контрастирования	1	–
усиления	2	0.30 (0.04–2.30, p = 0.225)
TIC curves	3	0.64 (0.10–4.55, p = 0.640)
Внутриопухолевая высокая интенсивность сигнала	0	–
Intratumoral high signal intensity	1	0.82 (0.25–2.54, p = 0.736)
Перитуморальный отек	0	–
Peritumoral edema	1	5.66 (2.27–14.94, p < 0.001)
Подкожный отек	0	–
Subcutaneous edema, n	1	0.40 (0.11–1.26, p = 0.132)
Признак прилежащего сосуда	0	–
Adjacent vessel sign	1	2.23 (0.78–6.82, p = 0.143)
Повышенная ипсилатеральная васкуляризация	0	–
Increased ipsilateral vascularity	1	0.52 (0.19–1.37, p = 0.191)
mrALN-статус	0	–
mrALN-status	1	1.47 (0.48–4.34, p = 0.485)
DWI признак ободка	0	–
DWI rim sign	1	4.05 (1.63–10.47, p = 0.003)

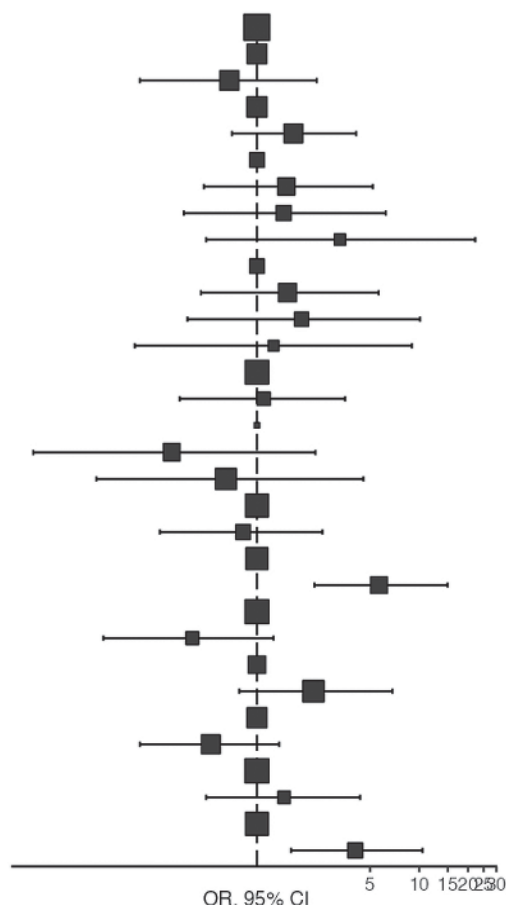


Рис. 1. Отношения шансов (OR) наличия ЛВИ в зависимости от наличия клинических и м-MR-признаков ЗНМЖ.

Fig. 1. Odds ratios (OR) of having LVI depending on the presence of clinical and m-MR signs of breast cancer.

Таблица 2. Эффективность и матрица ошибок моделей прогноза ЛВИ алгоритмом наивного Байеса

Table 2. Efficiency and error matrix of models of LVI prediction by naive Bayes algorithm

Модели / Model		AUC-ROC	Sens	Spec	AC	AC-	AC+
1	DWI ободка / DWI rim sign	0.807 ± 0.073	0.737	0.263	0.737	1.0	0
2	PC_1 / RS_1	0.801 ± 0.074	0.545	0.807	0.807	0.952	0.400
3	PC_1 + DWI ободка / RS_1 + DWI rim sign	0.886 ± 0.059	0.895	0.791	0.895	0.952	0.733
4	ПО / PE	0.717 ± 0.083	0.737	0.263	0.737	1.0	0
5	PC_2 / RS_2	0.843 ± 0.067	0.825	0.680	0.825	0.905	0.600
6	PC_2+ПО / RS_2+PE	0.879 ± 0.060	0.825	0.809	0.825	0.833	0.800
7	DWI ободка + ПО / DWI rim sign + PE	0.860 ± 0.064	0.807	0.545	0.807	0.952	0.400
8	PC_3 / RS_3	0.901 ± 0.055	0.860	0.821	0.860	0.881	0.800
9	PC_3+ПО / RS_3 + PE	0.930 ± 0.047	0.947	0.853	0.947	1.0	0.800
10	PC_3+ DWI ободка	0.951 ± 0.040	0.930	0.804	0.930	1.0	0.733
11	PC_3+ПО+ DWI ободка	0.957 ± 0.038	0.965	0.902	0.965	1.0	0.867

Примечание. PC – радиомическая сигнатура; ПО – перитуморальный отек; показатель p-value критерия Де Лонга для AUC-ROC $p_{1-2} = 0,953$, $p_{2-3} = 0,001$, $p_{1-3} = 0,354$, $p_{1-7} = 0,405$, $p_{4-5} = 0,123$, $p_{5-6} = 0,190$, $p_{4-6} = 0,006$, $p_{4-7} = 0,002$; Overall test (8–11): p-value = 0,048, $p_{8-10} = 0,009$, $p_{8-11} = 0,024$; показатель p-value критерия χ^2 для AC+ $p_{1-2} = 0,007$, $p_{2-3} = 0,066$, $p_{1-3} = 0,000$, $p_{1-7} = 0,007$, $p_{4-5} = 0,000$, $p_{5-6} = 0,232$, $p_{4-6} = 0,000$, $p_{4-7} = 0,007$.

Note. RS – radiomic signature; PE – peritumoral edema; Sens – sensitivity; Spec – specificity; AC – accuracy; p-value of De Long's criterion for AUC-ROC $p_{1-2} = 0,953$, $p_{2-3} = 0,001$, $p_{1-3} = 0,354$, $p_{1-7} = 0,405$, $p_{4-5} = 0,123$, $p_{5-6} = 0,190$, $p_{4-6} = 0,006$, $p_{4-7} = 0,002$; Overall test (8–11): p-value = 0,048, $p_{8-10} = 0,009$, $p_{8-11} = 0,024$; p-value of χ^2 criterion for AC+ $p_{1-2} = 0,007$, $p_{2-3} = 0,066$, $p_{1-3} = 0,000$, $p_{1-7} = 0,007$, $p_{4-5} = 0,000$, $p_{5-6} = 0,232$, $p_{4-6} = 0,000$, $p_{4-7} = 0,007$.

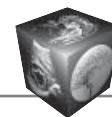


Таблица 3. Показатели эффективности прогноза первой моделью ЛВИ ЗНМЖ различными алгоритмами машинного обучения

Table 3. Prediction performance of the first LVI model of breast cancer prediction by different machine learning algorithms

	Model	AUC	AC	Sens	Spec	AC-	AC+
1	AdaBoost (AB)	0.881 ± 0.060	0.895	0.895	0.791	0.952	0.733
2	Gradient Boosting (GB)	0.868 ± 0.063	0.895	0.895	0.791	0.952	0.733
3	Naive Bayes (NB)	0.886 ± 0.059	0.895	0.895	0.791	0.952	0.733
4	Stochastic Gradient Descent (SGD)	0.865 ± 0.064	0.895	0.895	0.791	0.952	0.733
5	Neural Network (NN)	0.889 ± 0.058	0.895	0.895	0.791	0.952	0.733
6	Random Forest (RF)	0.878 ± 0.058	0.895	0.895	0.791	0.952	0.733
7	kNN	0.688 ± 0.085	0.807	0.807	0.545	0.952	0.400
8	SVM	0.879 ± 0.060	0.807	0.807	0.545	0.952	0.400
9	CN2 Rule Induction	0.875 ± 0.061	0.807	0.807	0.545	0.952	0.400
10	Logistic Regression (LR)	0.500 ± 0.088	0.737	0.737	0.263	1.0	0

Примечание. De Long Overall test для 1-10 алгоритмов: p-value <2e-16; De Long Test, при попарном сравнении алгоритмов 1–5 vs 7, 10 p < 0,05; 7 vs 8, 9, 10, p < 0,05; 8 и 9 vs 10 p < 0,05.

Note. De Long Overall test for 1-10 algorithms: p-value <2e-16; De Long Test, when pairwise comparison of algorithms 1–5 vs 7, 10 p < 0.05; 7 vs 8, 9, 10, p < 0.05; 8 and 9 vs 10 p < 0.05.

Таблица 4. Показатели эффективности прогноза второй моделью ЛВИ ЗНМЖ различными алгоритмами машинного обучения

Table 4. Prediction performance of the second LVI model of breast cancer prediction by different machine learning algorithms

	Model	AUC	AC	Sens	Spec	AC-	AC+
1	Naive Bayes (NB)	0.879 ± 0.060	0.825	0.825	0.809	0.833	0.800
2	Neural Network (NN)	0.871 ± 0.062	0.825	0.825	0.809	0.833	0.800
3	Gradient Boosting (GB)	0.860 ± 0.064	0.860	0.860	0.650	0.976	0.533
4	Stochastic Gradient Descent (SGD)	0.859 ± 0.066	0.860	0.860	0.650	0.976	0.533
5	CN2 Rule Induction	0.851 ± 0.066	0.860	0.860	0.650	0.976	0.533
6	AdaBoost (AB)	0.848 ± 0.067	0.860	0.860	0.650	0.976	0.533
7	Random Forest (RF)	0.843 ± 0.069	0.860	0.860	0.650	0.976	0.533
8	kNN	0.813 ± 0.072	0.842	0.842	0.644	0.952	0.533
9	SVM	0.787 ± 0.076	0.860	0.860	0.650	0.976	0.533
10	Logistic Regression (LR)	0.500 ± 0.088	0.737	0.737	0.263	1,0	0

Примечание. De Long Overall Test: p-value <2e-16; De Long Test, при попарном сравнении алгоритмов 1-9 vs 10 p < 0,05, 4, 6 vs 9 p < 0,05, 6 vs 8 p < 0,05.

Note. De Long Overall Test: p-value <2e-16; De Long Test, when pairwise comparison of algorithms 1-9 vs 10 p < 0.05, 4, 6 vs 9 p < 0.05, 6 vs 8 p < 0.05.

зировались 6 алгоритмов машинного обучения (AB, GB, NB, SGD, NN, RF), обладающие наилучшей эффективностью прогноза ЛВИ. Они имеют одинаковые классификационную правильность (89,5%), чувствительность (89,5%), специфичность (79,1%), способность правильно прогнозировать ЛВИ (истинно положительные результаты, 73,3%) и отсутствие ЛВИ (истинно отрицательные результаты, 95,2%). Площадь под ROC-кривой (0,865–0,889) 6 сравниваемых алгоритмов статистически значимо не отличалась (De Long Overall test = 0,563), в том числе при попарном сравнении алгоритмов (p>0,05). Два алгоритма (SVM, CN2)

с площадью под ROC-кривой >0,87 имели меньшую классификационную правильность (–9,8%), чувствительность (–9,8%), специфичность (–31,1%), способность правильно прогнозировать отсутствие ЛВИ (–45,3%). Поэтому любой из 6 алгоритмов (AB, GB, NB, SGD, NN, RF) одинаково эффективно прогнозирует ЛВИ первой гибридной моделью.

Оценены показатели эффективности второй модели прогноза ЛВИ ЗНМЖ, включающей признак перитуморального отека и радиомическую сигнатуру из 6 МР-показателей, в тестовой группе. В табл. 4 алгоритмы прогноза ранжированы по

**Таблица 5.** Показатели эффективности прогноза третьей моделью ЛВИ ЗНМЖ различными алгоритмами машинного обучения**Table 5.** Prediction performance of the third LVI model of breast cancer prediction by different machine learning algorithms

	Model	AUC	AC	Sens	Spec	AC-	AC+
1	Naive Bayes (NB)	0.957 ± 0.038	0.965	0.965	0.902	1.0	0.867
2	Gradient Boosting (GB)	0.948 ± 0.041	0.930	0.930	0.846	0.976	0.800
3	Random Forest (RF)	0.933 ± 0.058	0.912	0.912	0.840	0.952	0.800
4	CN2 Rule Induction (CN2)	0.913 ± 0.052	0.947	0.947	0.853	1.0	0.800
5	SVM	0.903 ± 0.055	0.947	0.947	0.853	1.0	0.800
6	Stochastic Gradient Descent (SGD)	0.894 ± 0.058	0.842	0.842	0.601	0.976	0.467
7	AdaBoost (AB)	0.892 ± 0.058	0.930	0.930	0.846	0.976	0.800
8	Neural Network (NN)	0.878 ± 0.061	0.719	0.719	0.814	0.667	0.867
9	kNN	0.874 ± 0.062	0.912	0.912	0.840	0.952	0.800
10	Logistic Regression (LR)	0.500 ± 0.088	0.737	0.737	0.263	1.0	0

Примечание. De Long Overall test для 1-10 алгоритмов: p-value < 2e-16; De Long Test, при попарном сравнении алгоритмов 1, 2 vs 6, 8, 9, 10, p < 0,05; 3-9 vs 10, p < 0,05

Note. De Long Overall test for 1-10 algorithms: p-value < 2e-16; De Long Test, when pairwise comparing algorithms 1, 2 vs 6, 8, 9, 10, p < 0.05; 3-9 vs 10, p < 0.05

ROC-AUC. Нами анализировались 2 наиболее эффективных алгоритма машинного обучения (NB, NN), имеющие наибольшую площадь под ROC-кривой (AUC 0,879 и 0,871) и способность правильно прогнозировать ЛВИ (истинно положительные результаты, 80%). Они имеют одинаковые классификационную правильность (82,5%), чувствительность (82,5%), специфичность (80,9%), способность правильно прогнозировать отсутствие ЛВИ (истинно отрицательные результаты, 83,3%). У 8 алгоритмов, имеющих площадь под ROC-кривой >0,8, ROC-AUC статистически значимо не отличалась (De Long Overall test = 0,137), в том числе при попарном сравнении алгоритмов (p > 0,05). Однако у 6 алгоритмов (GB, SGB, CN2, AD, RF, SVM vs NB, NN), несмотря на большие классификационную правильность (+4,2%), чувствительность (+4,2%) и способность правильно прогнозировать отсутствие ЛВИ (+17,2%), выявляется меньшая специфичность (-19,5%) и соответственно меньшая способность правильно прогнозировать ЛВИ (-33,4%). Поэтому только 2 алгоритма (NB, NN) наиболее эффективно прогнозируют ЛВИ второй гибридной моделью.

Оценены показатели эффективности третьей модели прогноза ЛВИ ЗНМЖ, включающей признаки DWI ободка, перитуморального отека и радиомическую сигнатуру из 8 МР-показателей, в тестовой группе. В табл. 5 алгоритмы прогноза ранжированы по ROC-AUC. Единственный наиболее эффективный в прогнозе ЛВИ по всем анализируемым показателям алгоритм наивного Байеса.

Таким образом, для прогноза ЛВИ тремя гибридными моделями одним из наиболее эффектив-

ных является алгоритм наивного Байеса. Далее будем рассматривать его для объяснения прогноза ЛВИ, поскольку, помимо эффективности, алгоритм легко интерпретируем за счет формирования прогностической номограммы наивного Байеса, используя которую индивидуально, для каждого пациента определяются вероятность и шанс выявления ЛВИ или ее отсутствия.

Первая модель включала признак DWI ободка опухоли и радиомическую сигнатуру_1 (PC_1) из 4 р-МР-показателей. Дискретизацией методом Entropy-MDL установлены пороговые значения прогноза ЛВИ и ее отсутствия первой моделью (PC_1 + DWI ободка) (табл. 6). Указанные диапазоны р-МР-показателей и наличие признака DWI ободка позволяют эффективно прогнозировать ЛВИ и ее отсутствие у пациентов с ЗНМЖ (AUC – 0,886, чувствительность – 89,5%, специфичность – 79,1%, классификационная правильность – 89,5%, правильность прогноза ЛВИ – 73,3% и ее отсутствия – 95,2%, см. табл. 2).

В группе с ЛВИ высокие уровни (рис. 2, красный цвет справа) чаще выявляются у показателей (см. табл. 6) wavelet-LLH_firstorder_90Percentile_ADC ($\geq 8,966$, 80% vs 44%, p < 0,001), log-sigma-2-mm-3D_glcM_ClusterShade_T1 ($\geq -4682,9$, 100% vs 80%, p < 0,001), признака DWI ободка (выявлен, 53% vs 17%, p < 0,001) и низкие уровни (синий цвет справа) чаще у показателей log-sigma-2-mm-3D_glcM_MCC_DCE (< 0,764, 56% vs 23%, p < 0,001), wavelet-HLH_glcM_Correlation_DCE (< 0,148, 98% vs 73%, p < 0,001). При увеличении уровней показателей (красный цвет справа) и уменьшении уровней показателей (синий цвет справа) возрастает

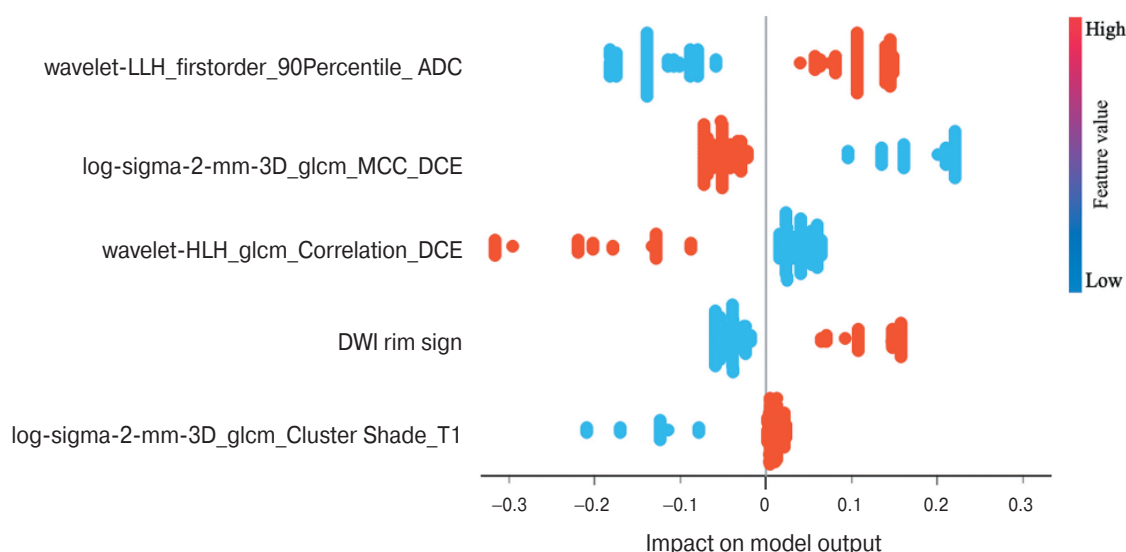
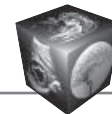


Рис. 2. Влияние р-МР-показателей и DWI признака ободка на вероятность выявления ЛВИ по критерию Шепли (SHAP). В правой части увеличение (красный цвет – увеличение уровня значений) и уменьшение (синий цвет – уменьшение уровня значений) уровней показателей приводит к возрастанию вероятности ЛВИ (горизонтальная ось графика).

Fig. 2. Effect of r-MR indices and DWI rim sign feature on the probability of detecting LVI according to the Shapley's criterion (SHAP). In the right part, an increase (red color – increase in the level of values) and decrease (blue color – decrease in the level of values) in the levels of indicators leads to an increase in the probability of LVI (horizontal axis of the graph).

Таблица 6. Частоты выявления прогностических диапазонов показателей при ЛВИ

Table 6. Frequencies of detection of prognostic ranges of indicators in LVI

MP-признаки и показатели MR signs and indicators	Прогноз ЛВИ (*p < 0,01) LVI Forecast (*p < 0.01)					
	отрица- тельный Negative	%		%	положи- тельный Positive	χ^2
wavelet-LLH_firstorder_90Percentile_ADC	<8.966	44	<	80	≥8.966	18.0*
log-sigma-2-mm-3D_glcM_MCC_DCE	≥0.764	23	<	56	<0.764	17.7*
wavelet-HLH_glcM_Correlation_DCE	≥0.148	73	<	98	<0.148	12.9
DWI признак ободка / DWI rim sign	<0.5	17	<	53	≥0.5	23.7*
log-sigma-2-mm-3D_glcM_Cluster Shade_T1	<-4682.9	80	<	100	≥-4682.9	11.0*

вероятность ЛВИ по критерию Шепли, что соответствует выявленным прогностическим диапазонам при дискретизации (при сравнении рис. 2, табл. 6 и номограммы на рис. 4а).

Вторая модель включала признак перитуморального отека и радиомическую сигнатуру_2 (PC_2) из 6 р-МР-показателей. Дискретизацией методом Entropy-MDL установлены пороговые значения прогноза ЛВИ и ее отсутствия второй моделью (PC_2 + ПО) (табл. 7). Указанные диапазоны р-МР-показателей и наличие перитуморального отека позволяют эффективно прогнозировать ЛВИ и ее отсутствие у пациентов с ЗНМЖ

(AUC – 0,879, чувствительность – 82,5%, специфичность – 80,9%, классификационная правильность – 82,5%, правильность прогноза ЛВИ – 80,0% и ее отсутствия – 83,3%, см. табл. 2).

В группе с ЛВИ высокие уровни (рис. 3, красный цвет справа) чаще выявляются у показателей (см. табл. 7) wavelet-LLH_firstorder_RobustMean AbsoluteDeviation_ADC (≥3,339, 82% vs 49%, p = 0,000), wavelet-LHL_firstorder_90Percentile_DWI (≥72,48, 64% vs 30%, p = 0,000), wavelet-HLL_glcM_ClusterShade_T1 (≥-22388,1, 100% vs 81%, p = 0,003), перитуморального отека (64% vs 23%, p = 0,000) и низкие уровни (синий цвет справа)

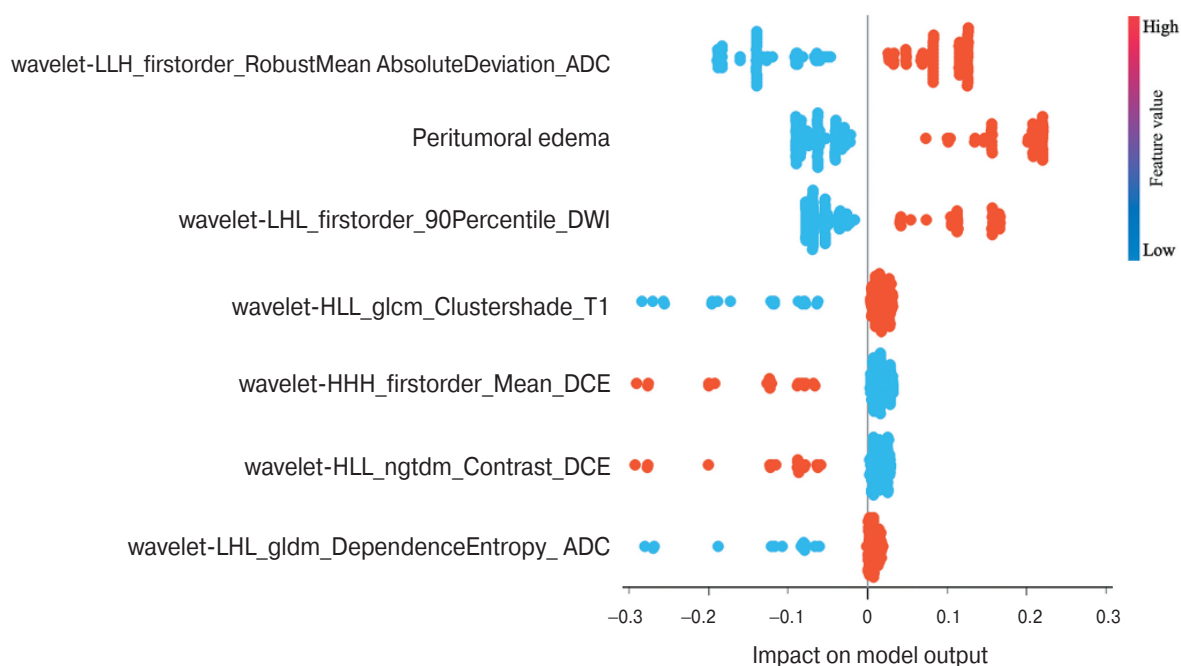


Рис. 3. Влияние р-MPT-показателей и перитуморального отека на вероятность выявления ЛВИ по критерию Шепли (SHAP). В правой части увеличение уровней всех показателей (красный цвет – увеличение уровня значений) приводит к возрастанию вероятности ЛВИ (горизонтальная ось графика).

Fig. 3. Effect of r-MR indices and peritumoral edema on the probability of detecting LVI according to the Shapley's criterion (SHAP). In the right part, an increase (red color – increase in the level of values) and decrease (blue color – decrease in the level of values) in the levels of indicators leads to an increase in the probability of LVI (horizontal axis of the graph).

Таблица 7. Частота выявления прогностических диапазонов показателей при ЛВИ

Table 7. Frequencies of detection of prognostic ranges of indicators in LVI

MP-признаки и показатели MR signs and indicators	Прогноз ЛВИ LVI Forecast (*p < 0,01) (*p < 0.01)					
	отрица- тельный Negative	%		%	положи- тельный Positive	χ^2
wavelet-LLH_firstorder_RobustMean AbsoluteDeviation_ADC	<3.339	49	<	82	≥3.339	15.8*
Перитуморальный отек / Peritumoral edema	<0.5 (0)	23	<	64	≥0.5 (1)	24.5*
wavelet-LHL_firstorder_90Percentile_DWI	<72.48	30	<	64	≥72.48	17.2*
wavelet-HHH_firstorder_Mean_DCE	≥0.091	80	<	100	<0.091	11.0*
wavelet-HLL_ngtdm_Contrast_DCE	≥1.492	81	<	100	<1.492	10.1*
wavelet-HLL_glcml_ClusterShade_T1	<-22388.1	81	<	100	≥-22388.1	10.1*
wavelet-LHL_gldm_DependenceEntropy_ADC	<6.774	82	<	100	≥6.774	9.3*

чаще у показателей wavelet-HLL_ngtdm_Contrast_DCE (<1,492, 100% vs 81%, $p = 0,003$), wavelet-HHH_firstorder_Mean_DCE (<0,091, 100% vs 80%, $p = 0,002$). При увеличении уровней показателей (красный цвет справа) и уменьшении уровней показателей (синий цвет справа) возрастает вероятность ЛВИ по критерию Шепли, что соответст-

вует выявленным прогностическим диапазонам при дискретизации (при сравнении рис. 3, табл. 7 и номограммы на рис. 5а).

Третья итоговая модель включала признак DWI ободка, перитуморального отека и радиомическую сигнатуру_3 (PC_3) из 8 р-MP-показателей первых двух моделей, за исключением

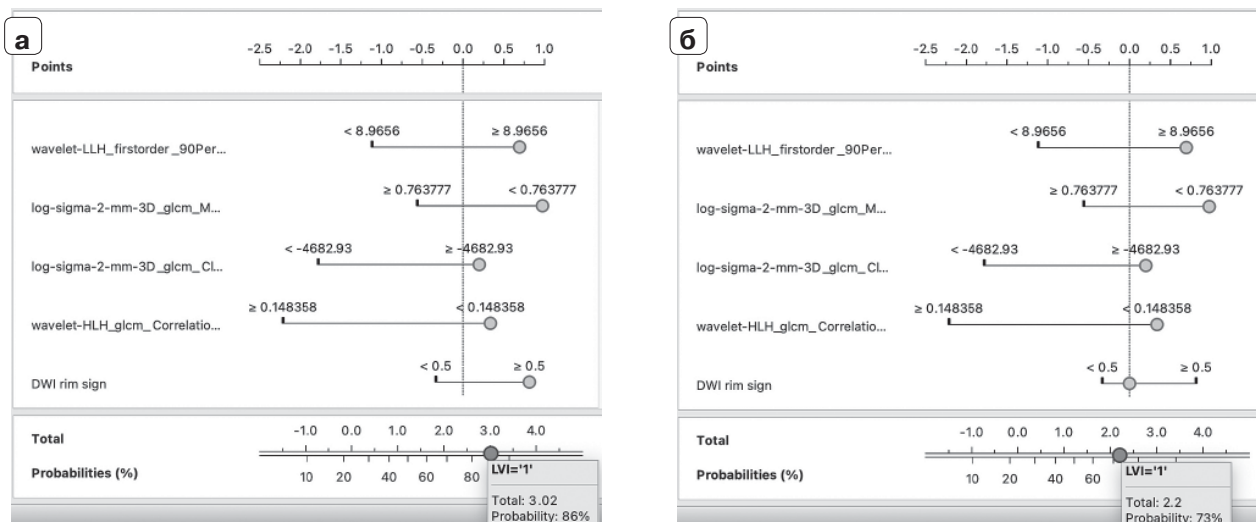
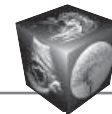


Рис. 4. Объяснение прогноза первой гибридной моделью. Номограмма – по значениям всех р-MР-показателей и наличию признака DWI ободка прогнозируется ЛВИ гибридной моделью с шансами (total) 3,02 и вероятностью (probability) 86% (**а**). При удалении из гибридной модели признака DWI ободка опухоли уменьшаются шансы (total) 2,2, вероятность (probability) 73% прогнозирования ЛВИ только радиомической моделью по значениям р-MР показателей (**б**).

Fig. 4. Explanation of the prediction. Nomogram – the values of all r-MR parameters and the presence of DWI rim feature predicted LVI by the hybrid model with odds (total) 3.02 and probability 86% (**a**). When the DWI feature of the tumor rim is removed from the hybrid model, the odds (total) of 2.2 and probability of 73% of predicting LVI by the radiomic model based on r-MR values alone decreases (**b**).

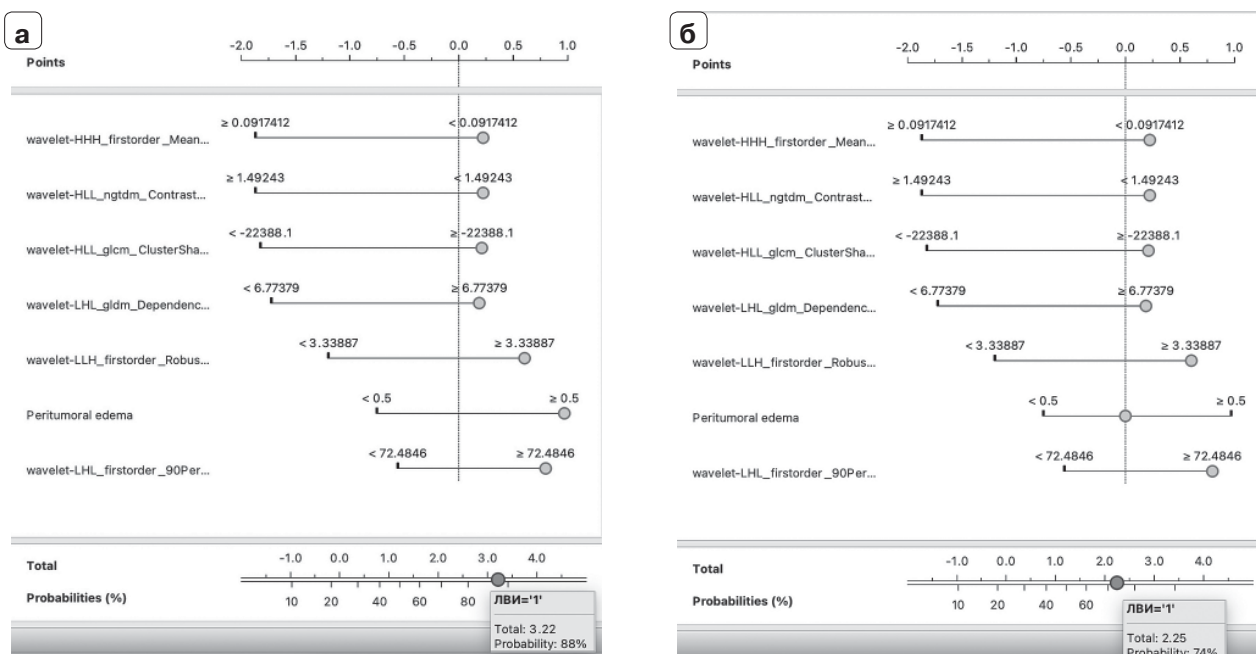


Рис. 5. Объяснение прогноза второй гибридной моделью. Номограмма – по значениям всех р-MР-показателей и наличию перитуморального отека прогнозируется ЛВИ гибридной моделью с шансами (total) 3,22 и вероятностью (probability) 88% (**а**). При удалении из гибридной модели признака перитуморального отека уменьшаются шансы (total) 2,52, вероятность (probability) 74% прогнозирования ЛВИ только радиомической моделью по значениям р-MР-показателей (**б**).

Fig. 5. Explanation of prognosis. Nomogram – all r-MR values and the presence of peritumoral edema predicted LVI by the hybrid model with odds (total) 3.22 and probability 88% (**a**). When the peritumoral edema feature is removed from the hybrid model, the odds (total) of 2.52 and probability of 74% of predicting LVI by radiomic model based on r-MR values alone decreases (**b**).



показателей wavelet-LLH_firstorder_RobustMeanAbsoluteDeviation_ADC и wavelet-LHL_firstorder_90Percentile_DWI. Итоговая гибридная модель позволяет более эффективно прогнозировать ЛВИ и ее отсутствие у пациентов с ЗНМЖ (AUC – 0,957, чувствительность – 96,5%, специфичность – 90,2%, классификационная правильность – 96,5%, правильность прогноза ЛВИ – 86,7% и ее отсутствия – 100%, см. табл. 6).

В группе с ЛВИ высокие уровни (рис. 6а, красный цвет справа) чаще выявляются у показателей (см. табл. 6, 7) wavelet-LLH_firstorder_90Percentile_ADC ($\geq 8,966$, 80% vs 44%, $p < 0,001$), log-sigma-2-

mm-3D_glcм_ClusterShade_T1 ($\geq -4682,9$, 100% vs 80%, $p < 0,001$), DWI признака ободка (выявлен, 53% vs 17%, $p < 0,001$) wavelet-HLL_glcм_ClusterShade_T1 ($\geq -22388,1$, 100% vs 81%, $p = 0,003$), перитуморального отека (64% vs 23%, $p = 0,000$) и низкие уровни (синий цвет справа) чаще у показателей log-sigma-2-mm-3D_glcм_MCC_DCE ($< 0,764$, 56% vs 23%, $p < 0,001$), wavelet-HLH_glcм_Correlation_DCE ($< 0,148$, 98% vs 73%, $p < 0,001$), wavelet-HLL_ngtdm_Contrast_DCE ($< 1,492$, 100% vs 81%, $p = 0,003$), wavelet-HHH_firstorder_Mean_DCE ($< 0,091$, 100% vs 80%, $p = 0,002$). При увеличении уровней показателей

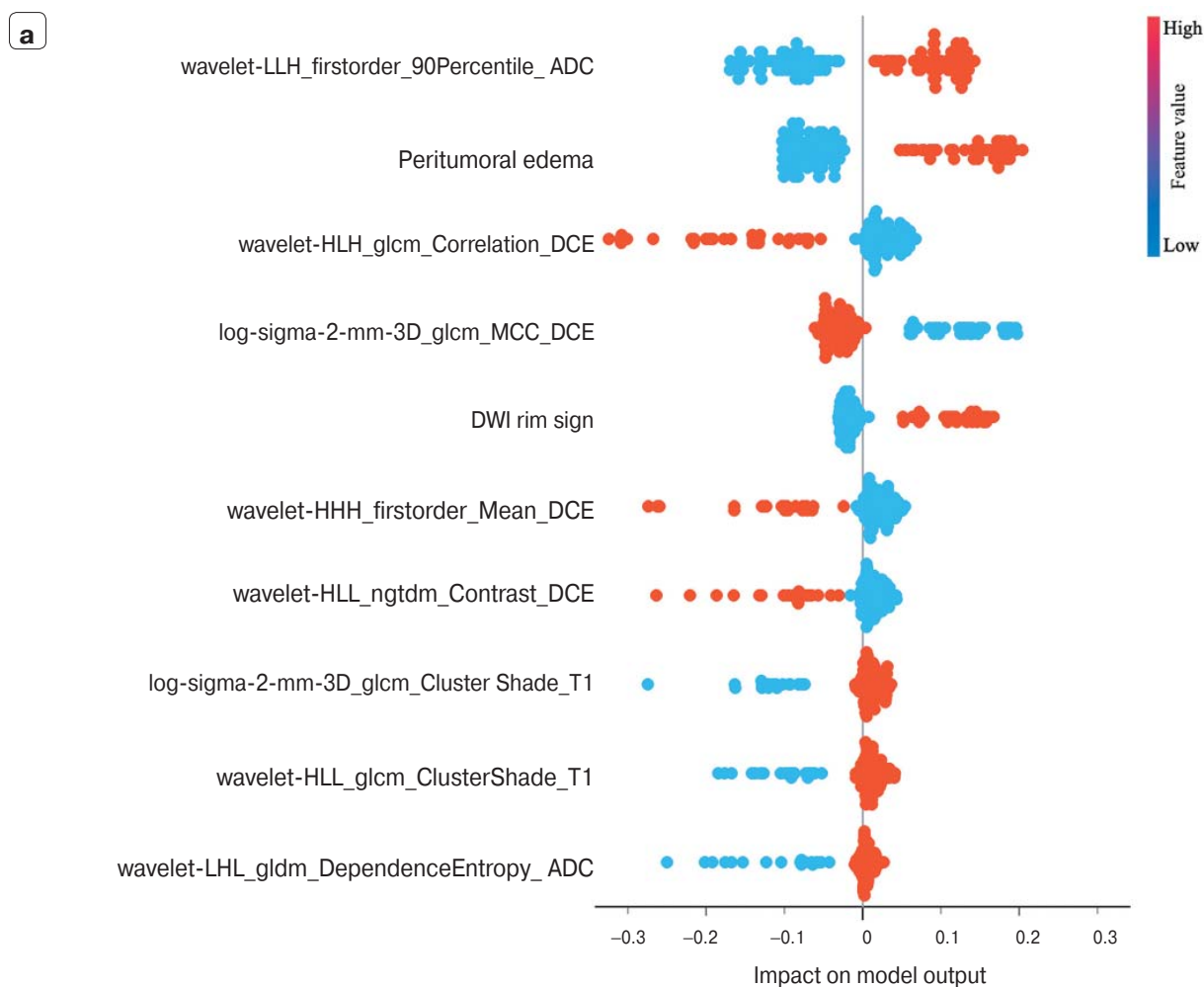


Рис. 6. Объяснение прогноза третьей гибридной моделью. Влияние р-MPT-показателей и перитуморального отека, DWI ободка опухоли на вероятность выявления ЛВИ по критерию Шепли (SHAP). В правой части увеличение уровней всех показателей (красный цвет – увеличение уровня значений) приводит к возрастанию вероятности ЛВИ (горизонтальная ось графика) (а).

Fig. 6. Explanation of prognosis. Effect of r-MRI indices and peritumoral edema, DWI rim sing on the probability of detecting LVI according to the Shapley criterion (SHAP). In the right part, an increase in the levels of all indicators (red color – increase in the level of values) leads to an increase in the probability of LVI (horizontal axis of the graph) (a).

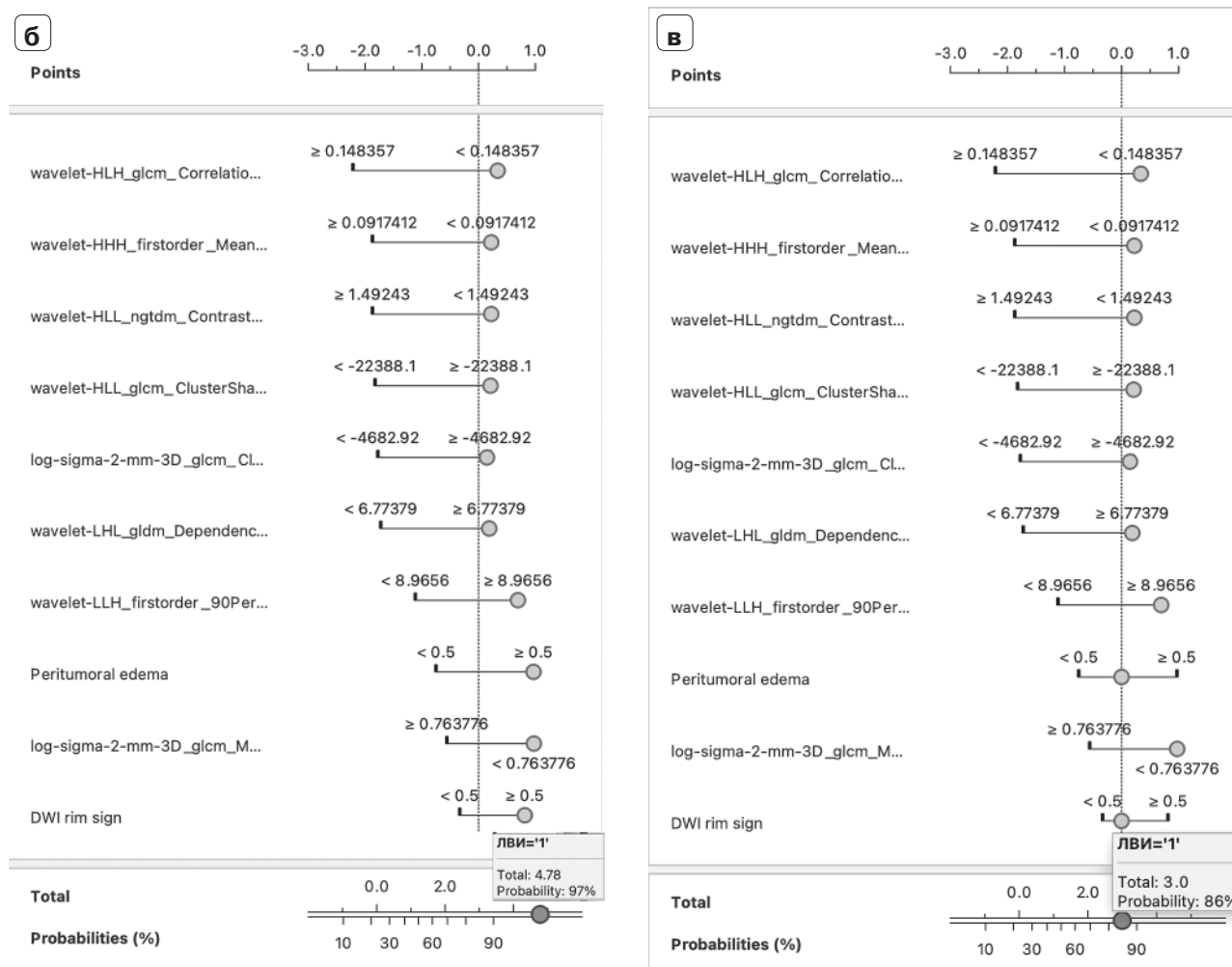
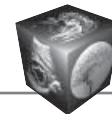


Рис. 6 (окончание). Номограмма – по значениям всех р-MP-показателей и наличию перитуморального отека, DWI ободка опухоли прогнозируется ЛВИ гибридной моделью с шансами (total) 4,78 и вероятностью (probability) 97% (**6**). При удалении из гибридной модели признака перитуморального отека, DWI ободка опухоли уменьшаются шансы (total) 3,0, вероятность (probability) 86% прогнозирования ЛВИ только радиомической моделью по значениям р-MP-показателей (**в**).

Fig. 6 (end). Nomogram – the values of all r-MR indicators and the presence of peritumoral edema, DWI rim sing predicted LVI by the hybrid model with odds (total) 4.78 and probability 97% (**6**). When the peritumoral edema feature, DWI of the tumor rim is removed from the hybrid model, the odds (total) 3.0, probability 86% of predicting LVI only by the radiomic model based on the values of r-MR parameters decreases (**в**).

(красный цвет справа) и уменьшении уровней показателей (синий цвет справа) возрастает вероятность ЛВИ по критерию Шепли, что соответствует выявленным прогностическим диапазонам при дискретизации (при сравнении рис. 5, табл. 6, 7 и номограммы на рис. 6б).

Таким образом получены 3 эффективные гибридные модели наивного Байеса для прогноза ЛВИ и ее отсутствия, включающие MP-признаки ЗНМЖ. Для выявления вклада MP-признаков в эффективность прогноза уберем их из моделей и рассчитаем дискриминационную способность только радиомических сигнатур.

После удаления признака DWI ободка из первой модели (PC_1 + DWI ободка) ухудшается ее (PC_1) дискриминационная способность (–9,6%, AUC-ROC, $p = 0,001$; –9,8%, AC; –39,1%, Sens; –45,4%, AC+). Аналогичные, но менее выраженные изменения наблюдаются после удаления признака перитуморального отека (PC_1) из второй модели (PC_2 + ПО) (–4,1%, AUC-ROC, $p = 0,190$; –15,9%, Spec; –25%, AC+) (см. табл. 2). После удаления двух м-MP-признаков из третьей модели (PC_3+ПО+ DWI ободка) ухудшается ее (PC_3) дискриминационная способность (–5,9%, AUC-ROC, $p = 0,024$; –10,9%, AC; –10,9%, Sens; –9,0%,



Спец; -7,7%, AC+; -11,9%, AC-). Удаление только одного м-MP-признака из третьей гибридной модели не приводит к статистически значимому уменьшению ROC-AUC (признака DWI ободка, -2,8%, $p = 0,083$; перитуморального отека, -0,6%, $p = 0,743$) (см. табл. 2).

Таким образом, гибридные модели эффективнее прогнозируют ЛВИ и ее отсутствие за счет включения в их состав м-MP-признаков DWI ободка опухоли и перитуморального отека.

Обсуждение

Для прогноза ЛВИ современные исследователи используют р-MP-показатели, извлеченные из всей опухоли [27–31]. В дополнение в прогностические модели включаются морфологические MP-признаки, повышающие шансы выявления ЛВИ при ЗНМЖ. Это такие м-MP-признаки, как перитуморальный отек [30, 32], признак ободка опухоли на DWI [29], подмышечная лимфаденопатия на MP-томограмме [32].

Для этого имеются основания. Ранее было показано, что перитуморальный отек ассоциируется с агрессивными характеристиками опухоли, такими как большой размер опухоли, ЛВИ, высокий уровень Ki-67, опухоль-инфильтрирующие лимфоциты, что может свидетельствовать о плохом прогнозе [14, 40–42].

Выявлено наличие устойчивой связи между признаком DWI ободка и ЛВИ [30, 43]. Кроме того, признак DWI ободка является индикатором злокачественности ЗНМЖ и связан с гистологическими особенностями опухоли, такими как ее класс, размер и подтип [44, 45].

Основной задачей нашего исследования явилось выявление роли м-MP-признаков в прогнозировании ЛВИ. На первом этапе исследования по данным кросс-табуляции, многофакторной логистической регрессии, дискретизации методом Entropy-MDL определены 2 предиктора ЛВИ из 15 кандидатов.

Первый – наиболее значимый, признак перитуморального отека. Он выявлялся у 64,4% пациентов с ЛВИ (vs 22,6% без ЛВИ, $p < 0,001$) и повышал риск выявления ЛВИ в 5,66 раза (OR 5,66, 95% ДИ 2,27–14,94, $p < 0,001$).

Второй – признак ободка опухоли на DWI. Несмотря на то что признак ободка опухоли выявлялся только у 53,3% пациентов с ЛВИ (vs 17,1% без ЛВИ, $p < 0,001$), он повышал риск выявления ЛВИ в 4,05 раза (OR 4,05, 95% ДИ 1,63–10,47, $p = 0,003$).

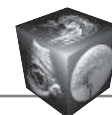
На втором этапе исследования попытка прогнозировать ЛВИ на основании перитуморального отека или признака ободка опухоли на DWI не при-

вела к успеху из-за инверсной специфичности (26,3%) и невозможности прогнозировать ЛВИ (0%). При включении в модель сразу двух MP-признаков, несмотря на очень хорошую способность распознавать наличие или отсутствие ЛВИ (AUC-ROC = 0,860), специфичность оставалась низкой (54,5%), а правильность прогноза ЛВИ составила лишь 40%.

Поэтому на следующем этапе каждый м-MP-признак включили в одну из гибридных моделей, для которых определены р-MP-показатели дискретизацией методом Entropy-MDL. Первая модель включала признак DWI ободка опухоли и радиомическую сигнатуру из 4 р-MP-показателей, вторая модель – признак перитуморального отека и радиомическую сигнатуру из 6 р-MP-показателей, третья итоговая модель – включала 2 м-MP-признака и радиомическую сигнатуру из 8 р-MP-показателей первой и второй моделей.

Далее оценивали эффективность прогноза ЛВИ 10 алгоритмами машинного обучения. Шесть алгоритмов (AB, GB, NB, SGD, NN, RF) одинаково высокоэффективно прогнозируют ЛВИ первой гибридной моделью, 2 алгоритма (NB, NN) – второй гибридной моделью, один алгоритм наивного Байеса – третьей гибридной моделью. Лишь один алгоритм наивного Байеса обладает высокими дискриминационными способностями в отношении одновременно трех моделей.

Для объяснения прогноза целесообразно использовать алгоритм наивного Байеса, поскольку его отличием является ясность и прозрачность использования прогностических диапазонов MP-показателей и признаков. Так, при сочетании диапазонов положительного прогноза нескольких MP-показателей вероятность ЛВИ возрастает, а при сочетании диапазонов отрицательного прогноза вероятность ЛВИ уменьшается. Это наглядно демонстрируется при использовании критериев χ^2 и Шепли при анализе прогностических диапазонов ЛВИ. Частота выявления диапазонов положительного прогноза наличия ЛВИ преобладала у пациентов с выявленной ЛВИ и соответственно частота выявления диапазонов отрицательного прогноза отсутствия ЛВИ преобладала у пациентов без ЛВИ ($p < 0,05$). Факт преобладания частоты выявления положительного диапазона р-MP-показателей в группе с ЛВИ (по критерию χ^2) соответствует данным, полученным по критерию Шепли, при положительных диапазонах прогноза ЛВИ увеличивалась вероятность выявления ЛВИ. И наоборот, преобладание частоты выявления отрицательного диапазона р-MP-показателей в группе без ЛВИ (по критерию χ^2) соответствует данным, полученным по критерию Шепли, при отри-



цательных диапазонах прогноза ЛВИ уменьшается вероятность выявления ЛВИ.

В итоге алгоритм, используя отобранные методом Entropy-MDL порядковые, не связанные между собой показатели, формирует прогностическую номограмму наивного Байеса, используя которую индивидуально, для каждого пациента определяются вероятность и шанс выявления ЛВИ или ее отсутствия.

В результате получены 3 гибридные модели с высокими дискриминационными способностями: первая модель с признаком DWI ободка и радиомической сигнатурой из 4 р-МР-показателей (AUC – 0,886, чувствительность – 89,5%, специфичность – 79,1%, классификационная правильность – 89,5%, правильность прогноза ЛВИ – 73,3% и ее отсутствия – 95,2%), вторая модель с перитуморальным отеком и радиомической сигнатурой из 6 р-МР-показателей (AUC – 0,879, чувствительность – 82,5%, специфичность – 80,9%, классификационная правильность – 82,5%, правильность прогноза ЛВИ – 80,0% и ее отсутствия – 83,3%) и третья модель с перитуморальным отеком, признаком DWI ободка и радиомической сигнатурой из 8 р-МР-показателей (AUC – 0,957, чувствительность – 96,5%, специфичность – 90,2%, классификационная правильность – 96,5%, правильность прогноза ЛВИ – 86,7% и ее отсутствия – 100%).

Для выяснения роли м-МР-признаков в эффективности прогноза мы убрали их из моделей и посмотрели, как меняется дискриминационная спо-

собность только радиомических сигнатур. После удаления признака DWI ободка из первой модели ухудшается ее дискриминационная способность (–9,6%, AUC-ROC $0,801 \pm 0,074$ vs $0,886 \pm 0,059$, $p = 0,001$) и правильность прогноза ЛВИ (–25%, AC+ 40% vs 73%, $p = 0,066$). Аналогичные, но менее выраженные, не статистически значимые изменения наблюдаются после удаления признака перитуморального отека из второй модели (–4,1%, AUC-ROC $0,843 \pm 0,067$ vs $0,879 \pm 0,060$, $p = 0,190$; –25%, AC+ 60% vs 80%, $p = 0,232$). После удаления двух м-МР-признаков из третьей модели ухудшается ее дискриминационная способность (–5,9%, AUC-ROC $0,957 \pm 0,038$ vs $0,901 \pm 0,055$, $p = 0,024$; –7,7%, AC+ 80% vs 86,7%, $p = 0,624$).

Поэтому можно сделать вывод о целесообразности включения м-МР-признаков ЗНМЖ в предложенные гибридные модели, прогнозирующие ЛВИ.

Поскольку в нашем анализе использовались данные, полученные Y. Jiang и соавт. [30] и D. Jiang и соавт. [32], следует сравнить полученные нами результаты (третья итоговая модель) с основными исследованиями (табл. 8). Так, эффективность радиомической сигнатуры VOI^{entire} превосходит по показателям ROC-AUC, чувствительности, специфичности и классификационной правильности радиомические сигнатуры KNN, GBM VOI^{entire} , а гибридная модель NB VOI^{entire} по большинству показателей прогноза – гибридные модели LM $VOI^{+2\text{ мм}}$ и GBM VOI^{entire} [30, 32]. Следует отметить более

Таблица 8. Сравнение эффективности радиомических и гибридных моделей ЛВИ ЗНМЖ, полученных в различных исследованиях

Table 8. Comparison of efficacy of radiomic and hybrid breast cancer LVI models from different studies

Модели (алгоритм) Models (algorithm)	AUC	Sens	Spec	AC	Авторы Authors
Радиомическая KNN VOI^{entire} Radiomic KNN VOI^{entire}	0.688	0.786	0.605	0.649	[32]
Радиомическая GBM VOI^{entire} Radiomic KNN VOI^{entire}	0.820	0.900	0.680	–	[30]
Радиомическая NB VOI^{entire} Radiomic NB VOI^{entire}	0.901	0.860	0.821	0.860	*
Гибридная LM (2 м-МР + радиомическая $VOI^{+2\text{ мм}}$) Hybrid LM (2 m-MR + Radiomic $VOI^{+2\text{ мм}}$)	0.864	0.864	0.929	0.719	[32]
Гибридная GBM (2 м-МР + радиомическая VOI^{entire}) Hybrid GBM (2 m-MR + Radiomic VOI^{entire})	0.876	0.900	0.720	–	[30]
Гибридная NB (2 м-МР + радиомическая VOI^{entire}) Hybrid NB (2 m-MR + Radiomic VOI^{entire})	0.957	0.965	0.902	0.965	*

Примечание. * – наши данные (третья модель).

Note. * – our data (Model 3).



высокую эффективность гибридной модели, включающей интратуморальную радиомическую сигнатуру VOI^{entire} , по сравнению с гибридной моделью с перитуморальной радиомической сигнатурой VOI^{+2} мм [32]. Эти факты свидетельствуют о недооцененной роли интратуморальных p-MP-показателей в прогнозе ЛВИ и необходимости их включения в гибридные модели. Отличием нашего исследования явился отбор признаков методом Entropy-MDL, а не методом Lasso логит-регрессии. Это привело к повышению эффективности моделей прогноза. Включение перитуморального отека и признака ободка опухоли на DWI позволило китайским исследователям улучшить производительность модели, что, по нашим данным, тоже целесообразно и статистически обоснованно.

Ограничения. Исследование носит ретроспективный характер с присущей ему предвзятостью отбора. ЛВИ выявлена лишь у 23,6% пациентов, поэтому желательно расширение размера выборки. В работе не решалась проблема сегментации, так как использовался готовый набор данных с радиомическими показателями. Исследование фокусировалось исключительно на анализе интратуморальных p-MP-показателей и не учитывало перитуморальные, которые имеют значение для прогнозирования ЛВИ. Для повышения полноты будущих исследований необходимо включить в них перитуморальные радиомические показатели. В дальнейшем необходима проверка прогностической способности моделей на независимой выборке пациентов.

Заключение

Для достижения оптимальных результатов в прогнозировании лимфоваскулярной инвазии представляется целесообразным включение морфологических MP-признаков злокачественного новообразования молочной железы DWI ободка опухоли и перитуморального отека в гибридные морфордиомические модели наивного Байеса. Такой подход способствует значительному повышению эффективности прогнозирования лимфоваскулярной инвазии. В частности, применение DWI ободка опухоли и перитуморального отека в сочетании с интратуморальными радиомическими MP-показателями позволяет эффективно и надежно прогнозировать лимфоваскулярную инвазию у пациентов с инвазивным злокачественным новообразованием молочной железы.

Финансирование. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР "Научное обоснование методов лучевой диагностики опухолевых заболеваний с использованием радиомического анализа"

(№ ЕГИСУ: № 123031500005-2) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 № 1196 "Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов" Департамента здравоохранения города Москвы

Funding. This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled "Scientific evidence for using radiomics-guided medical imaging to diagnose cancer", No. 123031400009-1", (USIS No. 123031500005-2) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 "On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025" issued by the Moscow Health Care Department.

Участие авторов

Васильев Ю.А. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Скоробогач И.М. – концепция и дизайн исследования, обработка данных, написание текста, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Нуднов Н.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование текста, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Блохин И.А. – написание текста статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Решетников Р.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Коденко М.Р. – редактирование текста, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Омелянская О.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

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

Authors' participation

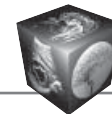
Vasiliev Y.A. – conception and design of the study, approval of the final version of the article.

Skorobogach I.M. – conception and design of the study, data processing, text writing, statistical processing of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Nudnov N.V. – conception and design of the study, text editing, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

Blokhin I.A. – writing the text of the article, approval of the final version of the article.

Reshetnikov R.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.



Kodenko M.R. – text editing, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

Omelyanskaya O.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

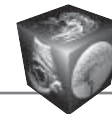
Vladimirsky A.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Држевецкая К.С., Корженкова Г.П. Результаты двух лет маммографического скрининга на территории Калужской области. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2022; 103 (4–6): 18–27. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-18-27>
Drzhevetskaya K.S., Korzhenkova G.P. Results of two years of mammographic screening in the Kaluga region. *Bulletin of Radiology and Radiology*. 2022; 103 (4–6): 18–27. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-18-27> (In Russian)
2. Меских Е.В., Нуднов Н.В., Мухутдинова Г.З., Воробьева В.О. Редкая форма рака молочной железы и очаги в легком: всегда ли ждать метастазов? *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2022; 103 (4–6): 88–93. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-88-93>
Meskikh E.V., Nudnov N.V., Mukhutdinova G.Z., Vorobyeva V.O. Rare form of breast cancer and foci in the lung: should we always wait for metastases? *Bulletin of Radiology and Radiology*. 2022; 103 (4–6): 88–93. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-88-93> (In Russian)
3. Тюрин И.Е., Рожкова Н.И., Артамонова Е.В., Бусько Е.А., Диденко В.В., Зикиряходжаев А.Д., Карпова М.С., Кветенадзе Г.Е., Криворотько П.В., Мазо М.Л., Петровский А.В., Пучкова О.С., Серебрякова С.В., Бакулева А.П. Роль контрастных методов исследования в ранней диагностике и планировании лечения рака молочной. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105 (2): 48–57. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-2-48-57>
Tyurin I.E., Rozhkova N.I., Artamonova E.V. et al. The role of contrast methods of research in early diagnosis and treatment planning of breast cancer. *Bulletin of Radiology and Radiology*. 2024; 105 (2): 48–57. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-2-48-57> (In Russian)
4. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J. Clin.* 2021; 71 (3): 209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
5. Rakha E.A., Martin S., Lee A.H. et al. The prognostic significance of lymphovascular invasion in invasive breast carcinoma. *Cancer*. 2012; 118 (15): 3670–3680. <https://doi.org/10.1002/cncr.26711>
6. Rakha E.A., Abbas A., Pinto Ahumada P. et al. Diagnostic concordance of reporting lymphovascular invasion in breast cancer. *J. Clin. Pathol.* 2018; 71 (9): 802–805. <https://doi.org/10.1136/jclinpath-2017-204981>
7. Gujam F.J., Going J.J., Edwards J. et al. The role of lymphatic and blood vessel invasion in predicting survival and methods of detection in patients with primary operable breast cancer. *Crit. Rev. Oncol. Hematol.* 2014; 89 (2): 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2013.08.014>
8. Zhang S., Zhang D., Yi S. et al. The relationship of lymphatic vessel density, lymphovascular invasion, and lymph node metastasis in breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Oncotarget*. 2017; 8 (2): 2863–2873. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.13752>
9. Zhong Y.M., Tong F., Shen J. Lympho-vascular invasion impacts the prognosis in breast-conserving surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer*. 2022; 22 (1): 102. <https://doi.org/10.1186/s12885-022-09193-0>
10. Pinder S.E., Ellis I.O., Galea M. et al. Pathological prognostic factors in breast cancer. III. Vascular invasion: Relationship with recurrence and survival in a large study with long-term follow-up. *Histopathology*. 1994; 24: 41–47. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2559.1994.tb01269.x>
11. Ejlersen B., Jensen M.B., Rank F. et al. Population-based study of peritumoral lymphovascular invasion and outcome among patients with operable breast cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 2009; 101: 729–735. <https://doi.org/10.1093/jnci/djp090>
12. Gajdos C., Tartter P.I., Bleiweiss I.J. Lymphatic invasion, tumor size, and age are independent predictors of axillary lymph node metastases in women with T1 breast cancers. *Ann. Surg.* 1999; 230: 692–696. <https://doi.org/10.1097/0000658-19991000-00012>
13. Viale G., Zurrida S., Maiorano E. et al. Predicting the status of axillary sentinel lymph nodes in 4351 patients with invasive breast carcinoma treated in a single institution. *Cancer*. 2005; 103: 492–500. <https://doi.org/10.1002/cncr.20809>
14. Uematsu T., Kasami M., Watanabe J. et al. Is lymphovascular invasion degree one of the important factors to predict neoadjuvant chemotherapy efficacy in breast cancer? *Breast Cancer*. 2011; 18 (4): 309–313. <https://doi.org/10.1007/s12282-010-0211-z>
15. Burstein H.J., Curigliano G., Thürlimann B. et al. Panelists of the St Gallen Consensus Conference Customizing local and systemic therapies for women with early breast cancer: The St. Gallen International Consensus Guidelines for treatment of early breast cancer 2021. *Ann. Oncol.* 2021; 32: 1216–1235. <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2021.06.023>
16. Willems S.M., van Deurzen C.H., van Diest P.J. Diagnosis of breast lesions: fine-needle aspiration cytology or core needle biopsy? A review. *J. Clin. Pathol.* 2012; 65 (4): 287–292. <https://doi.org/10.1136/jclinpath-2011-200410>
17. Bulte J.P., Simsek D., Bult P. et al. Trends in pre-operative needle biopsy use in invasive breast cancer diagnosis: a Dutch nationwide population study. *Acta Oncol.* 2020; 59 (12): 1469–1473. <https://doi.org/10.1080/0284186X.2020.1830168>
18. Tripathi K., Yadav R., Maurya S.K. A Comparative Study Between Fine-Needle Aspiration Cytology and Core Needle Biopsy in Diagnosing Clinically Palpable Breast Lumps. *Cureus*. 2022; 14 (8): e27709. <https://doi.org/10.7759/cureus.27709>
19. Casaubon J.T., Tomlinson-Hansen S.E., Regan J.P. Fine Needle Aspiration of Breast Masses. 2023 Jul 23. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan–.
20. Гележе П.Б., Блохин И.А., Семенов С.С., Caruso D. Радиомика магнитно-резонансной томографии при



- раке предстательной железы: что известно в настоящее время? *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (4): 441–452. <https://doi.org/10.17816/DD70170>
- Gelezhe P.B., Blokhin I.A., Semenov S.S., Caruso D. Magnetic resonance imaging radiomics in prostate cancer: what is currently known? *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (4): 441–452. <https://doi.org/10.17816/DD70170> (In Russian)
21. Гележе П.Б., Блохин И.А., Семенов С.С. Радиомика для диагностики и лечения рака предстательной железы. *Медицинская физика*. 2022; 1 (93): 21. Gelezhe P.B., Blokhin I.A., Semyonov S.S. Radiomics for diagnostics and treatment of prostate cancer. *Medical Physics*. 2022; 1 (93): 21. (In Russian)
 22. Говорукина В.Г., Семенов С.С., Гележе П.Б., Диденко В.В., Морозов С.П., Андрейченко А.Е. Роль маммографии в радиомике рака молочной железы. *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (2): 185–199. <https://doi.org/10.17816/DD70479> Govorukhina V.G., Semyonov S.S., Gelezhe P.B. et al. Role of mammography in breast cancer radiomics. *Digital Diagnostics*. 2021; 2 (2): 185–199. <https://doi.org/10.17816/DD70479> (In Russian)
 23. Солодкий В.А., Нуднов Н.В., Иванников М.Е., Шахвалиева Э.С.-А., Сотников В.М., Смыслов А.Ю. Дозиомика в анализе медицинских изображений и перспективы ее использования в клинической практике. *Digital Diagnostics*. 2023; 4 (3): 340–355. <https://doi.org/10.17816/DD420053> Solodkiy V.A., Nudnov N.V., Ivannikov M.E. et al. Dosiomics in medical image analysis and prospects of its use in clinical practice. *Digital Diagnostics*. 2023; 4 (3): 340–355. <https://doi.org/10.17816/DD420053> (In Russian)
 24. Сыркашев Е.М., Буров А.А., Подуровская Ю.Л., Кадырбердиева Ф.З., Икрянников Е.О., Семенов Д.С., Шарова Д.Е., Васильев Ю.А., Гус А.И. Радиомика фетальной магнитно-резонансной томографии при врожденной диафрагмальной грыже. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 157–167. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1359> Syrkashev E.M., Burov A.A., Podurovskaya Y.L. et al. Radiomics of fetal magnetic resonance imaging in congenital diaphragmatic hernia. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 157–167. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1359> (In Russian)
 25. Ye D.M., Wang H.T., Yu T. The Application of Radiomics in Breast MRI: A Review. *Technol Cancer Res Treat*. 2020; 19: 1533033820916191. <https://doi.org/10.1177/1533033820916191>
 26. Liu Z., Feng B., Li C. et al. Preoperative prediction of lymphovascular invasion in invasive breast cancer with dynamic contrast-enhanced-MRI-based radiomics. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2019; 50 (3): 847–857. <https://doi.org/10.1002/jmri.26688>
 27. Wu Z., Lin Q., Song H. et al. Evaluation of Lymphatic Vessel Invasion Determined by D2-40 Using Preoperative MRI-Based Radiomics for Invasive Breast Cancer. *Acad. Radiol*. 2023; 30 (11): 2458–2468. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2022.11.024>
 28. Zhang J., Wang G., Ren J. et al. Multiparametric MRI-based radiomics nomogram for preoperative prediction of lymphovascular invasion and clinical outcomes in patients with breast invasive ductal carcinoma. *Eur. Radiol*. 2022; 32 (6): 4079–4089. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08504-6>
 29. Feng B., Liu Z., Liu Y. et al. Predicting lymphovascular invasion in clinically node-negative breast cancer detected by abbreviated magnetic resonance imaging: Transfer learning vs. radiomics. *Front. Oncol*. 2022; 12: 890659. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.890659>
 30. Jiang Y., Zeng Y., Zuo Z. et al. Leveraging multimodal MRI-based radiomics analysis with diverse machine learning models to evaluate lymphovascular invasion in clinically node-negative breast cancer. *Heliyon*. 2023; 10 (1): e23916. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23916>
 31. Ma Q., Li Z., Li W. et al. MRI radiomics for the preoperative evaluation of lymphovascular invasion in breast cancer: A meta-analysis *Eur. J. Radiol*. 2023; 168, art. no. 111127
 32. Jiang D., Qian Q., Yang X. et al. Machine learning based on optimal VOI of multi-sequence MR images to predict lymphovascular invasion in invasive breast cancer. *Heliyon*. 2024; 10 (7): e29267. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29267>
 33. van Griethuysen J.J., Fedorov A., Parmar C. et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype. *Cancer Res*. 2017; 77 (21): e104–e107.
 34. Орельен Ж. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем: Пер. с англ. СПб: ООО "Альфа-книга", 2018. 688 с. Aurlien J. Applied machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow: concepts, tools and techniques for creating intelligent systems: Translated from English. SPB: LLC "Alfa-book", 2018. 688 p. (In Russian)
 35. Гласснер Э. Глубокое обучение без математики. Т. 1: Основы: Пер. с англ. В.Я. Яроцкого. М.: ДМК Пресс, 2019. 584 с. Glassner E. Deep learning without math. T. 1: Fundamentals: Translated from English by V.Y. Yarotsky. Moscow: DMK Press, 2019. 584 p. (In Russian)
 36. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. СПб: Питер, 2020. 192 с. Burkov A. Machine learning without unnecessary words. SPb: Peter, 2020. 192 p. (In Russian)
 37. ГОСТ Р 53022.3–2008. Технологии лабораторные клинические. Требования к качеству клинических лабораторных исследований. Часть 3. Правила оценки клинической информативности лабораторных тестов. М.: Стандартинформ, 2008. 26 с. GOST R 53022.3–2008. Clinical laboratory technologies. Requirements for the quality of clinical laboratory tests. Part 3. Rules for assessment of clinical informativeness of laboratory tests. Moscow: Standardinform, 2008. 26 p. (In Russian)
 38. Ю.А. Васильев и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента: Монография. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательские решения, 2023. 376 с. Vasiliev Y.A. et al. Computer vision in radiation diagnostics: the first stage of the Moscow experiment: Monograph. 2nd edition, revised and supplemented. Moscow: Publishing Solutions, 2023. 376 p. (In Russian)
 39. Тыров И.А., Васильев Ю.А., Арзамасов К.М., Владимирский А.В., Шулькин И.М., Омельянская О.В., Четвериков С.Ф. Оценка зрелости технологий искусственного интеллекта для здравоохранения: методо-



- логия и ее применение на материалах московского эксперимента по компьютерному зрению в лучевой диагностике. *Врач и информационные технологии*. 2022; 4: 76–92. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_4_76
- Tyrov I.A., Vasiliev Y.A., Arzamasov K.M. et al. Assessment of maturity of artificial intelligence technologies for healthcare: methodology and its application on the materials of the Moscow experiment on computer vision in radiation diagnostics. *Physician and Information Technology*. 2022; 4: 76–92. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_4_76 (In Russian)
40. Cheon H., Kim H.J., Lee S.M. et al. Preoperative MRI features associated with lymphovascular invasion in node-negative invasive breast cancer: a propensity-matched analysis. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2017; 46 (4): 1037–1044. <https://doi.org/10.1002/jmri.25710>
 41. Harada T.L., Uematsu T., Nakashima K. et al. Evaluation of Breast Edema Findings at T2-weighted Breast MRI Is Useful for Diagnosing Occult Inflammatory Breast Cancer and Can Predict Prognosis after Neoadjuvant Chemotherapy. *Radiology*. 2021; 299 (1): 53–62. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021202604>
 42. Lee H.J., Lee J.E., Jeong W.G. et al. HER2-Positive Breast Cancer: Association of MRI and Clinicopathologic Features With Tumor-Infiltrating Lymphocytes. *Am. J. Roentgenol*. 2022; 218 (2): 258–269. <https://doi.org/10.2214/AJR.21.26400>
 43. Choi B.B. Dynamic contrast enhanced-MRI and diffusion-weighted image as predictors of lymphovascular invasion in node-negative invasive breast cancer. *Wld J. Surg. Oncol*. 2021; 19 (1): 76. <https://doi.org/10.1186/s12957-021-02189-3>
 44. Kang B.J., Lipson J.A., Planey K.R. et al. Rim sign in breast lesions on diffusion-weighted magnetic resonance imaging: diagnostic accuracy and clinical usefulness. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2015; 41 (3): 616–623. <https://doi.org/10.1002/jmri.24617>
 45. Choi Y., Kim S.H., Youn I.K. et al. Rim sign and histogram analysis of apparent diffusion coefficient values on diffusion-weighted MRI in triple-negative breast cancer: comparison with ER-positive subtype. *Plos One*. 2017; 12: e0177903. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177903>

Для корреспонденции*: Скоробогач Иван Михайлович – e-mail: skorobogachim@zdrav.mos.ru

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, директор ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Скоробогач Иван Михайлович – заведующий 1 отделением 1 отдела Референс-центра ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5428-6687>

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

Блохин Иван Андреевич – канд. мед. наук, начальник сектора исследований в лучевой диагностике ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-2681-9378>

Решетников Роман Владимирович – канд. физ.-мат. наук, руководитель отдела научных медицинских исследований ГБУЗ ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9661-0254>

Коденко Мария Романовна – канд. техн. наук, руководитель отдела инновационных технологий ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>

Омелянская Ольга Васильевна – руководитель по управлению подразделениями Дирекции наука ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-0245-4431>

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”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Contact*: Ivan M. Skorobogach – e-mail: vanoskor@gmail.com

Yuri A. Vasiliev – Cand. of Sci. (Med.), Director, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Ivan M. Skorobogach – head of the 1st department of the Reference Center, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5428-6687>

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Ivan A. Blokhin – Cand. of Sci. (Med.), Head of Research Sector in Diagnostic Radiology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-2681-9378>

Roman V. Reshetnikov – Cand. of Sci. (Phys.-Math.), Head of Scientific Medical Research Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-9661-0254>

Maria R. Kodenko – Cand. of Sci. (Tech.) head of innovative department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>

Olga V. Omelyanskaya – Head of Division Management, Science, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-0245-4431>

Anton V. Vladzimirskyy – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-2990-7736>