

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

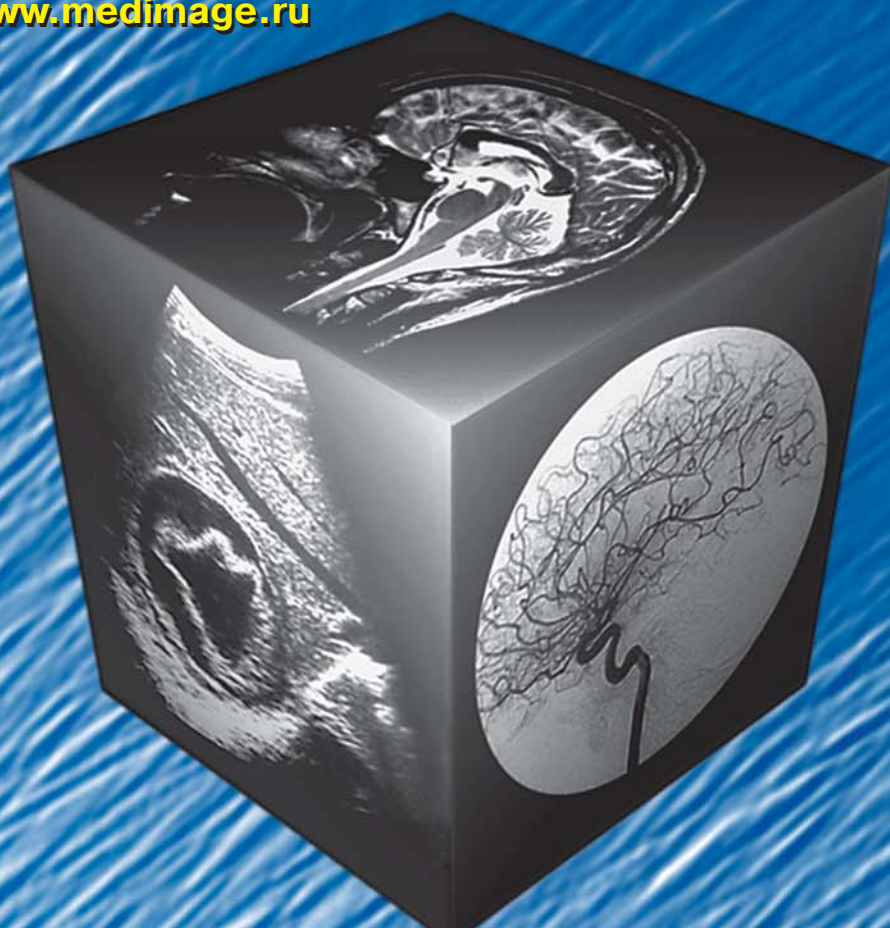
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №3
Vol 28 N3

2024

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



- U-net-нейросеть в верификации васкулярных образований поджелудочной железы
- Искусственный интеллект в лучевой диагностике
- МРТ в структурных и перфузионных изменениях головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС
- УЗИ в оценке правого желудочка при тромбоэмболии легочной артерии
- Эндоскопия и скрытые желудочно-кишечные кровотечения

ВИДАР-М

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

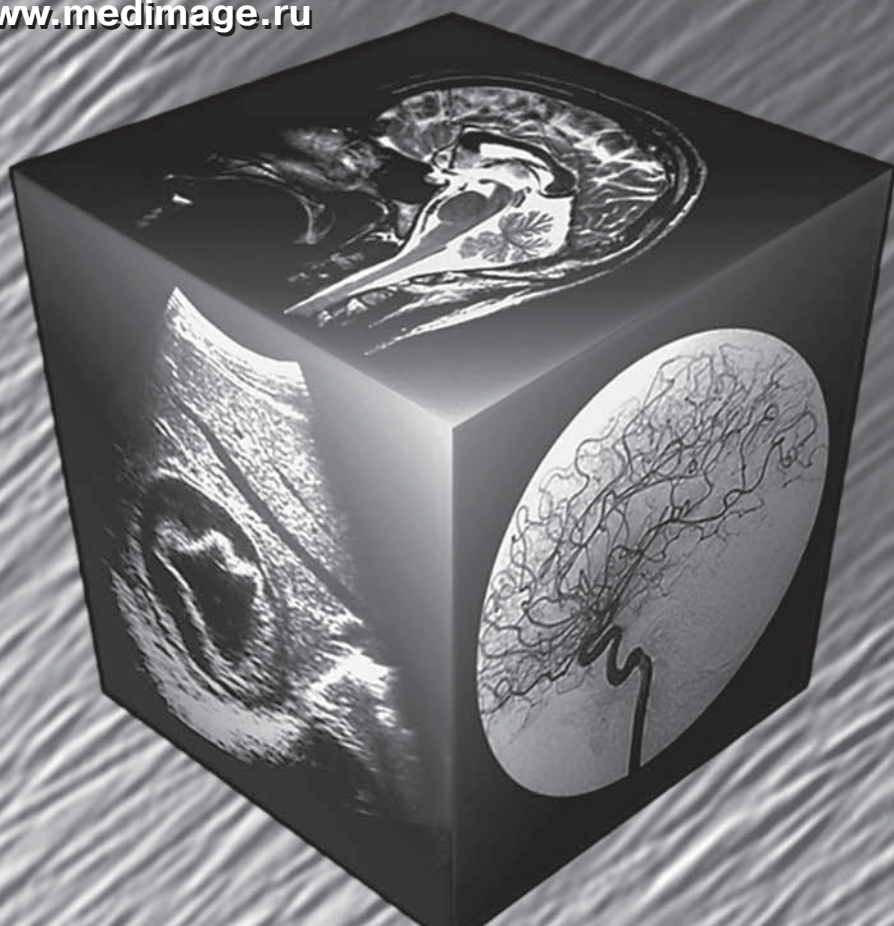
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №3
Vol 28 N3

2024

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



- U-net-нейросеть в верификации васкулярных образований поджелудочной железы
- Искусственный интеллект в лучевой диагностике
- МРТ в структурных и перфузионных изменениях головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС
- УЗИ в оценке правого желудочка при тромбоэмболии легочной артерии
- Энтероскопия и скрытые желудочно-кишечные кровотечения

ВИДАР-М

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditinskaya vizualizatsiya

2024 Том 28 №3

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

Официальный
печатный орган

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

Издатель

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

Главный редактор

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

Первый заместитель главного редактора

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заместитель директора по научной работе ФГБУ "Российский научный центр 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

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

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

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

Зав. редакцией

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

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

Ветшева Наталья Николаевна – доктор мед. наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000290179432>. Scopus Author ID: 6176616600

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

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

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

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

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

Икрамов Адхам Ильхамович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской радиологии Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников при Минздраве Республики Узбекистан, Ташкент, Республика Узбекистан. Scopus Author ID: 6603001286

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

Корженкова Галина Петровна – доктор мед. наук, профессор кафедры рентгенологии и радиологии РМАНПО; старший научный сотрудник ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

Котляров Петр Михайлович – доктор мед. наук, профессор, руководитель научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000319409175>. Scopus Author ID: 7003497625

Лукьянченко Александр Борисович – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000270216419>. Scopus Author ID 6507563458

Мазо Михаил Львович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник НЦОРО Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-1313-6420>. Scopus Author ID 25623348800

Мищенко Андрей Владимирович – доктор мед. наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, Научно-клинический и образовательный центр “Лучевая диагностика и ядерная медицина”; ведущий научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург, Российская Федерация. Scopus Author ID: 55791087500

Петрайкин Алексей Владимирович – канд. мед. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000316944682>. Scopus Author ID: 7801330975

Прокопенко Сергей Павлович – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением МНИОИ им. П.А.Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000203695755>. Scopus Author ID: 7004120546

Рахимжанова Раушан Ибжановна – доктор мед. наук, профессор, почетная заведующая кафедрой радиологии имени академика Ж.Х. Хамзабаева НАО “Медицинский университет Астана”, Нур-Султан, Республика Казахстан. <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>. Scopus Author ID: 55776205100

Ростовцев Михаил Владиславович – доктор мед. наук, заведующий отделом лучевой диагностики ГБУЗ “Городская клиническая больница имени М.Е. Жадкевича Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000250324164>

Рубцова Наталья Алефтиновна – доктор мед. наук, доцент, заведующая отделом лучевой диагностики ФГБУ “Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена” – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID: 15844343600

Сафонов Дмитрий Владимирович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ФДПО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород, Российская Федерация. Scopus Author ID 55647448500

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой диагностики факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000256492193>. Scopus Author ID: 7102735724

Степанова Юлия Александровна – доктор мед. наук, Ученый секретарь ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-2348-4963>. Scopus Author ID 57194482656

Тарачкова Елена Владимировна – канд. мед. наук, ассистент кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 56321456200

Трофимова Татьяна Николаевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры рентгенологии и радиационной медицины ФГБОУ ВО “СанктПетербургский государственный университет”, СанктПетербург, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000348712341>. Scopus Author ID: 7006098439

Троян Владимир Николаевич – доктор мед. наук, профессор, начальник Центра лучевой диагностики, главный рентгенолог ФГБУ “Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко” Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000280089660>

Туманова Ульяна Николаевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник, врач-рентгенолог ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0924-6555>. Scopus Author ID: 55352350200

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, старший научный сотрудник НИИ кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”; доцент ФГАОУ “Национальный исследовательский Томский политехнический университет”, НОЦ им. Н.М. Кижнера, Томск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000273526068>. Scopus Author ID: 16937595600

Федорук Алексей Михайлович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом гепатологии и малоинвазивной хирургии ГУ “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии”, Минск, Республика Беларусь. Scopus Author ID 56531839500

Фисенко Елена Полиектовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/000000034503950X>. Scopus Author ID 6507536162

Хомутова Елена Юрьевна – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Омский государственный медицинский университет” Минздрава России, Омск, Российская Федерация. Scopus Author ID 57189104536

Хохлов Александр Леонидович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой клинической фармакологии и этики применения лекарств ЮНЕСКО ФГБОУ ВО “Ярославский государственный медицинский университет” Минздрава России, Ярославль, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000200320341>. Scopus Author ID: 7201745706

Хромов-Борисов Никита Николаевич – канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0001-6435-7218>. Scopus Author ID 7003518614

Шейх Жанна Владимировна – доктор мед. наук, профессор, врач-рентгенолог ГБУЗ “Городская клиническая больница имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы”; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ “Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна” ФМБА России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000313346652>. Scopus Author ID 57285215600

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии медико-биологического факультета ФГБОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000000203100889>. Scopus Author ID 7102669707

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

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

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

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

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

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

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

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

ООО “Видар-М” 109028, Москва, а/я 16. Контакты: (495) 768-04-34, (495) 589-86-60, <http://www.vidar.ru>

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

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

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

“МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ”

© ООО “Видар”, 2024.

Все права сохраняются.

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 16.09.2024 г.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditinskaya vizualizatsiya

2024 V. 28 N3



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 of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists

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

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

Editor-in-Chief

Grigory G. Karmazanovsky – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Diagnostic Radiology Department at the A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; Professor of the Radiology Department at the N.I. Pirogov Russian National Research Medical University. Honored Scientist of Russian Federation, Laureate of the RF Government Prize in the field of science and technology, Laureate of the Moscow City Prize in the field of medicine, Lenin Komsomol Prize Laureate, Vice President of the Russian Society of Radiologists, Moscow, Russian Federation.
E-mail: karmazanovsky@yandex.ru, karmazanovsky@ixv.ru. <https://orcid.org/0000000293570998>. Scopus Author ID: 55944296600

First Deputy Editor

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

Publishing Editor

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of 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/0000000290149022>. Scopus Author ID: 7102053957

Scientific consultants

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

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

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

Chief of office

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

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

Editorial board

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

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

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

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

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

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

Marina V. Vishnyakova – Doct. of Sci. (Med.), head of radiology department of Moscow Regional Clinical and Research Institute named after M.F. Vladimirsky (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/0000000290179432>. Scopus Author ID: 6176616600

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

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

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

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

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

Adkham I. Ikramov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Medical Radiology, Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Workers of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan. Scopus Author ID: 6603001286

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Reg. № ПИ № ФС-77-21017, 12.05.05.

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

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

For inquiries relating to the publication, please contact: **karmazanovsky@ixv.ru**

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

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery. Grigory G. Karmazanovsky

Phone: +7 (499) 237-37-64, 237-04-54,

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

Vidar Ltd. p/b 16, 109028, Moscow, Russian Federation Phone: +7 (495) 768-04-34, +7 (495) 589-86-60, <http://www.vidar.ru>

You can subscribe to the journal at any post office (Rospechat catalogue, section “Public Health. Medicine”) and in the publishing house “Vidar-M” Ltd.

No part of this copyrighted work may be reproduced, modified or distributed, without the prior written permission

Editing T.I. Lukovskaya
Designer O.A. Rychenkova, A.I. Morosova
Prepress Yu.A. Kushel
“MEDICAL VISUALIZATION”
© Vidar Ltd., 2024
All rights reserved

Format 60 × 90 1/8. 18 printer's sheet. Circulation: 1500 ex. Free price.
Printed at Onebook.ru (OOO “SamPoligrafist”), www.onebook.ru
Signed for printing: 16.09.2024



Содержание

- 10 Памяти
Григория Григорьевича Кармазановского

Технологии лучевой диагностики

- 12 Оценка диагностической ценности глубокого машинного обучения для автоматизированной сегментации паренхимы поджелудочной железы и ее гипо- и гиперваскулярных образований по КТ-изображениям с помощью U-net нейросети
Замятина К.А., Жарикова А.В., Кондратьев Е.В., Усталов А.А., Староверов Н.Е., Нефедьев Н.А., Гожева А.Р., Шмелева С.А., Кармазановский Г.Г.
- 22 Обзор метаанализов о применении искусственного интеллекта в лучевой диагностике
Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., Омелянская О.В., Решетников Р.В., Блохин И.А., Коденко М.Р., Нанова О.Г.

Голова

- 42 Влияние системы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии на процесс принятия врачебных решений
Андропова П.Л., Колесникова П.А., Гаврилов П.В., Кокорев О.В., Чернова Е.В., Курносенко О.А., Галустян Д.Х., Бойцова М.Г., Трофимова Т.Н.
- 53 Нейрофункциональные особенности головного мозга у пациентов с алиментарным ожирением по данным специальных методик магнитно-резонансной томографии (обзор литературы)
Богдановская А.С., Тарумов Д.А., Максим О.В., Абдулаев Ш.К., Пучков Н.А.
- 65 МРТ-признаки структурных и перфузионных изменений при хронической ишемии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде
Куликова Т.А., Мешков Н.А., Солодкий В.А., Нуднов Н.В., Сергеев Н.И.

Сердце и сосуды

- 77 Особенности эхографической картины диссекций экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий
Орлова Е.В., Бердалин А.Б., Хайцман Д.М., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г.

- 89 Комплексная оценка функции правого желудочка при острой тромбоэмболии легочной артерии
Кондрашова К.В., Рыбакова М.К., Митькова М.Д., Митьков В.В.

- 99 Оценка интракардиальной гемодинамики у детей до 1 года с дефектом межпредсердной перегородки
Соколов А.А., Егунов О.А., Сморгон А.В., Кожанов Р.С.

- 106 Показатель деформации миокарда левого предсердия, оцененный методом стрейн-эхокардиографии, как маркер фиброза у пациентов с ишемическим инсультом
Хамидова Л.Т., Рыбалко Н.В., Иванников А.А., Баширова Е.А., Рамазанов Г.Р., Каниболоцкий А.А.

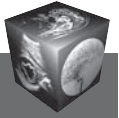
- 117 Вариабельность ультразвуковых показателей ретробульбарного кровотока у детей с сахарным диабетом 1 типа
Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Завадовская В.Д., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э.

Грудная клетка

- 127 Лучевая диагностика одиночной гемангиоэндотелиомы легкого в сочетании с атипичным карциноидом: обзор литературы и клиническое наблюдение
Котляров П.М., Солдатов Д.Г., Сергеев Н.И., Лагуева И.Д., Рагимов В.А., Егорова Е.В., Солодкий В.А.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

- 136 Бесконтрастная ASL-перфузия в алгоритме ведения пациентов с диффузными заболеваниями печени: новые критерии диагностики
Телеш А.А., Морозова Т.Г.
- 146 Роль энтероскопии в диагностике и лечении скрытых желудочно-кишечных кровотечений
Кортиева А.Т., Крушельницкий В.С., Габриэль С.А., Дынько В.Ю., Гучетль А.Я.



Contents

10 A tribute to Grigory G. Karmazanovsky

Radiological technologies

12 Deep Machine Learning for Automatic Segmentation of the Pancreatic Parenchyma and its hypo- and hyper-vascular lesions on CT Images

Ksenia A. Zamyatina, Alexandra V. Zharikova, Evgeniy V. Kondratev, Andrey A. Ustalov, Nikolay E. Staroverov, Nikolay A. Nefedev, Alla R. Gozheva, Sofia A. Shmeleva,

Grigory G. Karmazanovsky

22 Review of meta-analyses on the use of artificial intelligence in radiology

Yuri A. Vasiliev, Anton V. Vladzymyrskyy, Olga V. Omelyanskaya, Roman V. Reshetnikov, Ivan A. Blokhin, Maria R. Kodenko, Olga G. Nanova

Head

42 Influence of the implementation of automatic artificial intelligence-based CT image analysis systems in diagnosis of middle cerebral artery stroke in human

Polina L. Andropova, Polina A. Kolesnikova, Pavel V. Gavrilov, Oleg V. Kokorev, Elena V. Chernova, Olesya A. Kurnosenko, Diana H. Galustyan, Marina G. Boytsova, Tatiana N. Trofimova

53 Neurofunctional and microstructural features of the brain in patients with nutritional obesity according to special magnetic resonance imaging techniques (literature review)

Anna S. Bogdanovskaya, Dmitriy A. Tarumov, Oksana V. Maksim, Shamil K. Abdulaev, Nikolai A. Puchkov

65 MRI-signs of structural and perfusion changes in chronic cerebral ischemia in liquidators of the aftermath of the Chernobyl nuclear power plant accident in the remote period

Tatyana A. Kulikova, Nikolay A. Meshkov, Vladimir A. Solodkiy, Nikolay V. Nudnov, Nikolay I. Sergeev

Heart and vessels

77 Echographic pattern features of dissections of the extracranial parts of the brachiocephalic arteries

Ekaterina V. Orlova, Alexander B. Berdalin, Darya M. Khaitsman, Svetlana E. Lelyuk, Vladimir G. Lelyuk

89 Comprehensive evaluation of right ventricular function in acute pulmonary embolism

Ksenia V. Kondrashova, Marina K. Rybakova, Mina D. Mitkova, Vladimir V. Mitkov

99 Evaluation of intracardial hemodynamics in children under 1 year of age with atrial septal defect

Alexander A. Sokolov, Oleg A. Egunov, Andrey V. Smorgon, Roman S. Kozhanov

106 Left atrial myocardial strain, assessed by the method of speckle-tracking echocardiography, as a marker of fibrosis in patients with ischemic stroke

Layla T. Khamidova, Natalia V. Rybalko, Alexander A. Ivannikov, Eva A. Bashirova, Ganipa R. Ramazanov, Alexander A. Kanibolotsky

117 Variability of ultrasound indicators of retrobulbar blood flow in children with type 1 diabetes mellitus

Svetlana V. Fomina, Iuliia G. Samoilova, Marina V. Koshmeleva, Vera D. Zavadovskaya, Dmitriy A. Kachanov, Ekaterina I. Trifonova, Maxim A. Zorkaltsev, Vera E. Yun

Thorax

127 Radiation diagnosis of single lung hemangioendothelioma in combination with atypical carcinoid – literature review and clinical observation

Petr M. Kotlyarov, Dmitry G. Soldatov, Nikolay I. Sergeev, Irina D. Lagkueva, Vadim A. Ragimov, Ekaterina V. Egorova, Vladimir A. Solodkiy

Abdomen and retroperitoneum

136 Liver non-contrast perfusion in diffuse liver diseases diagnostic algorithm: the new diagnostic criteria

Arina A. Telesh, Tat'jana G. Morozova

146 The role of enteroscopy in the diagnosis and treatment of hidden gastrointestinal bleeding

Alena T. Kortieva, Vladimir S. Krushelnitskiy, Sergei A. Gabriel, Viktor Yu. Dynko, Aleksandr Ya. Guchetl

Памяти Григория Григорьевича Кармазановского A tribute to Grigory G. Karmazanovsky



23.04.1954 – 11.08.2024

С прискорбием сообщаем, что 11 августа 2024 года после продолжительной болезни ушел из жизни главный редактор нашего журнала, выдающийся ученый, врач и наставник для многих поколений специалистов лучевой диагностики, заведующий отделом лучевых методов диагностики Национального медицинского исследовательского центра хирургии им. А.В. Вишневского, вице-президент Российского общества рентгенологов и радиологов, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН Григорий Григорьевич Кармазановский.

Свой путь в медицине Григорий Григорьевич начал в Одесском медицинском институте им. Н.И. Пирогова, который с отличием окончил в 1982 году.

Дальнейший жизненный путь и профессиональная деятельность Г.Г. Кармазановского неразрывно связаны с Институтом хирургии им. А.В. Вишневского (ныне НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского), где с 1984 года он прошел путь от старшего лаборанта отделения компьютерной томографии до заведующего отделом лучевых методов диагностики, которым он руководил почти 30 лет.

С 1998 года Г.Г. Кармазановский начал свою деятельность в редакции журнала «Медицинская визуализация», был его главным редактором. Под его умелым руководством издание стало одним из самых уважаемых и авторитетных в нашей стране. Григорий Григорьевич был очень требователен и строг к качеству публикуемого в журнале материала и лично проверял все статьи, присылаемые авторами в журнал. Г.Г. Кармазановский является автором 850 публикаций, 36 монографий и руководств. Как главный редактор медицинского периодического издания, он внес неоценимый вклад в развитие отечественной культуры и этики публикационной активности в медицинских журналах. Колоссален его вклад в развитие международного сотрудничества, в развитие лекционной активности молодых ученых, организацию конгрессов и форумов.

Академик Г.Г. Кармазановский стоял у истоков развития отечественной компьютерной томографии и являлся одним из ведущих мировых ученых в области лучевой диагностики. Широко известны его уникальные технологии для диагностики злокачественных новообразований печени и желчных протоков, поджелудочной железы и желудочно-кишечного тракта, заболеваний сердечно-сосудистой системы. Последние несколько лет он посвятил внедрению радиомики, радиогеномики и искусственного интеллекта в лучевую диагностику.

Под руководством академика Г.Г. Кармазановского защищены 50 кандидатских и 11 докторских диссертаций.

Г.Г. Кармазановский неоднократно был отмечен государственными премиями и наградами, в 2014 году ему было присвоено звание «Заслуженный деятель науки».

Григорий Григорьевич обладал неординарным мышлением, был всегда полон новых замыслов и идей, многие из которых он не успел завершить.

Для российской науки и медицины его кончина стала тяжелым ударом, масштаб которого, увы, еще только предстоит оценить. Мы глубоко скорбим о невосполнимой утрате. Дело Григория Григорьевича будет продолжено, а память о нем навсегда сохранится в сердцах его друзей, коллег и учеников.

**Директор НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского Минздрава России,
академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ,
лауреат Государственных премий**

А.Ш. Ревিশвили



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1483>

Оценка диагностической ценности глубокого машинного обучения для автоматизированной сегментации паренхимы поджелудочной железы и ее гипо- и гиперваскулярных образований по КТ-изображениям с помощью U-net нейросети

© **Замятина К.А.^{1, 2*}, Жарикова А.В.¹, Кондратьев Е.В.¹, Усталов А.А.¹,
Староверов Н.Е.³, Нефедьев Н.А.⁴, Гожева А.Р.⁵, Шмелева С.А.¹,
Кармазановский Г.Г.^{1, 6}**

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

² Филиал “Онкологический центр №1” ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница имени С.С. Юдина ДЗ города Москвы”; 117152 Москва, Загородное шоссе, 18А, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина)”; 197022 Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, лит. Ф, Российская Федерация

⁴ ФГБУ высшего образования и науки “Санкт-Петербургский национальный исследовательский академический университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук”; 194021 Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 8/3, Российская Федерация

⁵ ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России; 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

⁶ ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Цель исследования: создание и оценка эффективности технологии сегментации паренхимы поджелудочной железы (ПЖ), а также сегментации и детекции ее гипер- и гиповаскулярных образований на компьютерных томограммах органов брюшной полости с использованием глубокого машинного обучения.

Материал и методы. Для обучения алгоритмов были использованы КТ-исследования из базы данных НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского – общий объем около 150 исследований (артериальная и портальная фазы исследования). Для валидации полученных алгоритмов был подготовлен тестовый набор данных из 46 анонимизированных КТ-исследований (артериальная и портальная фазы исследования), независимо оцененных врачами-экспертами. В качестве основной сегментационной нейросети (ИНС) используется pp-UNet (M. Antonelli и соавт., 2022).

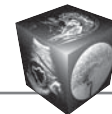
Результаты. Средняя точность тестового набора данных для модели, определяющей сегментационные маски ПЖ на КТ-изображениях, AUC составила – 0,8 для портальной фазы и – 0,85 для артериальной фазы, сегментационные маски образований поджелудочной железы – 0,6.

Заключение. Автоматизированная сегментация структуры паренхимы ПЖ с использованием технологий глубокого машинного обучения показала высокую точность. Сегментация гипо- и гиперваскулярных образований ПЖ требует совершенствования. Совпадение масок показало достаточно низкий результат, однако во всех случаях место расположения патологического образования было отмечено алгоритмом правильно. Совершенствование обучающего дата-сета и используемого алгоритма может увеличить точность алгоритма.

При детекции образований ПЖ ложноотрицательных результатов получено не было, во всех случаях ИНС детектировала “подозрительные” области паренхимы ПЖ. Это может помочь снизить пропуски патологий ПЖ по компьютерным томограммам, а дальнейшую их оценку может осуществлять сам врач-рентгенолог.

Ключевые слова: КТ; поджелудочная железа; образования поджелудочной железы; машинное обучение; искусственные нейронные сети; сегментация; трансферное обучение

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.



Для цитирования: Замятина К.А., Жарикова А.В., Кондратьев Е.В., Усталов А.А., Староверов Н.Е., Неведьев Н.А., Гожева А.Р., Шмелева С.А., Кармазановский Г.Г. Оценка диагностической ценности глубокого машинного обучения для автоматизированной сегментации паренхимы поджелудочной железы и ее гипо- и гиперваскулярных образований по КТ-изображениям с помощью U-net нейросети. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 12–21. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1483>

Поступила в редакцию: 09.06.2024.

Принята к печати: 09.07.2024.

Опубликована online: 04.09.2024.

Deep Machine Learning for Automatic Segmentation of the Pancreatic Parenchyma and its hypo- and hypervascular lesions on CT Images

© Ksenia A. Zamyatina^{1, 2*}, Alexandra V. Zharikova¹, Evgeniy V. Kondratev¹, Andrey A. Ustalov¹, Nikolay E. Staroverov³, Nikolay A. Nefedev⁴, Alla R. Gozheva⁵, Sofia A. Shmeleva¹, Grigory G. Karmazanovsky^{1, 6}

¹ A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow 117997, Russian Federation

² Branch "Oncology Center No. 1" S.S. Yudin City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; Moscow 117152, Zagorodnoye shosse, 18A, Russian Federation

³ St. Petersburg Electrotechnical University "LETI"; 5-F, Professor Popov str., St. Petersburg 197022, Russian Federation

⁴ Alferov Federal State Budgetary Institution of Higher Education and Science Saint Petersburg National Research Academic University of the Russian Academy of Sciences (Alferov University); 8/3, Hlopina str., St. Petersburg 194021, Russian Federation

⁵ St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2, Litovskaya str., St. Petersburg 194100, Russian Federation

⁶ Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostriviyanova str., Moscow 117997, Russian Federation

Objective of the study. To develop and evaluate the effectiveness of a technology for segmenting the pancreatic parenchyma and its hyper- and hypovascular lesions on abdominal computed tomography (CT) scans using deep machine learning.

Materials and methods. CT scans from the database of the A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery were used for training and testing the algorithms – a total number of approximately 150 studies (arterial and venous phases). A test dataset of 46 anonymized CT scans (arterial and venous phases) was prepared for validation of the obtained algorithms, independently assessed by expert physicians. The primary segmentation neural network used is nn-UNet (M. Antonelli et al., 2022).

Results. The average accuracy of the test dataset for the model determining segmentation masks of the pancreas on CT images had an AUC of 0.8 for the venous phase and 0.85 for the arterial phase. The segmentation masks of pancreatic formations had an AUC of 0.6.

Conclusion. Automated segmentation of the pancreatic parenchyma structure using deep machine learning technologies demonstrated high accuracy. However, the segmentation of hypo- and hypervascular pancreatic lesions requires improvement. The overlap of the masks showed a rather low result, but in all cases, the location of the pathological formation was correctly identified by the algorithm. Enhancing the training dataset and the algorithm used could increase the accuracy of the algorithm.

No false negative results were obtained when detecting pancreatic formations; in all cases, the INS detected "suspicious" areas of the pancreatic parenchyma. This can help reduce the omission of pancreatic pathologies in CT scans, and their further assessment can be carried out by the radiologist himself.

Keywords: CT; pancreas; pancreatic lesions; machine learning; deep convolutional neural networks; segmentation; transfer learning

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

For citation: Zamyatina K.A., Zharikova A.V., Kondratev E.V., Ustalov A.A., Staroverov N.E., Nefedev N.A., Shmeleva S.A., Gozheva A.R., Karmazanovsky G.G. Deep Machine Learning for Automatic Segmentation of the Pancreatic Parenchyma and its hypo- and hypervascular lesions on CT Images. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 12–21. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1483>

Received: 09.06.2024.

Accepted for publication: 09.07.2024.

Published online: 04.09.2024.



Введение

“Золотым стандартом” диагностики образований поджелудочной железы (ПЖ), в том числе злокачественных, является компьютерная томография (КТ) органов брюшной полости (ОБП) с внутривенным болюсным контрастированием [1]. Самой распространенной злокачественной опухолью ПЖ является протоковая аденокарцинома [2].

Несмотря на значительные исследовательские усилия, рак ПЖ связан с неблагоприятным прогнозом и 5-летней выживаемостью всего 10%. Ранние симптомы заболевания в основном неспецифичны. Повышения выживаемости можно добиться за счет раннего выявления, благодаря которому больше людей получают более радикальное хирургическое лечение на ранних стадиях заболевания [3]. Но на ранних стадиях рак ПЖ может быть слабо заметен на КТ-изображениях, особенно при небольших размерах, и пропущен неопытным врачом либо в большом потоке исследований. Использование искусственного интеллекта (ИИ) уже показало отличные результаты в разных областях лучевой диагностики и стало полезным инструментом для стратификации рисков и “помощником” в диагностике различных патологий [4]. Так как в условиях резкого роста количества выполняемых рентгенологических исследований и увеличения нагрузки на врачей-рентгенологов диагностическая точность исследований снижается и повышается количество пропущенной патологии и ошибок при оценке распространенности опухолей, применение алгоритмов глубокого машинного обучения может стать решением упомянутых проблем [5], тем более что аналогичные работы уже описаны – искусственная нейросеть (ИНС), способная с достаточно большой точностью выявлять визуально незаметные опухоли небольшого размера (даже менее 1 см) с точностью до 0,75% [5], более крупные образования с точностью до 98% [5,6].

Однако нужно иметь в виду, что существует разница между функцией обнаружения образования и его сегментации (построения сегментационной маски с нахождением границ опухоли). Сегментация оценивается при сопоставлении двух масок, обычно одна из них построена опытным врачом-рентгенологом, а вторая – это маска, сгенерированная ИНС. Основной валидационной метрикой для оценки совпадения сегментационных масок является коэффициент сходства Dice (DSC). DSC – это индекс пространственного перекрытия и метрика проверки воспроизводимости, измеряет совпадение между двумя сегментациями (вокселями масок) – A и B и определяется как

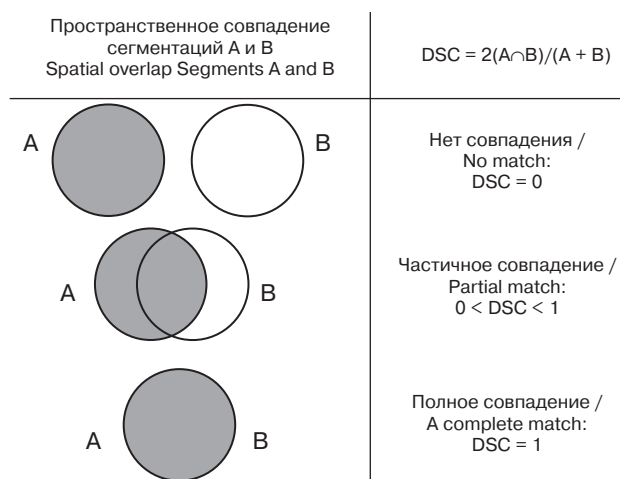


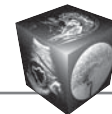
Рис. 1. Коэффициент сходства Dice (DSC), представляющий собой пространственное перекрытие и воспроизводимость, где $DSC = 2$ (пересекаемая область)/(сумма областей A и B), адаптировано из работы K. Zou и соавт. (2004) [7].

Fig. 1. Dice similarity coefficient (DSC) representing spatial overlap and reproducibility, where $DSC = 2(\text{overlapping area})/(\text{sum of areas A and B})$, adapted from Zou K. et al. (2004) [7].

$DSC(A,B) = 2(A \cap B) / (A + B)$, где $\cap$ – пересечение (рис. 1). Значение DSC находится в диапазоне от 0, указывающего на отсутствие пространственного перекрытия между двумя наборами результатов двоичной сегментации, до 1, указывающей на полное перекрытие, обычно указывается либо в процентах, либо в долях до единицы [7].

Повышение точности сегментации может помочь в нахождении точных границ, распространенности опухоли и, соответственно, в стадировании, планировании хирургического лечения и даже прогнозировании выживаемости и/или раннего рецидива. Подтверждают это исследование Н. Ni и соавт. (2023) [8], где ИИ достаточно точно строит сегментационную маску ПЖ, анализирует полученные данные, в том числе клинические, с целью дальнейшего прогнозирования рецидива рака ПЖ после хирургического лечения, а также результаты работы Т. Mahmoudi и соавт. (2022) [9] по сегментации внутрипротоковой аденокарциномы, которая достигла DSC – 60,6. С 2021 г. подобных работ много, цели и задачи, а также результаты которых достаточно схожи [10, 11].

Кроме того, для повышения точности ИИ можно дополнительно использовать методику математического анализа изображения – радиомику, что потенциально позволит еще больше повысить его точность, особенно на таком “сложном” для визуализации органе и его патологии, как ПЖ.



Например, в исследовании Q. Miao и соавт. (2024), где точность ИИ в сочетании радиомикой в оценке периваскулярной инвазии внутрипротоковой аденокарциномы ПЖ была сопоставима с результатами оценки изображений опытными абдоминальными рентгенологами [12]. Также использование радиомики вместе с нейросетью перспективно для построения карты вероятности принадлежности данной опухоли к определенному виду или даже определения степени ее дифференцировки [13].

Потенциал развития данных направлений автоматизированного анализа изображений огромен. Но обучение ИНС сегментации требует значительного объема работы, и моделям ИИ необходимы большие наборы данных для обучения и тестирования, что требует участия нескольких клинических центров в их формировании.

Первым этапом в обучении ИНС выявлять патологию на медицинских изображениях, в том числе опухолевидные образования в анализируемом органе, является построение сегментационной маски самого органа. Особенно это актуально для ПЖ, так как она представляет собой небольшой орган, занимающий лишь очень малую часть (~1,3%) каждого КТ-исследования. Поэтому поиск опухоли ПЖ только в ее паренхиме, а не во всем КТ-изображении, сильно повышает точность и скорость работы ИНС [10]. Это доказывает ряд исследований. Например, N. Alves и соавт. (2022) сравнили между собой 3 обученных ими ИНС – первая сегментировала только опухоль (*nnUnet_T*), вторая – опухоль и ПЖ (*nnUnet_TP*) и третья – опухоль, ПЖ и анатомические структуры гепатодуоденальной области (*nnUnet_MS*). Выше всех точность была у третьей, она показала лучший результат – ROC-AUC 0,914, а ниже всех точность была у первой ИНС. Это также доказывает, что для повышения точности работы ИНС необходимо прежде научиться ее сегментировать сам орган [14]. Главным недостатком этих исследований является то, что проверка точности ИНС проводилась на валидационной выборке того же центра (тот же томограф и условия постобработки изображений), что в значительной степени могло завязать показатели ее точности, в то время как на внешних данных точность с высокой вероятностью будет ниже.

Однако даже первый этап предобучения ИНС – сегментация ПЖ вызывает много сложностей, так как сам по себе орган имеет разную форму, размеры, не говоря уже о патологических новообразованиях. Помимо всего, нужно учитывать вариативность разметки между разными рентгенологами, она может зависеть от опыта и других факторов.

Настоящее исследование – лишь начало большой работы в разработке алгоритмов машинного обучения для помощи в диагностике образований ПЖ.

Цель исследования: разработать и протестировать алгоритмы построения сегментационных масок ПЖ и ее новообразований на различных фазах КТ-исследования с контрастным усилением с использованием нейросетевой архитектуры U-Net, оценить функцию обнаружения ИНС образований ПЖ по данным КТ ОБП.

Материал и методы

Сбор и предобработка данных, создание обучающей и тестовой выборки

Всего в исследование было включено 196 пациентов, каждому из которых была выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) ОБП с внутривенным болюсным введением контрастного препарата. Исследование проводилось с использованием стандартного протокола для МСКТ ОБП и реконструкции soft и high-resolution на мультidetекторном компьютерном томографе Philips Ingenuity CT 64 (были использованы следующие параметры сканирования: коллимация $64 \times 0,625$, реконструкция 1 мм, инкремент 0,5 мм). Исследование проводили в положении больного лежа на спине с запрокинутыми за голову руками. По сканограмме планировали зону сканирования, включающую в себя брюшную полость и забрюшинное пространство. В протокол сканирования обязательно входили нативная, артериальная, портальная и выделительная фазы контрастирования, некоторым пациентам была выполнена дополнительная панкреатическая фаза.

Для обучения алгоритмов машинного обучения использовали артериальную и портальную фазы КТ-исследований 150 пациентов, взятых из базы данных НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского: 45 случаев с аденокарциномой ПЖ (гиповаскулярные образования), 45 – с нейроэндокринными опухолями (гиперваскулярные образования) и 60 – с ПЖ без образований.

В валидационную выборку было включено 3 набора случаев: 20 КТ-исследований пациентов с неизменной ПЖ и с образованиями (10 артериальных фаз и 10 портальных фаз исследований), 11 КТ-исследований пациентов только с образованиями ПЖ и 15 КТ-исследований – с образованиями (6 случаев) и без образований – 9.

В исследование не включали кейсы со структурой паренхимы ПЖ, представленной отдельными “кусочками” железистой ткани в жировой, как бывает при выраженном стеатозе ПЖ.

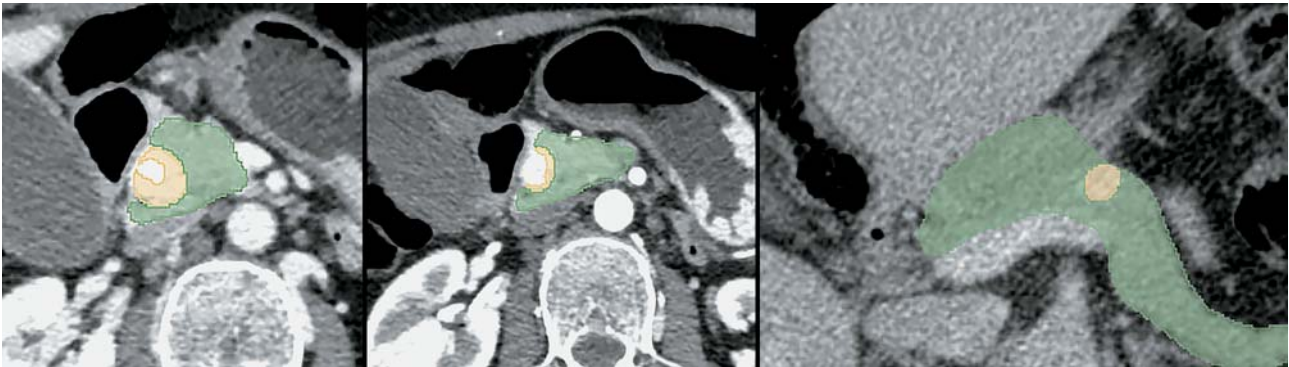


Рис. 2. Примеры сегментационных масок образований ПЖ на компьютерных томограммах, которые с помощью программного обеспечения 3D-Slicer пришлось корректировать и дорабатывать.

Fig. 2. Examples of segmentation masks of pancreatic formations on CT tomograms, which had to be corrected and additionally marked up using 3D Slicer software.

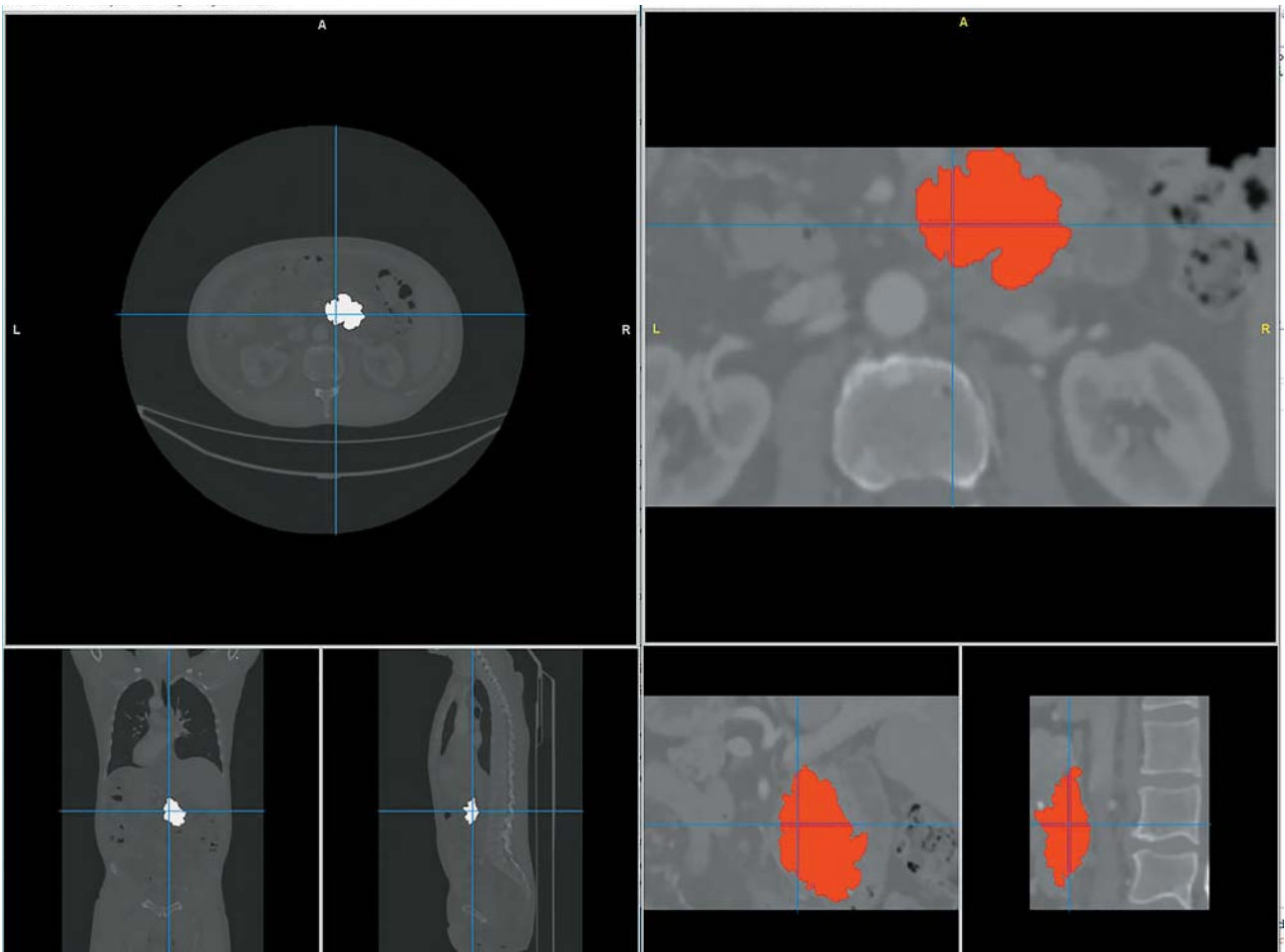
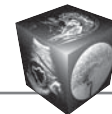


Рис. 3. КТ-исследование ОБП, артериальная фаза исследования с наложенной сегментационной маской образования ПЖ (скрин экрана слева). Предобработка входных данных – исследование обрезается до “bounding box”, то есть ограничительный параллелепипед, в котором находится маска образования и ПЖ (скрин экрана справа).

Fig. 3. CT examination of the abdominal cavity, arterial phase of the examination with a superimposed segmentation mask of the RV formation (screenshot on the left). Preprocessing of input data – the examination is cut to the “bounding box”, i.e. the limiting parallelepiped in which the mask of the formation and the RV are located (screenshot on the right).



Оценка и сегментация полученных изображений производились в модуле просмотра DICOM-изображений Philips IntelliSpace Portal (Philips Medical Systems, Cleveland), для сегментации использовали инструмент, определяющий контуры органа по типу “магнитного лассо”, выгружались маски в формате Stl. В дальнейшем производили корректировку масок и экспорт в подходящий формат с помощью другого программного обеспечения 3D Slicer (рис. 2) [15]. С помощью него же проводили выгрузку сегментационных масок в файловый формат Nifti.

Сегментацию проводили 2 врача-рентгенолога (опыт работы более 5 лет) с выделением границ ПЖ на артериальной и венозной фазах каждого исследования в вышеописанном программном пакете Intellispace Portal V. компании Philips. Выделяли всю паренхиму ПЖ, если в ней было образование, его включали в общую разметку, но исключали общий желчный проток, видимые кровеносные сосуды и жировое пространство вокруг ПЖ. Затем проводили сегментацию образований ПЖ на КТ-изображениях, использовались портальная фаза – для гиповаскулярных образований, артериальная фаза – для гиперваскулярных.

Обучение сети

Перед началом обучения необходима предобработка данных. Во время предобработки проверяется набор данных: наличие всех масок

и снимков, согласованность размеров и положения масок в исследовании (через ПО 3D-Slicer), происходит обрезание фона изображения (области, которые не несут полезной информации и содержат константные значения), снимок приводится к единой системе координат, происходит нормализация снимка (рис. 3).

Далее подготовленный набор данных отправляли для обучения ИНС. Первым этапом в ИНС для обучения загружали сегментационные маски ПЖ (в том числе пациентов с образованиями) и соответствующие DICOM-файлы КТ-исследований. Вторым этапом в уже обученную на предыдущем этапе ИНС загружали сегментационные маски образований – гиперваскулярных и гиповаскулярных с соответствующими DICOM-файлами фаз КТ-исследований, то есть использовали трансферное обучение, с помощью которого ИНС дообучается сегментировать образования.

Исходные DICOM-файлы были преобразованы в трехмерные массивы.

Данные представлены в виде пар трехмерных массивов. В первом элементе пары в каждом вокселе хранятся характеристики плотности, во втором – метка, равная 0 в случае “фона” (то есть если это не ПЖ), 1 – если паренхима органа.

В качестве основной сегментационной ИНС использовалась U-Net [16] (рис. 4).

U-Net считается одной из стандартных архитектур ИНС для задач сегментации изображений.

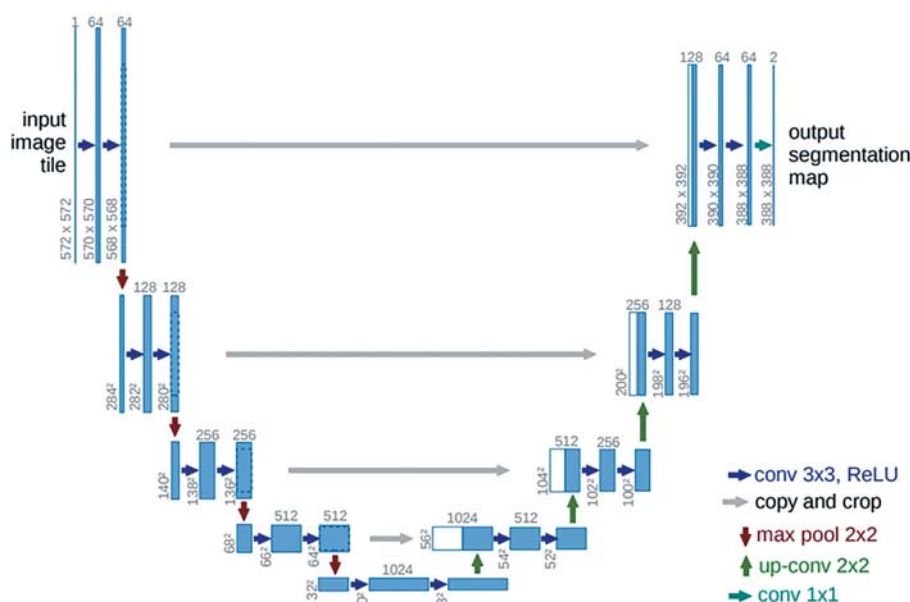


Рис. 4. Структура классической сверточной нейросети U-Net.

Fig. 4. Structure of the classical convolutional neural network U-Net.

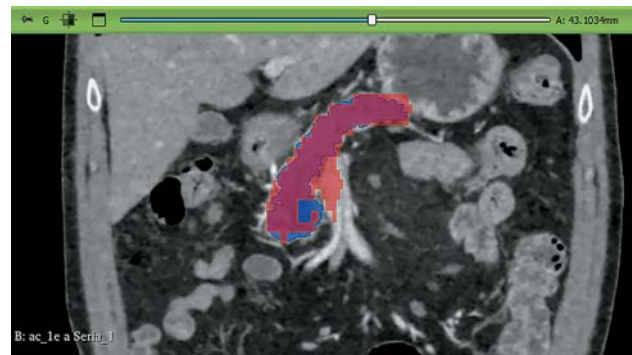


Рис. 5. КТ-исследование в артериальную фазу. Слева – аксиальный срез, справа – фронтальный. Определяются сегментационные маски: синяя – разметка врачом, красная – прогнозируемая ИНС, розовым цветом обозначена зона совпадения.

Fig. 5. CT examination in the arterial phase. On the left – axial section, on the right – frontal. Segmentation masks are determined: blue – markings by the doctor, red – predicted by the INS, the coincidence zone is marked in pink.

Архитектура UNet представляет собой U-образную дугу, на левой части которой входное изображение кратно уменьшается, а на правой части, наоборот, увеличивается до исходного размера (см. рис. 4). За счет операций свертки на выходе ИНС получает уже не исходное изображение, а сегментационную маску, которая показывает, к какому классу относится соответствующий воксель изображения.

Валидация нейронной сети

После первого этапа обучения нейросети nnU-net сегментации ПЖ в нее загружались DICOM-файлы валидационной выборки из 20 кейсов с ПЖ без образований и с образованиями (10 исследований в артериальную фазу и затем отдельно 10 в портальную фазу), а полученные сегментационные маски органа сравнивались с разметкой этих же кейсов врачами-рентгенологами.

После второго этапа обучения загружалась выборка из 11 DICOM-файлов КТ-исследований с образованиями ПЖ и аналогичным образом сравнивались сегментационные маски образований.

Для тестирования дообученной ИНС в функции детекции образований ПЖ загрузили 15 DICOM-файлов КТ-исследований, 9 из которых были с образованиями и 6 – без образований. По наличию сегментационных масок определяли, нашла ли ИНС в конкретном случае образование или нет.

В качестве метрик оценки качества разметки нейросети использовались диагностическая точность, чувствительность и предиктивное значение положительного результата с соответствующими 95% точными доверительными интервалами (95% ДИ).

Результаты и обсуждение

Средняя точность сегментации ИНС паренхимы ПЖ в артериальную фазу КТ-исследования (DICE) составила до 0,846, в портальную – до 0,803, в среднем по всем 20 кейсам и фазам – 0,82, пример совпадений сегментационных масок на компьютерных томограммах (рис. 5).

Это ниже, чем в некоторых аналогичных зарубежных работах, например, чем в TotalSegmentator – DICE 0,943 [17], но и объем обучающего дата-сета в нашем исследовании был значительно меньше.

Средняя точность сегментации гиповаскулярных и гипervasкулярных образований ПЖ – 0,61, но мы убеждены, что точность можно повысить, если учесть и доработать некоторые нюансы нашего исследования.

Частота ложноположительной разметки опухоли составила 40% [16,3; 67,7], диагностическая точность нейросети и предиктивное значение положительного результата нейросети – 60% [32,3; 83,7], чувствительность – 100% [66,4; 100], специфичность – 0% [95% ДИ 0; 45,9]. Данные результаты можно объяснить поставленной перед ИНС задачей поиска патологических изменений в структуре паренхимы ПЖ, при этом во всех случаях ИНС будет находить какие-либо подозрительные участки, которые будут ей отмечены. При тестировании ИНС на третьей тестовой выборке во всех случаях она сегментировала какие-либо зоны ПЖ на компьютерных томограммах (см. таблицу): в 9 случаях они совпали с истинными образованиями ПЖ по данным КТ, в остальных 6 случаях была ложноположительная разметка (протоки, жировые включения в паренхиме). Отмеченные участки должны быть оценены врачом-рентгенологом внимательно для окончательного решения о наличии патоло-

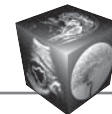


Таблица. Отражение количества ложноотрицательных и ложноположительных детекций образований ПЖ на третьей тестовой выборке

Table. The number of false negative and false positive detections of pancreatic lesions on the third test sample

	Сегментационная маска образования построена Segmentation mask formation built	Сегментационная маска образования не получена Segmentation mask of formation not received
Случаи с образованием ПЖ Cases with pancreatic formation	9 положительных 9 positive	0 ложноотрицательных 0 false negatives
Случаи без образования ПЖ Cases without pancreatic formation	6 ложноположительных 6 false positive	0 отрицательных 0 negative

гии. Следует отметить, что при тестировании ИНС не было выявлено ни одного ложноотрицательного случая, когда ИНС пропустила бы новообразование, что свидетельствует о ее высокой эффективности. Это может быть полезно в клинической практике для врача-рентгенолога при большом количестве исследований или при его небольшом опыте для того, чтобы минимизировать пропуски патологии, в том числе образований ПЖ.

Можно выделить следующие недостатки нашей работы: небольшая выборка (база данных из одного центра), использование только одного вида ИНС без сравнения с другими типами, использование только артериальной и портальной фаз исследования, а для образований по одному виду фаз исследования (артериальная фаза – для гиповаскулярных, портальная фаза – для гиповаскулярных), исключение пациентов с выраженным стеатозом ПЖ (когда ее структура представлена отдельными “участками” в жировой плотности строме) и отсутствие ее тестирования в условиях рутинной работы центра.

Тем не менее при сравнении с упомянутыми выше работами [10, 11, 12, 14] в целом наши результаты не сильно уступают, а результаты сегментации органа считаются отличными [9], несмотря на то что структуры гепатодуоденальной зоны не сегментировали отдельно как в работе [14], то есть при дополнительном их сегментировании результаты могут быть лучше.

Объем обучающих данных

В последних работах используются все большие по количеству наборы данных для обучения сетей, а также с разных медицинских центров или дата-сетов в открытом доступе (MSD [12], TCIA [18] и др.). Прослеживается тенденция, что с увеличением количества случаев увеличивается точность работы большинства нейросетей и применимость их в дальнейшем на различных базах данных, хотя есть новые виды нейросетей, сочета-

ющие в себе дополнительные модули и функции, которые требуют меньшее количество обучающих исследований с разметкой для получения высоких результатов [19].

Применение других типов нейросетей

Существуют нейросети-трансформеры U-netr (например, SwinUnet [19]), разница между обычной U-net и U-netr заключается в том, что U-net использует полностью сверточную архитектуру кодера-декодера, тогда как вторая – кодер-трансформер и декодер с пропускными соединениями. Трансформатор в архитектуре U-netr позволяет сети учитывать в своем обучении разные области входных данных и формировать долгосрочные зависимости, которые не фиксируются сверточной нейронной сетью, используемой в архитектуре U-net. Таким образом, с точки зрения получения результатов сеть-трансформер U-netr превосходит традиционную сверточную U-net для задач 3D-сегментации. Однако U-netr в вычислительном отношении затратнее из-за использования трансформаторного энкодера.

Еще одним преимуществом использования кодировщика-трансформера является то, что он может обрабатывать входные карты объектов переменных размеров без понижающей дискретизации. В традиционной 3D-архитектуре U-net необходимо уменьшить дискретизацию входных карт объектов, чтобы уменьшить вычислительные затраты сети. Однако понижение дискретизации может привести к потере пространственного разрешения, что ведет к снижению точности сегментации. В U-netr преобразователь-кодер генерирует набор пространственных характеристик для каждой входной карты объектов, которая может захватывать пространственную информацию без понижения разрешения. Это позволяет сети поддерживать пространственное разрешение входных карт объектов и, наоборот, улучшать точность сегментации.



Заключение

Таким образом, данная работа показывает высокую эффективность разработанной и обученной нами модели ИНС в сегментации паренхимы поджелудочной железы на компьютерных томограммах и выявлении подозрительных на патологию участков паренхимы поджелудочной железы, а также перспективу дальнейшего изучения эффективности нейросетей в сегментации поджелудочной железы и сегментации и детекции ее образований.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы и подготовке статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Участие авторов

Замятина К.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, написание текста, сбор и обработка данных, участие в научном дизайне.

Жарикова А.В. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, написание текста, сбор и обработка данных, участие в научном дизайне.

Кондратьев Е.В. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Усталов А.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, статистическая обработка данных, сбор и обработка данных.

Староверов Н.Е. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

Нефедьев Н.А. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

Гожева А.Р. – обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста.

Шмелева С.А., – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, статистическая обработка данных.

Кармазановский Г.Г. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Zamyatina K.A. – concept and design of the study, conducting research, writing text, collection and analysis of data, participation in scientific design.

Zharikova A.V. – concept and design of the study, conducting research, writing text, collection and analysis of data, participation in scientific design.

Kondratev E.V. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Ustalov A.A. – concept and design of the study, conducting research, statistical analysis, collection and analysis of data.

Staroverov N.E. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data.

Nefedev N.A. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data.

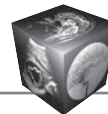
Shmeleva S.A. – concept and design of the study, text preparation and editing.

Gozheva A.R. – review of publications, text preparation and editing, conducting research, statistical analysis.

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

Список литературы [References]

1. Isensee F., Petersen J., Klein A. et al. nnU-Net: Self-adapting Framework for U-Net-Based Medical Image Segmentation. *arXiv*; 2018; 2. <https://arxiv.org/abs/1809.10486>. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1809.10486>
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *arXiv*; 2015; 2. <https://arxiv.org/abs/1505.04597>. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>
3. Kenner B., Chari S.T., Kelsen D. et al. Artificial Intelligence and Early Detection of Pancreatic Cancer: 2020 Summative Review. *Pancreas*. 2021; 50 (3): 251–279. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000001762>
4. Mello-Thoms C., Mello C.A.B. Clinical applications of artificial intelligence in radiology. *Br. J. Radiol.* 2023; 96 (1150): 20221031. <https://doi.org/10.1259/bjr.20221031>
5. Anghel C., Grasu M.C., Anghel D.A. et al. Pancreatic Adenocarcinoma: Imaging Modalities and the Role of Artificial Intelligence in Analyzing CT and MRI Images. *Diagnostics (Basel)*. 2024; 14 (4): 438. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14040438>
6. Chu L.C., Park S., Kawamoto S. et al. Application of Deep Learning to Pancreatic Cancer Detection: Lessons Learned From Our Initial Experience. *J. Am. Coll. Radiol.* 2019; 16 (9 Pt B): 1338–1342. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.05.034>
7. Zou K.H., Warfield S.K., Bharatha A. et al. Statistical validation of image segmentation quality based on a spatial overlap index. *Academic radiology*. 2004; 11 (2): 178–189. [https://doi.org/10.1016/s1076-6332\(03\)00671-8](https://doi.org/10.1016/s1076-6332(03)00671-8)
8. Ni H., Zhou G., Chen X. et al. Predicting Recurrence in Pancreatic Ductal Adenocarcinoma after Radical Surgery Using an AX-Unet Pancreas Segmentation Model and Dynamic Nomogram. *Bioengineering (Basel)*. 2023; 10 (7): 828. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10070828>
9. Mahmoudi T., Kouzahan Z.M., Radmard A.R. et al. Segmentation of pancreatic ductal adenocarcinoma (PDAC) and surrounding vessels in CT images using deep convolutional neural networks and texture descriptors. *Sci. Rep.* 2022; 12 (1): 3092. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07111-9>
10. Antonelli M., Reinke A., Bakas S. et al. The Medical Segmentation Decathlon. *Nat Commun.* 2022; 13: 4128. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30695-9>
11. Li J., Qi L., Chen Q. et al. A dual meta-learning framework based on idle data for enhancing segmentation of pancreatic cancer. *Medical Image Analysis*. 2022; 78: 102342. <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102342>
12. Miao Q., Wang X., Cui J. et al. Artificial intelligence to predict T4 stage of pancreatic ductal adenocarcinoma using CT imaging. *Comput. Biol. Med.* 2024; 171: 108125. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108125>



13. Tikhonova V.S., Karmazanovsky G.G., Kondratyev E.V. et al. Radiomics model-based algorithm for preoperative prediction of pancreatic ductal adenocarcinoma grade. *Eur. Radiol.* 2023; 33 (2): 1152–1161. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09046-1>
14. Alves N., Schuurmans M., Litjens G. et al. Fully Automatic Deep Learning Framework for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma Detection on Computed Tomography. *Cancers (Basel)*. 2022; 14 (2): 376. <https://doi.org/10.3390/cancers14020376>
15. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J. et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn. Reson. Imaging*. 2012; 30 (9): 1323–1341. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
16. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. *MICCAI*. 2015, Springer, 9351 (2015): 234–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
17. Wasserthal J., Breit H.C., Meyer M.T. et al. TotalSegmentator: Robust Segmentation of 104 Anatomic Structures in CT Images. *Radiol. Artif. Intell.* 2023; 5 (5): e230024. <https://doi.org/10.1148/ryai.230024>
18. Roth H., Farag A., Turkbey E.B. et al. Data From Pancreas-CT (Version 2) [Data set]. *The Cancer Imaging Archive*. 2016. <https://doi.org/10.7937/K9/TCIA.2016.tNB1kqBU>
19. Cai Y., Long Y., Han Z. et al. Swin Unet3D: a three-dimensional medical image segmentation network combining vision transformer and convolution. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.* 2023; 23 (1): 33. <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02129-z>

Для корреспонденции*: Замятина Ксения Андреевна – e-mail: catos-zama@mail.ru

Замятина Ксения Андреевна – аспирант по специальности “лучевая диагностика” ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1643-6613>. E-mail: catos-zama@mail.ru

Жарикова Александра Витальевна – ординатор по специальности “лучевая диагностика” ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8117-6670>. E-mail: zha-vit@yandex.ru

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. E-mail: evgenykondratiev@gmail.com

Усталов Андрей Александрович – ординатор по специальности “рентгенология” ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0005-9267-8584>. E-mail: andreiustalov@gmail.com

Староверов Николай Евгеньевич – канд. техн. наук, ассистент кафедры электронных приборов и устройств Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4404-5222>. E-mail: nik0205st@mail.ru

Нефедьев Николай Алексеевич – аспирант по специальности “теоретическая информатика, кибернетика” ФГБУ ВО и науки “Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0004-6601-8884>. E-mail: Nikolay-Nefedev@yandex.ru

Гожева Алла Романовна – студентка ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0004-9295-9821>. E-mail: gozhevaaa@mail.ru

Шмелева София Антоновна – ординатор первого года по специальности “рентгенология” ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0007-5724-2763>. E-mail: sofiaantonovna@gmail.com

Кармазановский Григорий Григорьевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики и терапии медикобиологического факультета ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-000293570998>. Email: karmazanovsky@ixv.ru

Contact*: Ksenia A. Zamyatina – e-mail: catos-zama@mail.ru

Ksenia A. Zamyatina – Resident of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1643-6613>. E-mail: catos-zama@mail.ru

Alexandra V. Zharikova – Resident Physician of radiology department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8117-6670>. E-mail: zha-vit@yandex.ru

Evgeniy V. Kondratev – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher officer of A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. E-mail: evgenykondratiev@gmail.com

Andrey A. Ustalov – postgraduate student, Radiology Department of A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0009-0005-9267-8584>. eLibrary SPIN: 5058-5207. E-mail: andreiustalov@gmail.com

Nikolay E. Staroverov – Cand. of Sci. (Techn.), assistant at the department of electronic devices in Saint-Petersburg State Electrotechnical University, St.-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4404-5222>. E-mail: nik0205st@mail.ru

Nikolay A. Nefedev – postgraduate student, Department of Theoretical Computer Science and Cybernetics, Alferov Federal State Budgetary Institution of Higher Education and Science Saint Petersburg National Research Academic University of the Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg. <https://orcid.org/0009-0004-6601-8884>. E-mail: Nikolay-Nefedev@yandex.ru

Alla R. Gozheva – student of Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, St.-Petersburg. <https://orcid.org/0009-0004-9295-9821>. E-mail: gozhevaaa@mail.ru

Sofia A. Shmeleva – first year postgraduate student, Radiology Department of A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-5724-2763>. E-mail: sofiaantonovna@gmail.com

Grigory G. Karmazanovsky – Russian Academy of Sciences (RAS) Full Member, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Diagnostic Radiology Department at the A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; Professor of radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9357-0998>. E-mail: karmazanovsky@ixv.ru



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1425>

Обзор метаанализов о применении искусственного интеллекта в лучевой диагностике

© Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., Омелянская О.В.,
Решетников Р.В., Блохин И.А., Коденко М.Р., Нанова О.Г.*

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

Введение. Искусственный интеллект (ИИ) – эффективный инструмент автоматизации рутинных процедур в лучевой диагностике. Вопрос диагностической точности алгоритмов ИИ в обнаружении различных патологий на данных лучевых исследований вызывает большой интерес у научного сообщества: число работ постоянно растет, появляются метаанализы, посвященные данной тематике. В связи с большим числом публикуемых результатов и их разнообразием возникает необходимость в систематизации данных.

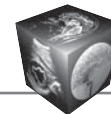
Цель исследования: зонтичный систематический обзор современных метаанализов применения ИИ в лучевой диагностике.

Материал и методы. Поиск англоязычных статей осуществлялся в базе PubMed. Для полнотекстового анализа было отобрано 38 систематических обзоров с метаанализами 2021–2023 гг. Извлеченные данные включали: цель, дизайн, модальность лучевых исследований, объем выборок, показатели качества включенных работ, показатели диагностической точности ИИ, параметры референтной методики, показатели клинической эффективности внедрения алгоритма ИИ. Методологическое качество включенных систематических обзоров было оценено с помощью инструмента AMSTAR-2.

Результаты. Почти половина (47%) всех включенных метаанализов посвящена диагностике, стадированию и сегментации злокачественных новообразований. Четыре метаанализа выполнены в области стоматологии и посвящены детекции челюстно-лицевых структур, еще 4 метаанализа посвящены диагностике поражений мозга. По 3 метаанализа были посвящены диагностике COVID-19 и диагностике переломов. По одному метаанализу выполнено в области диагностики следующих патологий: колоректальные полипы, пневмоторакс, легочная эмболия, остеопороз, аневризмы, рассеянный склероз, острое нарушение мозгового кровообращения, внутричерепное кровоизлияние, ожоги, риск задержки внутриутробного развития. В 35 (92%) метаанализах проведена оценка риска систематической ошибки. Основным инструментом для оценки рисков – QUADAS-2, его использовали в 28 (80%) метаанализах. Из 28 метаанализов риск систематической ошибки оценен как низкий в 14 (50%) обзорах, как средний – в 4 (14%), как высокий – в 10 (36%). Основные риски обусловлены несбалансированностью выборок по объему и составу, недостаточно подробным описанием использованных методик, малым числом проспективных исследований и исследований с внешней валидацией данных. Обобщенные результаты свидетельствуют о том, что диагностическая точность ИИ сопоставима с диагностической точностью врачей, а иногда превосходит ее. Средние значения чувствительности, специфичности и площадь под ROC-кривой для ИИ и врачей составляют 85,2, 89,5, 93,5 и 84,4, 90,0, 92,8% соответственно. Впрочем, во многих исследованиях, сопоставляющих диагностическую точность ИИ и врачей, наблюдается недостаток информации по числу и опыту врачей, которые выступили в роли референс-теста. Результаты внедрения ИИ в диагностическую практику приводятся только в одном метаанализе.

Обсуждение. ИИ способен сократить время рентгенологического описания при несрочных обследованиях. В качестве инструмента верификации первичной врачебной классификации исследования ИИ эффективно выявлял ложноотрицательные результаты рентгенологов, но при этом эффективность выявления ложноположительных результатов оказалась неудовлетворительной. По результатам оценки качества систематических обзоров по AMSTAR-2 показано, что методики поиска, отбора и анализа литературы нуждаются в стандартизации и улучшении. Также необходима разработка специализированного инструмента для оценки качества систематических обзоров в области использования ИИ. В настоящее время ИИ является многообещающим инструментом оптимизации описания исследований лучевой диагностики благодаря высоким показателям диагностической точности. Однако необходимы дополнительные исследования по внедрению ИИ в клиническую практику. Также необходимы повышение качества методологии исследований и ее стандартизация.

Ключевые слова: искусственный интеллект; диагностическая точность; метаанализ; лучевая диагностика



Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Решетников Р.В., Блохин И.А., Коденко М.Р., Нанова О.Г. Обзор метаанализов о применении искусственного интеллекта в лучевой диагностике. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 22–41. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1425>

Поступила в редакцию: 28.12.2023. **Принята к печати:** 04.04.2024. **Опубликована online:** 08.07.2024.

Review of meta-analyses on the use of artificial intelligence in radiology

© Yuri A. Vasiliev, Anton V. Vladzimirskyy, Olga V. Omelyanskaya,
Roman V. Reshetnikov, Ivan A. Blokhin, Maria R. Kodenko, Olga G. Nanova*

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department;
24, bld. 1, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation

Introduction. Artificial intelligence (AI) is an effective tool for automating routine tasks in radiology. The diagnostic accuracy of AI in detecting various pathologies on medical images has generated considerable interest in the scientific community: the number of studies and meta-analyses has been constantly growing. The abundance of published evidence and the diversity of outcomes necessitate the need to systematize the available publications. The aim of this paper is to conduct an umbrella systematic review of contemporary meta-analyses on the use of AI in radiology.

Materials and methods. PubMed was searched for studies published in the English language. Thirty-eight systematic reviews with meta-analyses published between 2021 and 2023 were selected for full-text analysis. The extracted data included the goal, study design, imaging modality, sample size, quality assessment of the included studies, AI diagnostic accuracy estimates, reference method parameters, and clinical efficacy metrics of AI implementation. The methodological quality of included systematic reviews was assessed using the AMSTAR-2 tool.

Results. Nearly half (47%) of the included meta-analyses focused on the diagnosis, staging and segmentation of malignancies. Four meta-analyses were related to detection of maxillofacial structures in dentistry, while another four meta-analyses addressed the diagnosis of brain lesions. The diagnosis of COVID-19 and the diagnosis of bone fractures were each covered in three meta-analyses. One meta-analysis was reviewed for each of the following fields: colorectal polyps, pneumothorax, pulmonary embolism, osteoporosis, aneurysms, multiple sclerosis, acute cerebrovascular accident, intracranial hemorrhage, burns, and the risk of intrauterine growth restriction. Thirty-five (92%) meta-analyses assessed the risk of bias. Twenty-eight (80%) meta-analyses utilized QUADAS-2 to assess the risk of bias. 14 out of 28 papers reported low risk of bias (50%); 4 (14%) – moderate; 10 (36%) – high. The major risks were associated with samples that were unbalanced in terms of size and composition, a lack of details about the methods, a low number of prospective studies, and a lack of external validation of the outcomes. The overall results indicate that the diagnostic accuracy of AI is comparable to or even greater than that of radiologists. The mean sensitivity, specificity and area under the ROC curve for AI and radiologists were 85.2%, 89.5%, 93.5% and 84.4%, 90.0%, 92.8%, respectively. However, many studies that compared the diagnostic accuracy of AI and radiologists lack the data on the number and experience of the latter. Only one paper presented results of implementing AI into routine clinical diagnosis.

Discussion. AI is capable of reducing the turnaround time for non-urgent examinations. When used to verify the primary interpretation, AI was effective in detecting false-negative results from radiologists. However, the efficacy of detecting false-positive results was inadequate. Our assessment of the quality of systematic reviews with AMSTAR-2 show that the methods of searching, selecting and analyzing literature must be improved and brought to a common standard. The development of a specialized tool for assessing the quality of systematic reviews in the AI implementation is also necessary. Due to high diagnostic accuracy, AI is currently considered a promising tool for optimizing the turnaround time. However, more evidence is needed to study the AI outcomes in routine clinical practice. Furthermore, it is necessary to standardize and improve the quality of research methodology.

Keywords: artificial intelligence; diagnostic accuracy; meta-analysis; medical imaging

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

For citation: Vasiliev Y.A., Vladzimirskyy A.V., Omelyanskaya O.V., Reshetnikov R.V., Blokhin I.A., Kodenko M.R., Nanova O.G. Review of meta-analyses on the use of artificial intelligence in radiology. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 22–41. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1425>

Received: 28.12.2023.

Accepted for publication: 04.04.2024.

Published online: 08.07.2024.



Введение

Искусственный интеллект (ИИ) – современный и мощный инструмент автоматизированной обработки лучевых исследований [1, 2]. Число исследований в области применения ИИ для решения диагностических задач стремительно растет, причем во многих исследованиях отмечаются высокая диагностическая точность ИИ и потенциал для его внедрения в клиническую практику [1, 2]. Впрочем, качество данных и используемые методики оценки диагностической точности зачастую вызывают сомнения. Кроме того, возникает вопрос, насколько в действительности ИИ может повысить качество и скорость диагностики по сравнению с врачами: подобные данные, хотя и представлены в литературе, крайне разнородны [3].

Стремительное развитие данной области сопровождается ростом публикаций и, как следствие, попытками систематизации данных [4, 5]: накопилось значительное число систематических обзоров и метаанализов диагностической точности ИИ в самых разных областях медицины [6]. Впрочем, унификация подходов при анализе данных остается актуальной задачей, что объясняет необходимость одновременного систематического рассмотрения области применения и разнообразия подходов, а также выявления основных проблемных точек с целью дальнейшей унификации проведения и представления результатов исследований в области ИИ.

Цель исследования: зонтичный систематический обзор существующих метаанализов применения ИИ в лучевой диагностике.

Методы

Исследование проводилось в соответствии с методологией PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews) [7]. Дизайн исследования – зонтичный систематический обзор литературы.

Стратегия литературного поиска

Поиск осуществлялся по англоязычным статьям в базе PubMed и был ограничен временным интервалом 2021–2023 гг.

Поисковый запрос выглядел следующим образом:

“systematic review * OR meta-analysis * AND Neoplasm* OR Neoplasm, Lung* OR Radiotherapy * OR Cancer* OR Cancer, Lung* OR Pneumothorax* OR Fracture Detection* OR Fractures* OR bone* OR liver lesion* OR Thyroid nodule* OR Brain* OR Aneurysm* OR Lymph node* OR Metastasis OR Osteoporosis OR Cervical Cancer OR dentistry” AND “Intelligence,

Artificial OR Computational Intelligence OR Intelligence, Computational OR Machine Intelligence OR Intelligence, Machine OR Computer Reasoning OR Reasoning, Computer OR AI (Artificial Intelligence) OR Computer Vision Systems OR Computer Vision System OR System, Computer Vision OR Systems, Computer Vision OR Vision System, Computer OR Vision Systems, Computer OR Knowledge Acquisition (Computer) OR Neural network”.

Критерии включения: метаанализы диагностической точности ИИ в лучевой диагностике.

Названия и аннотации найденных статей были независимо проанализированы двумя экспертами, по результатам была сформирована выборка для полнотекстового анализа. В качестве экспертов выступали научные сотрудники с опытом работы в лучевой диагностике и медицинской информатике более 5 лет. В случае расхождений относительно включения статьи в анализ привлекался третий эксперт – научный сотрудник с опытом работы в лучевой диагностике и медицинской информатике более 10 лет.

Извлечение информации и оценка

методологического качества исследований

Из полных текстов отобранных статей была извлечена следующая информация:

1) библиометрические данные (имя первого автора, название статьи, год выхода, DOI, название журнала, импакт-фактор журнала, страна проведения исследования);

2) параметры включенных исследований (модальность, объем выборки, доля проспективных исследований, наличие тестирования на внешних данных);

3) метрики качества включенных исследований (риск систематической ошибки, неоднородность данных, объективность критериев включения статей в обзор – “publication bias”);

4) значения диагностической точности ИИ; результаты сравнения диагностической точности ИИ с диагностической точностью врачей; информация по числу врачей и уровню их квалификации;

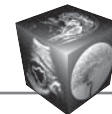
5) результаты внедрения.

Для оценки качества включенных систематических обзоров был использован инструмент AMSTAR-2 (A MeaSurement Tool to Assess systematic Reviews) [8].

Результаты

Поиск литературы и отбор работ

Результаты поискового запроса включали 2855 источников, для которых был проведен первичный анализ названий и аннотаций. В результа-



те применения критериев включения было исключено 2817 работ, которые не являлись обзорами либо принадлежали к иным предметным областям: медицина животных и гуманитарные науки. В итоговый анализ включено 38 метаанализов (табл. 1).

Базовые характеристики включенных исследований

Базовые характеристики отобранных для обзора статей приведены в Приложении 1: <https://medvis.vidar.ru/jour/article/view/1425> – дополнительные файлы.

Из отобранных 38 систематических обзоров 10 выполнены в Китае, 5 – в Великобритании, 4 – в Европе (Германия + Греция, Италия, Румыния, Дания), 3 – в Иране; по 2 из Тайваня, Бразилии и Австралии, по одной работе из Японии, Сингапура, Таиланда, Кореи, Израиля, Саудовской Аравии и Канады. Одна работа – результат сотрудничества Кореи, Европы (Швеция + Австрия), Великобритании; 1 – сотрудничество Великобритании и Европы (Австрия); 1 – сотрудничество Канады и Китая. В Азии выполнено 55% всех систематических обзоров, в Европе – 26%, в Америке – 8%, в Австралии – 5%. В сотрудничестве между учеными Азии и Европы выполнено 3% обзоров, между Азией и Америкой – 3%.

Самые высокорейтинговые публикации были в журналах:

- 1) *“Radiology”* с импакт-фактором 19,7: [9] – работа выполнена в сотрудничестве ученых Азии и Европы, [10, 11] – обе работы выполнены в Европе;
- 2) *eClinicalMedicine* с импакт-фактором 15,1: [12] – работа выполнена в Азии;
- 3) *JAMA Netw Open* с импакт-фактором 13,8: [13] – работа выполнена в Америке.

Параметры включенных исследований

18 (47%) метаанализов из 38 посвящены онкологическим исследованиям (рис. 1): из них (рис. 2) злокачественным опухолям пищеварительной системы – 5 (28%) работ, дыхательной системы – 4 (22%), репродуктивной системы – 4 (22%), нервной системы – 2 (11%), эндокринной системы – 2 (11%), злокачественным опухолям брюшинного пространства – 1 (6%).

4 (11%) метаанализа посвящены диагностике поражений мозга: 1 – диагностике рассеянного склероза; 1 – обнаружению аневризм; 1 – раннему обнаружению инсульта; 1 – обнаружению внутричерепного кровоизлияния. 4 (11%) метаанализа выполнены в области стоматологии, из них 3 посвящены обнаружению и сегментации структур и 1 – принятию решений об удалении зубов. 3 (8%)

метаанализа посвящены диагностике поражений легких, вызванных COVID-19, 1 (3%) – обнаружению легочной эмболии и 1 (3%) – обнаружению пневмоторакса, 3 (8%) – диагностике переломов, где большая часть исследований выполнена на конечностях, 1 (3%) – диагностике остеопорозов, 1 (3%) – диагностике колоректальных полипов, 1 (3%) – диагностике ожогов (их глубине, сегментации ожогов и предсказанию смертности), 1 (3%) – оценке риска задержки внутриутробного развития.

В большинство метаанализов – 20 (53%) из 38 – включены исследования нескольких разных модальностей (рис. 3), в остальные 18 (43%) – исследования только одной модальности.

Компьютерная томография (КТ) использована в 17 (45%) метаанализах из 38. Из них как единственный метод КТ использована в 3 метаанализах. В остальных 14 метаанализах наряду с КТ включены и другие методы: рентгенография [11, 14–16]; рентгенография грудной клетки [17, 18]; цифровой томосинтез [18]; ПЭТ/КТ [19–21]; магнитно-резонансная томография (МРТ) [20–26]; эндоскопия [25]; низкодозная КТ [14]; ультразвуковое исследование (УЗИ) [12].

МРТ использована в 11 (29%) метаанализах из 38. Из них как единственный метод МРТ рассматривается в 3 метаанализах. В остальных 8 метаанализах наряду с МРТ включены и другие методы.

Рентгенография использована в 6 (16%) метаанализах [11, 13–16, 27], при этом в одном из них – как единственный метод [13].

Рентгенография грудной клетки [17, 18, 28, 29] использована в 4 (11%) метаанализах, при этом в двух из них – как единственный метод [28, 29].

ПЭТ/КТ [19–21] использовали в 2 (5%) метаанализах совместно с КТ.

Для диагностики злокачественных опухолей молочной железы использовали цифровую маммографию в 2 (5%) метаанализах [9, 10]. В одном из этих метаанализов [9] наряду с цифровой маммографией использовали также томосинтез.

Томосинтез использовали в 2 (5%) метаанализах совместно с маммографией [9] и КТ [18].

УЗИ использовано в 6 (16%) метаанализах [12, 26, 30–33], а как единственный метод – в 4 метаанализах [12, 30, 32].

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) использована в 3 (8%) стоматологических метаанализах [27, 34, 35], из них как единственный метод – в 2 метаанализах [34, 35].

В 1 (3%) метаанализе [36], посвященном обнаружению легочной эмболии, использовали исключительно КТ-ангиографию.



Таблица 1. Список включенных в обзор метаанализов

Table 1. List of meta-analyses are included in the review

№	Первый автор, год First author, year	Название Title	Журнал Journal	Импакт- фактор Impact Factor
1	J.H. Yoon et al., 2023 [9]	Standalone AI for breast cancer detection at screening digital mammography and digital breast tomosynthesis: a systematic review and meta-analysis	<i>Radiology</i>	19.70
2	S.E. Hickman et al., 2023 [10]	Machine learning for workflow applications in screening mammography: systematic review and meta-analysis	<i>Radiology</i>	19.70
3	L.T. Thong et al., 2023 [18]	Diagnostic test accuracy of artificial intelligence-based imaging for lung cancer screening: a systematic review and meta-analysis	<i>Lung Cancer</i>	9.5
4	X. Zheng et al., 2022 [21]	Diagnostic accuracy of deep learning and radiomics in lung cancer staging: a systematic review and meta-analysis	<i>Front. Public Health</i>	6.45
5	M. Liu et al., 2023 [55]	The value of artificial intelligence in the diagnosis of lung cancer: a systematic review and meta-analysis	<i>PLoS ONE</i>	3.75
6	T. Sugibayashi et al., 2023 [17]	Deep learning for pneumothorax diagnosis: a systematic review and meta-analysis	<i>Eur. Respirat. Rev.</i>	9.55
7	R.Y.L. Kuo et al., 2022 [11]	Artificial intelligence in fracture detection: a systematic review and meta-analysis	<i>Radiology</i>	19.70
8	X. Zhang et al., 2022 [16]	Diagnostic accuracy and potential covariates of artificial intelligence for diagnosing orthopedic fractures: a systematic literature review and meta-analysis	<i>Eur. Radiol.</i>	7.03
9	J.R. Lex et al., 2023 [13]	Artificial intelligence for hip fracture detection and outcome prediction	<i>JAMA Network Open</i>	13.80
10	P. Potipimpanon et al., 2022 [32]	A comparison of artificial intelligence versus radiologists in the diagnosis of thyroid nodules using ultrasonography: a systematic review and meta analysis	<i>Eur. Arch. of Oto-Rhino-Laryngol.</i>	3.24
11	C.A. Campello et al., 2023 [30]	Machine learning for malignant versus benign focal liver lesions on US and CEUS: a meta analysis	<i>Abdom. Radiol.</i>	2.89
12	F. Nabizadeh et al., 2023 [46]	Diagnostic performance of artificial intelligence in multiple sclerosis: a systematic review and meta analysis	<i>Neurol. Sci.</i>	3.83
13	M.Din et al., 2023 [25]	Detection of cerebral aneurysms using artificial intelligence: a systematic review and meta-analysis	<i>J. NeuroIntervent. Surg.</i>	8.57
14	M.D. Jørgensen et al., 2023 [56]	Convolutional neural network performance compared to radiologists in detecting intracranial hemorrhage from brain computed tomography: A systematic review and meta-analysis	<i>Eur. J. Radiol.</i>	4.53
15	H.Y. Kim et al., 2021 [43]	Classification of true progression after radiotherapy of brain metastasis on MRI using artificial intelligence: a systematic review and meta-analysis	<i>Neuro-Oncology Advances.</i>	2.80
16	A. Adamou et al., 2023 [45]	Artificial intelligence-driven ASPECTS for the detection of early stroke changes in non-contrast CT: a systematic review and meta-analysis	<i>J. NeuroIntervent. Surg.</i>	8.57
17	S. Agarwal et al., 2023 [22]	Systematic review of Artificial Intelligence for abnormality detection in high-volume neuroimaging and subgroup meta-analysis for intracranial hemorrhage detection	<i>Clin. Neuroradiol.</i>	3.16
18	S. Bedrikovetski et al., 2021a [23]	Artificial intelligence for pre-operative lymph node staging in colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis	<i>BMC Cancer</i>	4.40
19	S. Soffer et al., 2023 [36]	Deep learning for pulmonary embolism detection on computed tomography pulmonary angiogram: a systematic review and meta analysis	<i>Sci. Reports</i>	5.00
20	C. Yang et al., 2022 [40]	Deep learning in CT image segmentation of cervical cancer: a systematic review and meta analysis	<i>Radiation Oncology</i>	3.48

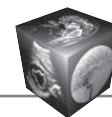


Таблица 1 (окончание).

Table 1 (end).

№	Первый автор, год First author, year	Название Title	Журнал Journal	Импакт- фактор Impact Factor
21	L. Gao et al., 2021 [14]	Application of artificial intelligence in diagnosis of osteoporosis using medical images: a systematic review and meta-analysis	<i>Osteoporosis International</i>	4.6
22	R. Rescinito et al., 2023 [33]	Prediction models for Intrauterine growth restriction using Artificial Intelligence and Machine Learning: a systematic review and meta-analysis	<i>Healthcare</i>	2.01
23	Q. Wang et al., 2022 [29]	Diagnostic performance of corona virus disease 2019 chest computer tomography image recognition based on deep learning Systematic review and meta-analysis	<i>Medicine</i>	1.60
24	T.N. Poly et al., 2021 [15]	Application of Artificial Intelligence for screening COVID-19 patients using digital images: meta-analysis	<i>JMIR Med. Inform</i>	3.23
25	T.E. Komolafe et al., 2023 [28]	Diagnostic test accuracy of deep learning detection of COVID-19: a systematic review and meta-analysis	<i>Acad. Radiol.</i>	5.48
26	F. Abesi et al., 2023 [34]	Accuracy of artificial intelligence in the detection and segmentation of oral and maxillofacial structures using cone-beam computed tomography images: a systematic review and meta-analysis	<i>Polish J. Radiol.</i>	1.20
27	F.F. Badr, F.M. Jadu, 2022 [35]	Performance of artificial intelligence using oral and maxillofacial CBCT images: a systematic review and meta-analysis	<i>Nigerian J. Clin. Pract.</i>	1.12
28	W. Xing et al., 2023 [20]	Artificial intelligence predicts lung cancer radiotherapy response: a meta-analysis	<i>Artif. Intell. Med.</i>	7.01
29	N. Menon et al., 2023 [19]	Performance of radiomics-based artificial intelligence systems in the diagnosis and prediction of treatment response and survival in esophageal cancer: a systematic review and meta-analysis of diagnostic accuracy	<i>Dis. Esophagus</i>	2.60
30	B.G. Taib et al., 2023 [39]	Artificial intelligence in the management and treatment of burns: A systematic review and meta-analyses	<i>J. Plast. Reconstructive & Aesthetic Surg.</i>	2.90
31	S. Sadr. et al., 2023 [27]	Deep Learning for detection of periapical radiolucent lesions: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy	<i>J. Endodont.</i>	4.42
32	M. Islam et al., 2022 [37]	Deep Learning for the diagnosis of esophageal cancer in endoscopic images: a systematic review and meta-analysis	<i>Cancers</i>	5.20
33	K. Evangelista et al., 2022 [57]	Accuracy of artificial intelligence for tooth extraction decision making in orthodontics: a systematic review and meta analysis	<i>Clin. Oral Invest.</i>	3.61
34	Y. Xue et al., 2022 [12]	Accuracy of ultrasound diagnosis of thyroid nodules based on artificial intelligence-assisted diagnostic technology: a systematic review and meta-analysis	<i>Int J Endocrinol.</i>	2.80
35	H.-L. Xu et al., 2022 [26]	Artificial intelligence performance in image-based ovarian cancer identification: a systematic review and meta-analysis	<i>eClinicalMedicine</i>	15.1
36	E.A. Dumitrescu et al., 2022 [31]	Diagnostic value of artificial intelligence-assisted endoscopic ultrasound for pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis	<i>Diagnostics</i>	3.61
37	S. Bedrikovetski et al., 2021b [24]	Artificial intelligence for the diagnosis of lymph node metastases in patients with abdominopelvic malignancy: a systematic review and meta-analysis	<i>Artif. Intell. Med.</i>	7.01
38	Y. Xu et al., 2021 [38]	Comparison of diagnostic performance between convolutional neural networks and human endoscopists for diagnosis of colorectal polyp: a systematic review and meta-analysis	<i>PLoS ONE</i>	3.75



Рис. 1. Распределение (%) направлений исследований.

Fig. 1. Distribution (%) of research areas.



Рис. 2. Распределение (%) исследованных систем органов в метаанализах онкологической направленности.

Fig. 2. Distribution (%) of organ systems studied in oncology meta-analyses.

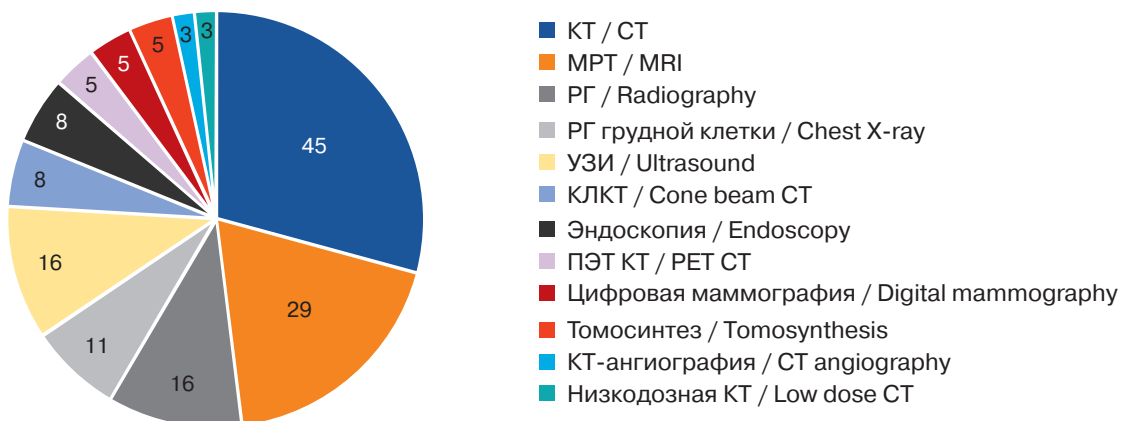
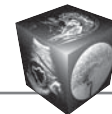


Рис. 3. Распределение (%) модальностей, использованных в метаанализах.

Fig. 3. Distribution (%) of modalities used in meta-analyses.



Методы эндоскопии использовали в 3 (8%) метаанализах [25, 37, 38], в метаанализе [25] наряду с КТ и МРТ; в остальных двух метаанализах – как единственный метод.

В 2 (5%) обзорах нет данных по модальности изображений.

Оценка качества методологии

Число статей в метаанализах варьирует от 5 [36] до 63 [17], среднее значение 19,5, медиана 16,5, стандартное отклонение 12,7. Число пациентов в одном исследовании варьирует от 14 до 538 390 человек. Общее число пациентов, включенных в один метаанализ, варьирует от 443 [19] до 714 939 [13], среднее значение 128 762, медиана 17 429, стандартное отклонение 218 870. Из 9 (24%) метаанализов не удалось извлечь информацию об общем числе пациентов по следующим причинам. В двух метаанализах не указано общее число изученных пациентов, но указаны интервалы разброса числа пациентов: [17] – медиана 5288, интерквартильный интервал 516–30 805, интервал минимальных и максимальных значений 100–538 390; [11] – медиана 1169, интерквартильный интервал 425–2417, интервал минимальных и максимальных значений 65–21 456. В пяти метаанализах [28, 30, 35, 39, 40] приведено распределение числа пациентов в отдельных исследованиях по выборкам (например, обучающая, тестовая), но не ясно, перекрывались ли эти выборки или нет, неизвестно число пациентов в выборках, использованных для валидации. В обзоре [30] приведена информация по числу пациентов только для обучающих выборок, в обзоре [39] для большинства включенных исследований дано только соотношение долей числа пациентов между обучающей и тестовой выборками. В двух метаанализах, выполненных в области стоматологии [27, 34], не приведена информация по числу пациентов, а дана информация по числу использованных изображений: [34] – 102–2126 изображений, [27] – 1300–3900 изображений, либо по числу анатомических структур: [34] – 30–500 зубов. В двух метаанализах – [23] (опубликован в BMC Cancer с импакт-фактором 4,40) и [38] (опубликован в PlosOne с импакт-фактором 3,75) не приведены данные по объему выборок.

В 35 (92%) метаанализах из 38 приведены оценки риска систематической ошибки. В 3 метаанализах [13, 34, 37] эти оценки не приведены. В 13 метаанализах (37%) из 35 риск систематической ошибки оценен как высокий, как средний – в 4 (12%), как низкий – в 18 (51%) метаанализах.

Для оценки риска систематической ошибки инструмент QUADAS-2 (Приложение 2: [\[medvis.vidar.ru/jour/article/view/1425\]\(https://medvis.vidar.ru/jour/article/view/1425\) – дополнительные файлы\) \(<https://www.bristol.ac.uk/population-health-sciences/projects/quadas/quadas-2/>\) \[41\] использовали в 28 \(80%\) метаанализах из 35. В одном из этих 28 метаанализов использовали модифицированный опросник QUADAS-AI \[12\]. Из 28 метаанализов риск систематической ошибки по QUADAS-2 оценен как низкий в 14 обзорах \(50%\), как средний – в 4 \(14%\), как высокий – в 10 \(36%\) обзорах. В 10 обзорах, где риск систематической ошибки оценен как высокий, риски анализа связаны с отбором пациентов \(patient selection\) – 8 метаанализов; индексным тестом \(index test\) – 4 метаанализа; референсным стандартом \(reference standard\) – 2 метаанализа; ходом и временем исследования \(flow and timing\) – 1 метаанализ. Вопросы применимости доказательств \(applicability concerns\) связаны с отбором пациентов – в двух метаанализах, индексным тестом – в одном метаанализе.](https://</p></div><div data-bbox=)

Еще в 2 (5%) метаанализах [11, 17] для оценки рисков систематической ошибки использовали инструмент PROBAST (Prediction Model Study Risk of Bias Assessment Tool). В обоих случаях риски систематической ошибки оценены как высокие из-за отсутствия как внешней, так и внутренней валидации на маленьких выборках [11, 17], неподходящих критериям включения и исключения [11, 17].

Другие инструменты оценки риска систематической ошибки использованы в четырех метаанализах: TRIPOD tool [40] – высокий риск систематической ошибки из-за отсутствия данных по валидации и применимости результатов сегментации ИИ в клинических исследованиях; JBI (Joanna Briggs Institute) critical appraisal tool and the CASP (Critical Appraisal Skills Programme) tool [33], Cochrane tool to assess the risk of bias [35], Newcastle-Ottawa Scale (NOS) [20] – низкий риск систематической ошибки. В обзоре [20] использовали два инструмента QUADAS-2 и NOS, оба инструмента показали низкий риск систематической ошибки.

Из 5 метаанализов, включавших и радиомические параметры [20, 21, 23, 24, 43], в одном [43] была проведена специализированная оценка качества радиомики RQS (<https://www.radiomics.world/rqs2>) [42]. В обзоре [43] оценили качество радиомики как низкое (4 балла из 36) из-за низкой детализации протоколов исследований, отсутствия валидации и закрытости данных.

Наличие либо отсутствие проспективных исследований отмечено в 17 (45%) метаанализах из 38. Из них в 7 (41%) метаанализах проспективные исследования отсутствуют. В остальных 10 метаанализах доля проспективных исследований варьи-



рует от 5 до 50% от общего числа включенных в обзоры исследовательских статей.

Наличие либо отсутствие исследований с использованием валидации результатов на внешних данных отмечено в 14 (37%) метаанализах из 38. Из них в 2 (14%) метаанализах исследования с внешней валидацией отсутствуют. В остальных 12 метаанализах доля исследований с валидацией результатов на внешних данных варьирует от 3 до 71% от общего числа включенных в метаанализы исследовательских статей.

Оценку предвзятости публикаций (publication bias risk) проводили в 22 (58%) метаанализах из 38 по стандартной методике теста Эггера (Egger's test) с помощью оценки асимметрии воронкообразного графика (funnel plot asymmetry). Из них риск предвзятости публикаций оценен как высокий в 6 (27%) метаанализах и как низкий – в 16 (73%) метаанализах.

Оценку неоднородности (heterogeneity) диагностических статистик проводили в 35 (92%) метаанализах из 38 с использованием I^2 индекса. Из них в 28 (80%) метаанализах уровень неоднородности высокий, в 4 (11%) метаанализах – низкий. В обзоре [23] обнаружили высокий уровень неоднородности для радиомических исследований и низкий – для исследований, использовавших глубокое машинное обучение. В обзоре [40] обнаружили высокий уровень неоднородности для исследований прямой кишки и низкий уровень – для исследований мочевого пузыря и CTV (clinical target volume). В обзоре [24] обнаружили высокий уровень неоднородности для радиомических данных и низкий уровень – для оценок рентгенологов.

Оценка качества методологии систематических обзоров по AMSTAR-2

Из 16 вопросов инструмента AMSTAR-2 к систематическим обзорам в области диагностической точности применимо 9 вопросов. Результаты представлены в Приложении 3: <https://medvis.vidar.ru/jour/article/view/1425> – дополнительные файлы.

В 20 (53%) из 38 включенных систематических обзоров отмечено, что протокол разработан до проведения исследования и исследования проспективно зарегистрированы в системе PROSPERO (International Prospective Register of Systematic Reviews, <https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/>) [44].

Требования к поиску литературы выполнены частично во всех включенных систематических обзорах. Во всех систематических обзорах проводили поиск работ более чем в двух базах данных, авторы подробно описывают поисковую страте-

гию и использованные ключевые слова и приводят критерии исключения, в том числе и языковые. Помимо публикаций в рецензируемых журналах, серую литературу использовали в 1 (3%) включенном систематическом обзоре [10]. Также, помимо поиска статей в базах данных, поиск ссылок в списках литературы отобранных публикаций, т.н. snowballing, использовали в 13 (34%) из 38 систематических обзоров [10, 14, 15, 19, 22, 24, 27, 31, 34, 38, 45, 46]. Авторы систематических обзоров контактировали с авторами исследований для уточнения информации в 2 (5%) из 38 случаев [18, 31].

Поиск и отбор литературы для систематического обзора осуществляли не менее двух авторов в 31 (82%) из 38 случаев, еще один автор выступал в качестве арбитра. Степень согласованности между авторами в отборе исследований не оценивали ни в одном систематическом обзоре.

Извлечение информации из отобранных статей осуществляли не менее двух авторов в 31 (82%) из 38 систематических обзоров, третий автор выступал в качестве арбитра. Степень согласованности между авторами в извлечении информации не оценивали ни в одном обзоре.

Ни в одном из включенных систематических обзоров не было приведено списка исключенных исследований. Также ни в одном из включенных систематических обзоров не было приведено источников финансирования исследований, включенных в систематический обзор.

Исследовали причины неоднородности диагностических оценок (например, с использованием метарегрессии) и обсуждали возможные причины этой неоднородности в 24 (63%) из 38 систематических обзоров. Еще в 4 (11%) из 38 систематических обзоров уровень неоднородности оценен как низкий.

Возможность риска предвзятости отобранных публикаций обсуждается в 25 (66%) из 38 систематических обзоров, из них в 22 метаанализах количественную оценку предвзятости публикаций проводили по стандартной методике теста Эггера (Egger's test) с помощью оценки асимметрии воронкообразного графика (funnel plot asymmetry).

Авторы 30 (79%) систематических обзоров из 38 сообщают о конфликте интересов или его отсутствии.

Диагностическая точность ИИ

В качестве основных диагностических параметров чувствительность, специфичность и площадь под ROC-кривой (ROC AUC) используются в 35 (92%) из 38 метаанализов (табл. 2). Совместно все три критерия приведены в 23 метаанализах.

**Таблица 2.** Диагностические параметры ИИ из метаанализов: чувствительность, специфичность, ROC AUC**Table 2.** Diagnostic parameters of AI from meta-analyses: sensitivity, specificity, ROC AUC

Первый автор, год First author, year	Чувствительность ИИ, % Sensitivity of AI, %	Специфичность ИИ, % Specificity of AI, %	ROC AUC ИИ, % ROC AUC of AI, %
J.H. Yoon et al., 2023 [9]	80.6 (95% CI 74.3–85.7)	85.7 (95% CI 74.1–92.6)	87.0–90.0 (min–max)
S.E. Hickman et al., 2023 [10]	75.4 (95% CI 65.6–83.2)	90.6 (95% CI 82.9–95.0)	89.0 (95% CI 84.0–98.0)
L.T. Thong et al., 2023 [18]	94.6 (95 % CI 91.4–96.7)	93.6 (95 % CI 88.5–96.6)	
X. Zheng et al., 2022 [21]	66.1–83.8 (min–max)	59.8–77.4 (min–max)	79.0 (95% CI 77.0–82.0)– 83.0 (95% CI 78.0–88.0)
M. Liu et al., 2023 [55]	87.0 (95% CI 82.0–90.0)	87.0 (95% CI 82.0–91.0)	93.0 (95% CI 91.0–95.0)
T. Sugibayashi et al., 2023 [17]	84.0 (95% CI 79.0–89.0)	96.0 (95% CI 94.0–98.0)	97.0 (95% CI 96.0–98.0)
R.Y.L. Kuo et al., 2022 [11]	91.0 (95% CI 84.0–95.0)	91.0 (95% CI 81.0–95.0)	96.0 (95% CI 94.0– 98.0)
X. Zhang et al., 2022 [16]	90.0 (95% CI 87.0–92.0)	92.0 (95% CI 90.0–94.0)	97.0 (95% CI 95.0–98.0)
J.R. Lex et al., 2023 [13]	89.3 (std 8.5)	87.5% (std 9.9)	
P. Potipimpanon et al., 2022 [32]	86.0 (95% CI 81.0–91.0)	78.0 (95% CI 73.0–83.0)	89.0 (95% CI 86.0–92.0)
C.A. Campello et al., 2023 [30]	81.7 (95% CI 77.2–85.4)	84.8% (95% CI 76.0–90.8)	
F. Nabizadeh et al., 2023 [46]	92.0 (95%CI 90.0–95.0)	93.0 (95%CI 90.0–96.0)	93.0 (95%CI 89.0–96.0)
M. Din et al., 2023 [25]	91.2% (95% CI 82.2%–95.8)		93.6
M.D. Jørgensen et al., 2023 [56]	96.0 (95% CI 93.0–97.0)	97.0 (95% CI 90.0–99.0)	98.0 (95% CI 97.0–99.0)
H.Y. Kim et al., 2021 [43]	77.0 (95% CI 70.0–83.0)	74.0 (95% CI 64.0–82.0)	
A. Adamou et al., 2023 [45]			
S. Agarwal et al., 2023 [22]	90.0 (95% CI 85.0–94.0)	90.0 (95% CI 83.0–95.0)	80.0–99.1
S. Bedrikovski et al., 2021a [23]			80.8 (95% CI 73.9–87.6)– 91.7 (95% CI 88.2–95.2)
S. Soffer et al., 2023 [36]	88.0 (95% CI 80.3–92.7)	86.0 (95% CI 75.6–92.4)	85.0–95.0
C. Yang et al., 2022 [40]			
L. Gao et al., 2021 [14]	96.0 (95% CI 93.0–100.0)	95.0 (95% CI 91.0–99.0)	86.0–100.0
R. Rescinito et al., 2023 [33]	84.0 (95% CI 80.0–88.00)	87.0 (95% CI 83.0–90.0)	
Q. Wang et al., 2022 [29]	87.0 (95% CI 85.0–89.0)	85.0 (95% CI 82.0–87.0)	94.0 (95% CI 91.0–96.0)
T.N. Poly et al., 2021 [15]	95.0 (95% CI 94.0–95.0)	96.0 (95% CI 96.0–97.0)	98.0
T.E. Komolafe et al., 2023 [28]	91.0 (95% CI 88.0–93.0)	92.0 (95% CI 88.0–94.0)	95.0 (95% CI 88.0–92.0)
F. Abesi et al., 2023 [34]			
F.F. Badr, F.M. Jadu, 2022 [35]	93.0 (95% CI 84.0–97.0)		
W. Xing et al., 2023 [20]			75.0 (95 % CI 67.0–84.0)
N. Menon et al., 2023 [19]	86.5 (95% CI 81.1–90.6) – 86.7 (95% CI 81.4–90.7)	76.1 (95% CI 69.9–81.4) – 87.1 (95% CI 78.0–92.8)	
B.G. Taib et al., 2023 [39]	90.8–97.9	84.4–97.6	
S. Sadr. et al., 2023 [27]	92.5 (95% CI 86.2–96.0)	85.2 (95% CI 81.0–88.5)	
M. Islam et al., 2022 [37]	93.8	91.7	96.0
K. Evangelista, et al., 2022 [57]	84.0 (95% CI 58.0–100.0)	89.0 (95% CI 74.0–98.0)	92.0 (95% CI 72.0–100.0)
Y. Xue et al., 2022 [12]	88.0 (95% CI 85.0–90.0)	81.0 (95% CI 74.0–86.0)	92.0 (95% CI 89.0–94.0)
H.-L. Xu et al., 2022 [26]	88.0 (95%CI 85.0–90.0)	85.0 (95%CI 82.0–88.0)	93.0 (95% CI 91.0–95.0)
E.A. Dumitrescu et al., 2022 [31]	92.0 (95% CI 89.0–95.0)	90.0 (95% CI 83.0–94.0)	95.0
S. Bedrikovski et al., 2021b [24]	72.0–100.0	56.6–76.2	79.8–89.5
Y. Xu et al., 2021 [38]	84.8 (95% CI 69.2–93.2)– 94.3 (95% CI 92.7–95.5)	89.4 (95% CI 63.1–97.7)– 96.5 (95% CI 94.6–97.7)	95.0 (95% CI 93.0–97.0)– 98.0 (95% CI 96.0–99.0)



Таблица 3. Диагностическая точность ИИ и врачей
Table 3. Diagnostic accuracy of AI and physicians

Первый автор, год First author, year	Область исследования Field of study	Модальность Modality	Диагностик Diagnostician	Чувствительность, ИИ/Врач Sensitivity, AI/Physician	Достоверность различий для чувствительности ИИ/врач Significance of differences for sensitivity AI/Physician p-level
J.H. Yoon et al., 2023 [9]	Диагностика злокачественных новообразований молочной железы Diagnostics of malignant neoplasms of the breast	Цифровая маммография и томосинтез Digital mammography and tomosynthesis	ИИ / AI Врач / Physician	80.6 (95% CI 74.3–85.7) 73.6 (95% CI 68.7–78.0)	0.031
S.E. Hickman et al., 2023 [10]	Диагностика злокачественных новообразований молочной железы Diagnostics of malignant neoplasms of the breast	Цифровая маммография Digital mammography	ИИ / AI Врач / Physician	75.4 (95% CI 65.6–83.2) 73.0 (95% CI 60.7–82.6)	0.70
T. Sugibayashi et al., 2023 [17]	Диагностика пневмоторакса Diagnostics of pneumothorax	Рентгенография грудной клетки (59), КТ (4) Chest X-ray (59), CT (4)	ИИ / AI	84.0 (95% CI 79.0–89.0) 85.0 (95% CI 73.0–92.0)	
R.Y.L. Kuo et al., 2022 [11]	Диагностика переломов Diagnostics of fractures	КТ (2), рентгенография (30) CT (2), radiography (30)	ИИ / AI Врач / Physician	91.0 (95% CI 84.0–95.0) 94.0 (95% CI 90.0–96.0)	
X. Zhang et al., 2022 [16]	Диагностика переломов Diagnostics of fractures	КТ (5), рентгенография (34) CT (5), radiography (34)	ИИ / AI Врач / Physician	90.0 (95% CI 87.0–92.0) 90.0 (95% CI 85.0–93.0)	
P. Potipimranon et al., 2022 [32]	Диагностика узлов щитовидной железы Diagnostics of thyroid nodules	УЗИ Ultrasonography (US)	ИИ / AI	86.0 (95% CI 81.0–91.0) 85.0 (95% CI 80.0–89.0)	
C.A. Campello et al., 2023 [30]	Диагностика злокачественных новообразований печени Diagnostics of malignant liver tumors	УЗИ, УЗИ с контрастным усилением US, Contrast-enhanced US	ИИ (натив) / AI (native) Врач (контраст) / Physician (contrast)	81.7 (95% CI 77.2–85.4) 87.1% (95% CI 81.8–91.0)	
T.N. Poly et al., 2021 [15]	Диагностика COVID-19 Diagnostics of COVID-19	КТ (8), рентгенография (8) CT (8), RG (8)	ИИ / AI Врач / Physician	95.0 (95% CI 94.0–95.0) 95% CI 75.0–89.0	
S. Bedrikovetski et al., 2021b [24]	Диагностика метастазов в лимфатические узлы у больных со злокачественными новообразованиями брюшной полости Diagnostics of metastases to the lymph nodes in patients with malignant neoplasms of the abdominal cavity	КТ (10), МРТ (10) CT (10), MRI (10)	ИИ / AI	72.0–100.0 43.2–77.9	
Y. Xu et al., 2021 [38]	Детекция колоректальных полипов Detection of colorectal polyps	Эндоскопия Endoscopy	ИИ, детекция / AI, detection ИИ, классификация / AI, classification Врач–эксперт, классификация / Expert, classification Врач–неэксперт, объединенное / Non expert, united	84.8 (95% CI 69.2–93.2) 94.3 (95% CI 92.7–95.5) 94.4 (95% CI 89.2–97.2) 85.9 (95% CI 76.9–91.8)	



Диагностик Diagnostician	Специфичность, ИИ/Врач Specificity, AI/Physician	Достоверность различий специфичности ИИ/врач Significance of differences for specificity AI/Physician p-level	ROC AUC ИИ/Врач ROC AUC AI/Physician	Достоверность различий ROC AUC для ИИ/Врач Significance of differences for ROC AUC AI/Physician p-level	Число врачей и их опыт Number of physicians and their experience
ИИ / AI Врач / Physician	85.7 (95% CI 74.1–92.6) 89.6% (95% CI 82.7–93.9)	0.221	87.0–90.0 81.0–96.0	0.152	Число врачей 2–24 (min–max), общее число врачей–143, опыт не указан Number of physicians 2–24 (min–max), total number–143, experience is not specified
ИИ / AI Врач / Physician	90.6 (95% CI 82.9–95.0) 88.6 (95% CI 72.4–95.8)	0.73	89.0 (95% CI: 84.0–98.0) 85.0 (95% CI: 78.0–97.0)		Число врачей 4–101 (min–max), общее число врачей – 211, опыт от 1 года до 44 лет Number of physicians 4–101 (min–max), total number – 211, experience from 1 year to 44 years
ИИ / AI Врач / Physician	96.0 (95% CI 94.0–98.0) 98.0 (95% CI 95.0–99.0)		97.0 (95% CI: 96.0–98.0)		
ИИ / AI Врач / Physician	91.0 (95% CI 81.0–95.0) 94.0 (95% CI 91.0–95.0)		96.0 (95% CI: 94.0–98.0) 98.0 (95% CI: 96.0–99.0)		Число врачей-клиницистов 3–58 (min–max), опыт не указан Number of clinicians 3–58 (min–max), experience is not specified
ИИ / AI Врач / Physician	92.0 (95% CI 90.0–94.0) 95.0 (95% CI 93.0–96.0) 78.0 (95% CI 73.0–83.0) 82.0 (95% CI 77.0–86.0)		97.0 (95% CI: 95.0–98.0) 97.0 (95% CI: 96.0–99.0) 89 (95% CI: 86.0–92.0) 91.0 (95% CI: 88.0–93.0)		Число рентгенологов 1–10, общее число радиологов – 54, опытных радиологов 0–3 в разных исследованиях, общее число опытных радиологов–30, в трех статьях опыт радиологов не указан Number of radiologists 1–10, total number–54, experienced radiologists 0–3, total number of experienced radiologists–30, experience is not specified in three articles
ИИ (натив) AI (native) Врач (контраст) Physician (contrast)	84.8 (95% CI 76.0–90.8) 87.0 (95% CI 83.1–90.1)				15 рентгенологов, из них старших рентгенологов (опыт 15 – 25 лет) более 4, младших рентгенологов (опыт 5 – 15 лет) более 3. Данные в метаанализе приведены по трем исследованиям 15 radiologists, senior radiologists from them (experience 15 – 25 years) more than 4, junior radiologists (experience 5 – 15 years) more than 3. Data in the meta-analysis are based on three studies
ИИ / AI Врач / Physician	96.0 (95% CI 96.0–97.0) 95% CI 83.0–90.0		98.0		
ИИ / AI Врач / Physician	56.6–76.2 55.9–100		79.8–89.5 63.3–77.4		
ИИ, детекция AI, detection	96.5 (95% CI 94.6–97.7)		98.0 (95% CI: 96.0–99.0)		
ИИ, классификация AI, classification	89.4 (95% CI 63.1–97.7)		95.0 (95% CI: 93.0–97.0)		
Врач–эксперт, классификация Expert, classification	84.8 (95% CI 73.2–91.9)		96.0 (95% CI: 94.0–98.0)		
Врач–неэксперт, объединенное Non-expert, united	81.1 (95% CI 71.8–87.8)		90.0 (95% CI: 87.0–93.0)		



Был дополнительно рассчитан интервал обобщенных значений чувствительности, специфичности и ROC AUC между метаанализами. Использовали только данные, где были приведены средние значения по метаанализу. В случае, если диагностическая точность была дана по подгруппам, брали ее среднее значение.

Среднее значение (mean) чувствительности ИИ составляет 89%, медиана (median) – 88,7%, полученные на 33 (n) метаанализах с минимальным и максимальным значением 75,4 и 97,9% соответственно, стандартное отклонение (std) 5,3. Для специфичности ИИ обобщенные параметры следующие: mean = 88,8%, median = 89,5%, n = 31, min-max 74–97,6%, std = 5,6%. Для ROC AUC ИИ обобщенные параметры следующие: mean = 92%, median = 93,8%, n = 26, min-max 75–98%, std = 5,6%.

Диагностическая точность ИИ

по сравнению с врачами-рентгенологами

В табл. 3 приведены значения диагностических показателей для ИИ и врачей.

Значения диагностической точности совместно для ИИ и для врачей найдены в 10 (26%) метаанализах из 38. В одном метаанализе [30] диагностическую значимость ИИ оценивали по нативным изображениям, а для врачей – по изображениям с контрастом, поэтому этот метаанализ рассмотрен отдельно.

Из 10 метаанализов, где приведены совместно значения диагностической точности для ИИ и врачей, 5 (50%) – онкологической направленности: диагностика злокачественных новообразований молочной железы [10], диагностика узлов щитовидной железы [32], диагностика злокачественных новообразований печени [30], диагностика метастазов в лимфатические узлы у больных со злокачественными новообразованиями брюшной полости [24]. 2 (20%) метаанализа направлены на диагностику переломов [11, 16], 1 (10%) – диагностику пневмоторакса [17], 1 (10%) – диагностику COVID-19 [15], 1 (10%) – детекцию колоректальных полипов [38].

Для диагностики злокачественных новообразований молочной железы использовали цифровую маммографию [9, 10] и томосинтез [9]. УЗИ проводилось при диагностике узлов щитовидной железы [32] и злокачественных новообразований печени [30]. В исследованиях, где изучали диагностику метастазов в лимфатические узлы у больных со злокачественными новообразованиями брюшной полости [24], использовали КТ либо МРТ. Для диагностики переломов [11, 16] применяли КТ и рентгенографию, для диагностики пневмоторакса [17] – рентгенографию грудной клетки и КТ,

для диагностики COVID-19 [15] – КТ и рентгенографию, для детекции колоректальных полипов [38] – эндоскопию.

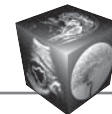
Интервалы для диагностических параметров ИИ и врачей посчитаны нами с включением метаанализов, в которых были приведены обобщенные значения интересующих диагностических параметров. Средние значения, медиана, среднее квадратичное отклонение, минимальное и максимальное значение чувствительности для ИИ и для врачей (число включенных метаанализов 7 [9, 10, 11, 16, 17, 32, 38]) следующие: 85,2; 86,0; 5,7; 75,4–91,0 и 84,4; 85,0; 8,2; 73,0–94,0% соответственно. Те же показатели для ИИ и для врачей (число включенных метаанализов 7 [9, 10, 11, 16, 17, 32, 38]) следующие: 89,5; 91,0; 5,9; 78,0–96,0 и 90,0; 94,0; 6,1; 82,0–98,0% соответственно. Те же показатели для ИИ и для врачей (число включенных метаанализов 5 [10, 11, 16, 32, 38]) следующие: 93,5; 92,5; 4,1; 89,0–97,0 и 92,8%; 94,0 5,2; 85,0–98,0% соответственно.

Из 10 метаанализов, где исследовали диагностическую точность и ИИ, и врачей, в 5 данные о числе врачей и их опыте не приводятся. В 3 метаанализах [10, 15, 32] содержатся данные по числу врачей и их опыту, в 2 метаанализах [9, 11] – только данные по числу врачей. Подробная информация приведена в табл. 3.

В 3 метаанализах приведены значения уровня значимости при сравнении диагностических параметров ИИ и врачей. В обзоре [9], рассматривающем диагностику злокачественных новообразований молочной железы с использованием цифровой маммографии и томосинтеза, показано, что чувствительность ИИ (80,6%) достоверно выше ($p = 0,031$), чем врачей (73,6%); специфичность ИИ (85,7%) и врачей (89,6%) не различается достоверно ($p = 0,221$); ROC AUC также не различается достоверно ($p = 0,152$) между ИИ (87–90%) и врачами (81–96%). Общее число врачей в метаанализе [9] – 143, варьирует между разными исследованиями от 2 до 24, опыт врачей не указан.

В обзоре [10], рассматривающем диагностику злокачественных новообразований молочной железы с использованием цифровой маммографии, показано, что чувствительность ИИ (75,4%) и врачей (73%) не различается достоверно ($p = 0,7$); специфичность ИИ (90,6%) и врачей (88,6%) также не различается достоверно ($p = 0,73$). Общее число врачей в метаанализе [10] – 211, варьирует между разными исследованиями от 4 до 101, опыт врачей варьирует от 1 года до 44 лет.

В обзоре [38], рассматривающем детекцию колоректальных полипов с использованием эндоскопии, тест на значимость различий между ИИ



и врачами приводится для параметра DOR (Diagnostic odds ratio). Результаты по DOR для ИИ сравнивали с врачами-экспертами и с врачами-не экспертами. DOR не различается достоверно ($p = 0,9654$) между ИИ и врачами-экспертами, DOR достоверно ($p = 0,0342$) лучше у ИИ и по сравнению с врачами-не экспертами. Число врачей и их опыт не указаны.

Еще в 4 метаанализах, рассматривающих диагностику пневмоторакса [17] с использованием рентгенографии грудной клетки и КТ, диагностику переломов [11, 16] с использованием рентгенографии и КТ, диагностику узлов щитовидной железы с использованием УЗИ [32], авторы отмечают, что не обнаружили разницы в диагностических параметрах между ИИ и врачами, при этом приводятся значения для чувствительности, специфичности и ROC AUC, но не приводятся значения p -value. В метаанализах [16, 17] данные по числу врачей и их опыту не приводятся. В метаанализе [11] число врачей-клиницистов варьировало от 3 до 58 между разными исследованиями, данные по опыту не приводятся. В метаанализе [32] общее число рентгенологов составило 54, из них число опытных рентгенологов – 30, число рентгенологов в разных исследованиях варьирует от 1 до 10, при этом число опытных рентгенологов – от 0 до 3, определения опытности рентгенологов в годах не приводятся, в 3 (10%) исследованиях из 29, использованных в метаанализе, не указан опыт рентгенологов. Метаанализ [30], рассматривающий диагностику злокачественных новообразований печени с использованием УЗИ, отличается тем, что врачи анализировали изображения, полученные с помощью контрастного усиления, а ИИ тестировал нативные изображения. И хотя уровни значимости при сравнении диагностических интервалов ИИ и врачей не приводятся, авторы метаанализа отмечают высокие диагностические показатели ИИ. Так, средние значения чувствительности ИИ и врачей составляют 81,7 и 87,1% соответственно, средние значения специфичности ИИ и врачей – 84,8 и 87,0% соответственно. Данные по числу врачей, с которыми проводилось сравнение, и их опыту в метаанализе не приведены.

Результаты внедрения

Доказанные результаты внедрения ИИ приведены в одном (3%) метаанализе [22] из 38. Авторы обнаружили 3 (19%) статьи [47–49] из 16 проанализированных ими, где приводятся доказанные результаты внедрения ИИ в клиническую практику. Все 3 исследования выполнены в области нейровизуализации с использованием КТ. 2 исследова-

ния [47, 48] поместили модель ИИ в начало клинического пути перед интерпретацией рентгенологом (предварительная сортировка). В исследовании [47] ИИ показал сокращение среднего времени на отчет для несрочных обследований, которые ИИ отметил, как подлежащие пересмотру, с 512 до 19 мин. В исследовании [48] ИИ продемонстрировал достоверное снижение среднего времени для отчета по отмеченным случаям для амбулаторных больных (с 674 до 70 мин, $p < 0,001$), стационарных больных (с 390 до 352 мин, $p = 0,002$), но не для экстренных случаев ($p = 0,37$). Вред и отсрочка по времени из-за ложноотрицательных результатов при этом не оценивались, хотя число ложноотрицательных результатов составляло 26 (7,5%) из 347 в исследовании [47] и 205 (11,6%) из 1760 в исследовании [48].

В 2 исследованиях [47, 49] ИИ применялся в качестве второго читателя после интерпретации рентгенолога, рассматривали расхождения между ИИ и рентгенологами. ИИ выявил 1,2 и 0,03% соответственно ложноотрицательных результатов рентгенологов.

Обсуждение

Число исследований, оценивающих применимость ИИ в диагностической практике, нарастает экспоненциально. Нами проведен систематический анализ области применимости ИИ в лучевой диагностике, дана оценка основных проблемных точек в этой области, которые могут препятствовать внедрению в практику этого современного инструмента.

Область применения ИИ в лучевой диагностике крайне широка. Половина проанализированных метаанализов выполнена в области диагностики злокачественных новообразований. Это одна из самых распространенных задач для ИИ в лучевой диагностике.

Часто (более 50%) в метаанализ включают исследования разных модальностей, что повышает неоднородность данных и затрудняет их обобщение. Лидирующим методом в лучевой диагностике с применением ИИ является КТ, за ней следует МРТ, далее – рентгенография и УЗИ.

Оценка качества исходных публикаций

Ключевым для внедрения ИИ в диагностическую практику являются данные и методика, с помощью которых диагностическая точность ИИ тестируется.

Стоит отметить большой разброс в объеме выборки (числе пациентов) между исходными публикациями, составляющий в некоторых случаях 3–4 порядка. В части исследований выборка мала



и может составлять менее двух десятков пациентов. Наблюдается недостаточное число проспективных исследований и исследований с внешней валидацией данных, что отмечается в большинстве метаанализов.

Для оценки риска систематической ошибки в подавляющем числе метаанализов использовали QUADAS-2, в настоящее время это один из основных инструментов оценки качества работ. В половине случаев исследования оценены как методологически приемлемые. В остальных случаях риск систематической ошибки оценен как высокий или средний. Основных причин высоких рисков систематической ошибки и снижения качества исследований несколько. Значительная часть рисков обусловлена использованием несбалансированных по объему и составу выборок. Например, включаются маленькие по объему выборки, а также выборки, где доля положительных случаев значительно выше доли отрицательных случаев. Необоснованность критериев исключения также является одним из важных факторов снижения качества исследований. Следующими наиболее частыми причинами повышения рисков являются низкое число либо отсутствие проспективных исследований, преобладание случай-контроль дизайна, отсутствие внешней валидации результатов, использование в качестве обучающей, тестовой и валидирующей перекрывающихся выборок. Зачастую недостаточно детальное описание методики исследования приводит к снижению ценности его результатов. Например, в некоторых исследованиях не ясны характер и способ заслепления, число и опыт врачей, осуществляющих контрольное чтение, время между индексным и референсным тестами. В целом наблюдается низкий уровень стандартизации используемых в разных исследованиях методик. В частности, неоднородность подходов и методик дает высокую неоднородность диагностических оценок даже в одной области исследований.

В большинстве метаанализов риск предвзятости публикаций оценен как низкий. Тем не менее отсутствие публикаций с отрицательными результатами дает основание предполагать наличие этого риска.

Оценка качества включенных систематических обзоров

В первую очередь стоит отметить, что в настоящее время отсутствуют специализированные инструменты для оценки качества систематических обзоров в области диагностической точности ИИ. Так, из 16 вопросов AMSTAR-2 в этой области при-

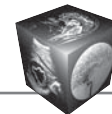
менимо только 9. Назрела необходимость разработки такого специализированного инструмента.

Результаты оценки качества методологии систематических обзоров показали, что она нуждается в улучшении. Так, только в половине рассмотренных систематических обзоров зарегистрирован протокол проведения своего исследования проспективно. Большинство обзоров не используют так называемую серую литературу, например опубликованные отчеты исследований, что может приводить к предвзятым оценкам диагностической точности и их завышению. В систематических обзорах часто не хватает количественных оценок степени согласованности результатов авторов, параллельно проводивших отбор литературы и извлечение информации, данных об исключенных статьях. В систематических обзорах не приводят информацию об источниках финансирования анализируемых в них исследований, что важно в медицинских работах, так как может приводить к предвзятости полученных результатов.

Диагностическая точность ИИ и внедрение в практику

В подавляющем большинстве (36 из 38) метаанализов отмечается высокая диагностическая точность ИИ. Высока доля истинно положительных результатов (чувствительность), доля истинно отрицательных результатов (специфичность), а также существенны значения ROC AUC, отражающей соотношение между истинно позитивными исходами и ложнопозитивными исходами, а также некоторые другие обобщенные диагностические критерии (например, DOR). Высокие диагностические показатели ИИ обнаружены в области диагностики злокачественных новообразований, остеопороза, переломов, прогнозов по беременности, диагностике COVID-19 в сравнении с другими видами пневмонии, автоматической сегментации изображений, прогноза исходов терапии при онкологических заболеваниях, а также в области нейровизуализации.

Диагностическая точность ИИ не уступает диагностической точности врачей, а в некоторых случаях может превосходить ее. В частности, обнаружено [38], что диагностическая точность ИИ сравнима с показателями врачей экспертного уровня, превосходя показатели обычных врачей. Тем не менее число работ, проводящих прямые количественные сравнения между ИИ и врачами, по-прежнему мало. Кроме того, далеко не во всех этих работах подробно указаны число и опыт врачей, что существенно снижает возможность интерпретации и использования полученных результатов.



Во всех метаанализах отмечается высокий потенциал для внедрения ИИ в практику. Однако существует целый ряд методологических сложностей в этой области. В 2 метаанализах отмечена невысокая диагностическая точность ИИ, требующая повышения показателей, это работы, посвященные стадированию злокачественных новообразований легкого [21] и классификации ответов на терапию при метастазах головного мозга [43]. В обоих метаанализах включены радиомические работы, при этом качество радиомики не было оценено.

В метаанализах, где показаны высокие диагностические показатели и перспективность ИИ, отмечается ряд задач, требующих решения. Во-первых, необходимость увеличения объема данных [50, 51] и создания открытых пространств для тестирования результатов ИИ. Далее, необходимость стандартизации методик [52, 53], так как высокая неоднородность данных в метаанализах делает выводы менее убедительными. Также отмечается необходимость внешней валидации для генерализации результатов. Валидация на внутренних данных склонна переоценивать значения ROC AUC, что ограничивает интеграцию моделей ИИ в клинических условиях. Необходимо приводить подробные данные о числе и опыте врачей, с которыми сравнивали диагностическую точность ИИ. Кроме того, отмечается отсутствие комплексных исследований последствий клинического внедрения алгоритмов ИИ.

Из всех проанализированных нами метаанализов только в одном приводится анализ результатов реального внедрения ИИ в диагностическую практику. Этот анализ основан на трех исследованиях. Результаты использования ИИ на практике неоднозначны. С одной стороны, ИИ дал выигрыш по времени при несрочных обследованиях, но не дал выигрыша при срочных обследованиях. В качестве инструмента верификации первого прочтения ИИ эффективно выявлял ложноотрицательные результаты рентгенологов, но при этом эффективность выявления ложноположительных результатов оказалась неудовлетворительной. На данном этапе требуется больше исследований по внедрению ИИ в диагностическую практику для выявления преимуществ и недостатков метода.

Можно заключить, что в настоящий момент результаты исследований показывают высокую диагностическую точность ИИ, но важно, что эти результаты зачастую получены в исследованиях с некорректным дизайном, способом проведения исследований и их отчетности, что может привести к систематической ошибке и переоценке эффективности этих алгоритмов [54].

Заключение

Существуют различные области потенциального применения ИИ в лучевой диагностике. Наибольшее число исследований выполнено в области диагностики злокачественных новообразований – 47% из проанализированных нами метаанализов. Из них наиболее часто встречаются исследования, посвященные диагностике злокачественных новообразований пищеварительной (28%), дыхательной (22%) и репродуктивной (22%) систем. Менее часто встречаются исследования в области диагностики поражений мозга (11%) и в стоматологии (11%).

Лидирующей модальностью в исследованиях является КТ (45% метаанализов), далее следует МРТ (29%), а за ней – рентгенография (16%) и УЗИ (16%).

Существует целый ряд методологических проблем, приводящих к снижению ценности результатов, полученных в области оценки потенциала применения ИИ в лучевой диагностике. Риск систематической ошибки оценен как низкий только в половине (51%) метаанализов, как средний – в 12%, как высокий – в 37%. Снижение качества исследований связано с несбалансированностью выборки по объему и составу, низкой долей проспективных исследований и исследований с внешней валидацией данных. Недостаточно подробное описание использованных методик и отсутствие данных в открытом доступе затрудняют валидацию результатов и стандартизацию методик.

Качество методологии самих систематических обзоров в области диагностической точности ИИ также нуждается в повышении, а именно методы планирования систематического обзора, методы поиска и отбора литературы, методы отчетности. Назрела необходимость разработки специализированного инструмента оценки качества систематических обзоров в области диагностической точности ИИ.

По данным современных исследований алгоритмы ИИ не уступают врачам по показателям диагностической точности, а в некоторых случаях могут превышать ее. Средние значения чувствительности, специфичности и ROC AUC: 85,2% (median = 86,0; std = 5,7%; min–max = 75,4–91,0%), 89,5% (91,0%; 5,9%; 78,0–96,0%), 93,5% (92,5%, 4,1%; 89,0–97,0%). Для врачей-рентгенологов указанные показатели составляют: 84,4% (85,0%; 8,2%; 73,0–94,0%), 90,0% (94,0%; 6,1%; 82,0–98,0%), 92,8% (94,0% 5,2%; 85,0–98,0%) соответственно.

ИИ является перспективным методом для внедрения в клиническую практику. Однако для повышения достоверности результатов необходимы: стандартизация методик исследования ИИ в диаг-



ностике и их детальное описание, использование сбалансированных по объему и составу выборок, валидация результатов на внешних данных. Несмотря на высокие диагностические показатели ИИ, число доказанных результатов внедрения метода в клиническую практику невелико – только один (3%) метаанализ рассматривает доказанные результаты внедрения ИИ, но приведенные результаты при этом противоречивы. На практике ИИ давал выигрыш по времени для несрочных больных, но не давал выигрыша по времени для экстренных больных. Доля ложноотрицательных результатов ИИ при этом была достаточно высока (7,5–11,6%). Остается также неясным, какой проигрыш по времени давали на практике ложноотрицательные результаты ИИ.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке 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.

Вклад авторов

Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Наибольший вклад распределен следующим образом:

Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., Омелянская О.В. – разработка концепции исследования, согласование финальной версии рукописи.

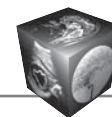
Решетников Р.В., Блохин И.А., Коденко М.Р., Нанова О.Г. – обзор литературы, анализ данных, написание текста статьи.

Authors' participation

Authors confirm that their authorship meets the international criteria of the ICMJE. All authors made significant contributions to the study and preparation of the article, read and approved the final version before publication. The largest contribution is distributed as follows: Vasiliev Yu.A., Vladzymirskyy A.V., Omelyanskaya O.V. – development of the research concept, approval of the final version of the manuscript. Reshetnikov R.V., Blokhin I.A., Kodenko M.R., Nanova O.G. – literature review, data analysis, writing the text of the manuscript.

Список литературы [References]

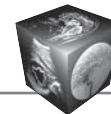
1. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J. et al. Artificial intelligence in radiology. *Nat. Rev. Cancer*. 2018; 18 (8): 500–510. <http://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
2. Sogani J., Allen B. Jr., Dreyer K., McGinty G. Artificial intelligence in radiology: the ecosystem essential to improving patient care. *Clin. Imaging*. 2019; 59 (1): A3–A6. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2019.08.001>
3. Keane P.A., Topol E.J. With an eye to AI and autonomous diagnosis. *NPJ Digital Medicine*. 2018; 1: 40. <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0048-y>
4. Владзимирский А.В., Гусев А.В., Шарова Д.Е., Шулькин И.М., Попов А.А., Балашов М.К., Омелянская О.В., Васильев Ю.А. Методика оценки уровня зрелости информационной системы для здравоохранения. *Врач и информационные технологии*. 2022; 3: 68–86. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_3_68
Vladzimirskyy A.V., Gusev A.V., Sharova D.E. et al. Health information system maturity assessment methodology. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*. 2022; 3: 68–86. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_3_68 (In Russian)
5. Шарова Д.Е., Гарбук С.В., Васильев Ю.А. Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Первая в мире серия национальных стандартов. *Стандарты и качество*. 2023; 1: 46–51. <https://doi.org/10.35400/0038-9692-2023-1-304-22>
Sharova D.E., Garbuk S.V., Vasilev Y.A. Artificial intelligence systems in clinical medicine: the world's first series of national standards. *Standards and Quality*. 2023; 1: 46–51. <https://doi.org/10.35400/0038-9692-2023-1-304-22> (In Russian)
6. Kelly S., Kaye S.-A., Oviedo-Trespalacios O. What factors contribute to the acceptance of artificial intelligence? A systematic review. *Telematics and Informatics*. 2023; 77: 101925. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2022.101925>
7. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021; 372: n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
8. Shea B.J., Reeves B.C., Wells G. et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*. 2017; 358: j4008. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>
9. Yoon J.H., Strand F., Baltzer P.A.T. et al. Standalone AI for Breast Cancer Detection at Screening Digital Mammography and Digital Breast Tomosynthesis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology*. 2023; 307 (5): e222639. <https://doi.org/10.1148/radiol.222639>
10. Hickman S.E., Woitek R., Vi Le E.P. et al. Machine Learning for Workflow Applications in Screening Mammography: Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology*. 2022; 302: 88–104. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021210391>
11. Kuo R.Y.L., Harrison C., Curran T.-A. et al. Artificial Intelligence in Fracture Detection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology*. 2022. 304 (1): 50–62. <https://doi.org/10.1148/radiol.211785>
12. Xue Y., Zhou Y., Wang T. et al. Accuracy of Ultrasound Diagnosis of Thyroid Nodules Based on Artificial Intelligence-Assisted Diagnostic Technology: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Endocrinol*. 2022; 9492056. <https://doi.org/10.1155/2022/9492056>
13. Lex J.R., Di Michele J., Kouchehi R. et al. Artificial Intelligence for Hip Fracture Detection and Outcome



- Prediction A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Network Open*. 2023; 6 (3): e233391. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.3391>
14. Gao L., Jiao T., Feng Q., Wang W. Application of artificial intelligence in diagnosis of osteoporosis using medical images: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*. 2021; 32: 1279–1286. <https://doi.org/10.1007/s00198-021-05887-6>
 15. Poly T.N., Islam M., Li Y.-C. J. et al. Application of Artificial Intelligence for Screening COVID-19 Patients Using Digital Images: Meta-analysis. *JMIR Med. Inform.* 2021; 9 (4): e21394. <https://medinform.jmir.org/2021/4/e21394>
 16. Zhang X., Yang Y., Shen Y.-W. et al. Diagnostic accuracy and potential covariates of artificial intelligence for diagnosing orthopedic fractures: a systematic literature review and meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2022; 32 (10): 7196–7216. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08956-4>
 17. Sugibayashi T., Walston S.L., Matsumoto T. et al. Deep learning for pneumothorax diagnosis: a systematic review and meta-analysis. *Eur. Respirat. Rev.* 2023; 32: 220259. <https://doi.org/10.1183/16000617.0259-2022>
 18. Thong L.T., Chou H.S., Chew H.S.J., Lau Y. Diagnostic test accuracy of artificial intelligence-based imaging for lung cancer screening: A systematic review and meta-analysis. *Lung Cancer*. 2023; 176: 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2022.12.002>
 19. Menon N., Guidozzi N., Chidambaram S., Markar S.R. Performance of radiomics-based artificial intelligence systems in the diagnosis and prediction of treatment response and survival in esophageal cancer: asystematic review and meta-analysis of diagnostic accuracy. *Dis. Esophagus*. 2023; 36 (6): doad034. <https://doi.org/10.1093/dote/doad034>
 20. Xing W., Gao W., Lv X. et al. Artificial intelligence predicts lung cancer radiotherapy response: A meta-analysis. *Artif. Intell. Med.* 2023; 142: 102585. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102585>
 21. Zheng X., He B., Hu Y. et al. Diagnostic Accuracy of Deep Learning and Radiomics in Lung Cancer Staging: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front. Public Health*. 2022; 10: 938113. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.938113>
 22. Agarwal S., Wood D., Grzeda M. et al. Systematic Review of Artificial Intelligence for Abnormality Detection in High-volume Neuroimaging and Subgroup Meta-analysis for Intracranial Hemorrhage Detection. *Clin. Neuroradiol.* 2023; 33: 943–956. <https://doi.org/10.1007/s00062-023-01291-1>
 23. Bedrikovetski S., Dudi-Venkata N.N., Kroon H.M. et al. Artificial intelligence for pre-operative lymph node staging in colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer*. 2021a; 21. <https://doi.org/10.1186/s12885-021-08773-w>
 24. Bedrikovetski S., Dudi-Venkata N.N., Maicas G. et al. Artificial intelligence for the diagnosis of lymph node metastases in patients with abdominopelvic malignancy: A systematic review and meta-analysis. *Artif. Intell. Med.* 2021b; 113: 102022. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2021.102022>
 25. Din M., Agarwal S., Grzeda M. et al. Detection of cerebral aneurysms using artificial intelligence: a systematic review and meta-analysis. *J. NeuroIntervent. Surg.* 2023; 15: 262–271. <https://doi.org/10.1136/jnis-2022-019456>
 26. Xu H.-L., Gong T.-T., Liu F.-H. et al. Artificial intelligence performance in image-based ovarian cancer identification: A systematic review and meta-analysis. *eClinicalMedicine*. 2022; 53: 101662. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2022.101662>
 27. Sadr S., Mohammad-Rahimi H., Motamedian S.R. et al. Deep Learning for Detection of Periapical Radiolucent Lesions: A Systematic Review and Meta-analysis of Diagnostic Test Accuracy. *J. Endodont.* 2023; 49 (3): 248–261.e3. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2022.12.007>
 28. Komolafe T.E., Cao Y., Nguchu B.A. et al. Diagnostic Test Accuracy of Deep Learning Detection of COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Acad. Radiol.* 2021; 28 (11): 1507–1523. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2021.08.008>
 29. Wang Q., Ma J., Zhang L., Xie L. Diagnostic performance of corona virus disease 2019 chest computer tomography image recognition based on deep learning: Systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2022; 101: 42 (e31346). <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000031346>
 30. Campello C.A., Castanha E.B., Vilaro M. et al. Machine learning for malignant versus benign focal liver lesions on US and CEUS: a meta-analysis. *Abdom. Radiology*. 2023; 48: 3114–3126. <https://doi.org/10.1007/s00261-023-03984-0>
 31. Dumitrescu E.A., Ungureanu B.S., Cazacu I.M. et al. Diagnostic Value of Artificial Intelligence-Assisted Endoscopic Ultrasound for Pancreatic Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics*. 2022; 12: 309. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020309>
 32. Potipimpanon P., Charakorn N., Hirunwiwatkul P. A comparison of artificial intelligence versus radiologists in the diagnosis of thyroid nodules using ultrasonography: a systematic review and meta-analysis. *Eur. Arch. of Oto-Rhino-Laryngol.* 2022; 279: 5363–5373. <https://doi.org/10.1007/s00405-022-07436-1>
 33. Rescinito R., Ratti M., Payedimarri A.B., Panella M. Prediction Models for Intrauterine Growth Restriction Using Artificial Intelligence and Machine Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare*. 2023; 11: 1617. <https://doi.org/10.3390/healthcare11111617>
 34. Abesi F., Jamali A.S., Zamani M. Accuracy of artificial intelligence in the detection and segmentation of oral and maxillofacial structures using cone-beam computed tomography images: a systematic review and meta-analysis. *Polish J. Radiol.* 2023; 88: e256–e263. <https://doi.org/10.5114/pjr.2023.127624>
 35. Badr F.F., Jadu F.M. Performance of artificial intelligence using oral and maxillofacial CBCT images: A systematic review and meta-analysis. *Nigerian J. Clin. Pract.* 2022; 25: 1918–1927. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_394_22
 36. Soffer S., Klang E., Shimon O. et al. Deep learning for pulmonary embolism detection on computed tomography pulmonary angiogram: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*. 2021; 11: 15814. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95249-3>
 37. Islam M., Poly T.N., Walther B.A. et al. Deep Learning for the Diagnosis of Esophageal Cancer in Endoscopic Images: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cancers*. 2022; 14 (23): 5996. <https://doi.org/10.3390/cancers14235996>
 38. Xu Y., Ding W., Wang Y. et al. Comparison of diagnostic performance between convolutional neural networks and human endoscopists for diagnosis of colorectal polyp:



- A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*. 2021; 16 (2): e0246892. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246892>
39. Taib B.G., Karwath A., Wensley K. et al. Artificial intelligence in the management and treatment of burns: A systematic review and meta-analyses. *J. Plast. Reconstructive & Aesthetic Surg.* 2023; 77: 133–161. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2022.11.049>
40. Yang C., Qin L., Xie Y., Liao J. Deep learning in CT image segmentation of cervical cancer: a systematic review and meta-analysis. *Radiation Oncology*. 2022; 17: 175. <https://doi.org/10.1186/s13014-022-02148-6>
41. Electronic resource: QUADAS-2, University of Bristol: <https://www.bristol.ac.uk/population-health-sciences/projects/quadas/quadas-2/>
42. Electronic resource: Radiomics Quality Score - RQS 2.0.: <https://www.radiomics.world/rqs2>
43. Kim H.Y., Cho S.J., Sunwoo L. et al. Classification of true progression after radiotherapy of brain metastasis on MRI using artificial intelligence: a systematic review and meta-analysis. *Neuro-Oncology Advances*. 2021; 3 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1093/noonj/vdab080>
44. Electronic resource: International Prospective Register of Systematic Reviews. <https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/>
45. Adamou A., Beltsios E.T., Bania A. et al. Artificial intelligence-driven ASPECTS for the detection of early stroke changes in non-contrast CT: a systematic review and meta-analysis. *J. NeuroIntervent. Surg.* 2023; 15: e298–e304. <https://doi.org/10.1136/jnis-2022-019447>
46. Nabizadeh F., Ramezannezhad E., Kargar A. et al. Diagnostic performance of artificial intelligence in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Neurol. Sci.* 2023; 44: 499–517. <https://doi.org/10.1007/s10072-022-06460-7>
47. Arbabshirani M.R., Fornwalt B.K., Mongelluzzo G.J. et al. Advanced machine learning in action: identification of intracranial hemorrhage on computed tomography scans of the head with clinical workflow integration. *NPJ Dig. Med.* 2018; 1: 9. <https://doi.org/10.1038/s41746-017-0015-z>
48. Ginat D. Implementation of machine learning software on the radiology worklist decreases scan view delay for the detection of intracranial hemorrhage on CT. *Brain Sci.* 2021. 11 (7): 832. <https://doi.org/10.3390/brainsci11070832>
49. Salehinejad H., Kitamura J., Ditzko N. et al. A real-world demonstration of machine learning generalizability in the detection of intracranial hemorrhage on head computerized tomography. *Sci. Reports*. 2021; 11: 17051. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95533-2>
50. Владимирский А.В., Омелянская О.В., Шулькин И.М., Четвериков С.Ф., Семенов С.С., Новик В.П., Павлов Н.А., Арзамасов К.М., Андрейченко А.Е., Бобровская Т.М., Блохин И.А., Гомболевский В.А. MosMedData: НДКТ с признаками рака легкого. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621253 Российская Федерация. MosMedData: НДКТ с признаками рака легкого: № 2023620623: заявл. 10.03.2023: опубл. 18.04.2023 / заявитель ГБУЗ города Москвы "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы". Vladimirovskiy A.V., Omelyanskaya O.V., Shulkin I.M. et al. LDCT of the lung cancer. Certificate of state registration of the database № 2023621253 Russian Federation. MosMedData: LDCT of the lung cancer: № 2023620623: declared 10.03.2023: published 18.04.2023 / applicant "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department". (In Russian)
51. Морозов С.П., Андрейченко А.Е., Блохин И.А., Гележе П.Б., Гончар А.П., Николаев А.Е., Павлов Н.А., Чернина В.Ю., Гомболевский В.А. MosMedData: датасет 1110 компьютерных томографий органов грудной клетки, выполненных во время эпидемии COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2020; 1 (1): 49–59. <https://doi.org/10.17816/DD46826>
52. Morozov S.P., Andreychenko A.E., Blokhin I.A. et al. MosMedData: data set of 1110 chest CT scans performed during the COVID-19 epidemic. *Dig. Diagn.* 2020; 1 (1): 49–59. <https://doi.org/10.17816/DD46826>. (In Russian)
53. Гомболевский В.А., Харламов К.А., Пятницкий И.А. и др. Шаблоны протоколов описаний исследований по специальности "Рентгенология". Компьютерная томография: Методические рекомендации № 23 / Москва: ГБУЗ города Москвы "Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения города Москвы", 2016а. 31 с. Gombolevskiy V.A., Kharlamov K.A., Pyatnitskii I.A. et al. Templates for protocol descriptions of studies in the specialty "Radiology". Computed tomography: Guidelines № 23 / Moscow: "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department", 2016a, 31 p. (In Russian)
54. Гомболевский В.А., Харламов К.А., Пятницкий И.А. и др. Шаблоны протоколов описаний исследований по специальности "Рентгенология". Магнитно-резонансная томография: Методические рекомендации № 21 / Москва: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы "Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения города Москвы", 2016б. 41 с. Gombolevskiy V.A., Kharlamov K.A., Pyatnitskii I.A. et al. Templates for protocol descriptions of studies in the specialty "Radiology". Magnetic resonance imaging: Guidelines № 21 / Moscow: "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department", 2016b, 41 p. (In Russian)
55. Aggarwal R., Sounderajah V., Martin G. et al. Diagnostic accuracy of deep learning in medical imaging: a systematic review and meta-analysis. *NPJ Dig. Med.* 2021; 4: 65. <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00438-z>
56. Liu M., Wu J., Wang N. et al. The value of artificial intelligence in the diagnosis of lung cancer: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*. 2023; 18 (3): e0273445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273445>
57. Jørgensen M.D., Antulov R., Hess S., Lysdahlgaard S. Convolutional neural network performance compared to radiologists in detecting intracranial hemorrhage from brain computed tomography: A systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Radiol.* 2022; 146: 110073. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.110073>
58. Evangelista K., de Freitas Silva B.S., Yamamoto-Silva F.P. et al. Accuracy of artificial intelligence for tooth extraction decision-making in orthodontics: a systematic review and meta-analysis. *Clin. Oral Invest.* 2022; 26: 6893–6905. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04742-0>



Для корреспонденции*: Нанова Ольга Геннадьевна – e-mail: nanova@mail.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>

Владимирский Антон Вячеславович – доктор мед. наук, профессор, 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>

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>

Решетников Роман Владимирович – канд. физ.-мат. наук, руководитель отдела научных медицинских исследований ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9661-0254>

Блохин Иван Андреевич – 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>

Коденко Мария Романовна – младший научный сотрудник ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>

Нанова Ольга Геннадьевна – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник ГБУЗ города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8886-3684>

Contact*: Olga G. Nanova – e-mail: nanova@mail.ru

Yuri A. Vasiliev – Cand. of Sci. (Med.), Director of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Anton V. Vladzmyrsky – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Olga V. Omelyanskaya – Head of Division Management, Science of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-0245-4431>

Roman V. Reshetnikov – Cand. of Sci. (Phys.-Math.), Head of Scientific Medical Research Department of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-9661-0254>

Ivan A. Blokhin – Head of Research Sector in Diagnostic Radiology of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-2681-9378>

Maria R. Kodenko – Junior researcher of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>

Olga G. Nanova – Cand. of Sci. (Biol.), Leading researcher of the Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8886-3684>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1446>

Влияние системы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии на процесс принятия врачебных решений

© Андропова П.Л.^{1*}, Колесникова П.А.⁴, Гаврилов П.В.³, Кокорев О.В.⁵, Чернова Е.В.¹, Курносенко О.А.¹, Галустян Д.Х.¹, Бойцова М.Г.², Трофимова Т.Н.²

¹ ГБУЗ “Елизаветинская больница”; 195257 Санкт-Петербург, ул. Вавиловых, д. 14, литера А, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”; 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9, Российская Федерация

³ ФГБУ “Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии” Минздрава России; 191036 Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4, Российская Федерация

⁴ ФГБУН “Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля” Российской академии наук; 119334 Москва, ул. Косыгина, д. 4, Российская Федерация

⁵ ООО “ДжиИ Хэслкеа”; 123317 Москва, Пресненская наб., д. 10, Российская Федерация

Цель исследования: изучение возможности применения моделей параллельного и второго чтения при внедрении программы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии в диагностический процесс врачей со стажем до трех лет и различным опытом в urgentной нейрорадиологии.

Материал и методы. В исследование включены программный продукт на основе технологий искусственного интеллекта, а также 7 врачей со стажем до трех лет и различным опытом в диагностике ишемического инсульта. Комплементарная оценка осуществлялась на базе, включающей 100 пациентов, поступивших в Региональный сосудистый центр Санкт-Петербурга с клинической картиной ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии, которым были выполнены нативные КТ-исследования головного мозга. Ишемический инсульт у половины пациентов был подтвержден на основе клинических данных, а также проведения КТ-ангиографии сосудов головного мозга и КТ-перфузии. У другой половины данный диагноз исключили. Были смоделированы два варианта внедрения алгоритма искусственного интеллекта в качестве системы поддержки принятия решений в диагностический процесс врача-рентгенолога: первого (параллельного) и второго чтения.

Результаты. Результаты исследования показали, что при применении модели комплементарной оценки “параллельное чтение” происходит увеличение показателей диагностической эффективности, а также межэкспертного согласия при оценке по шкале ASPECTS среди молодых специалистов вне зависимости от наличия опыта работы с urgentной патологией.

Ключевые слова: ишемический инсульт; искусственный интеллект; компьютерная томография; молодые специалисты; модель комплементарной оценки

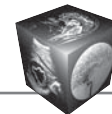
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Андропова П.Л., Колесникова П.А., Гаврилов П.В., Кокорев О.В., Чернова Е.В., Курносенко О.А., Галустян Д.Х., Бойцова М.Г., Трофимова Т.Н. Влияние системы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии на процесс принятия врачебных решений. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 42–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1446>

Поступила в редакцию: 12.02.2024.

Принята к печати: 14.03.2024.

Опубликована online: 15.05.2024.



Influence of the implementation of automatic artificial intelligence-based CT image analysis systems in diagnosis of middle cerebral artery stroke in human

© Polina L. Andropova^{1*}, Polina A. Kolesnikova⁴, Pavel V. Gavrillov³,
Oleg V. Kokorev⁵, Elena V. Chernova¹, Olesya A. Kurnosenko¹,
Diana H. Galustyan¹, Marina G. Boytsova², Tatiana N. Trofimova²

¹ St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth; 14, Vavilovskiy str., St. Petersburg 195257, Russian Federation

² St. Petersburg State University; 7-9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg 199034, Russian Federation

³ Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology; 2-4, Ligovsky prospect, St. Petersburg 191036, Russian Federation

⁴ Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences; 4, Kosygina str., Moscow 119334, Russian Federation

⁵ GE HealthCare; 10A, Presnenskaya embankment, Moscow 123317, MIBC Moscow City, Embankment Tower, Russian Federation

The purpose of the study was to investigate the possibility of applying first-reader and second-reader modes in the implementation of an automatic detection program for MCA ischemic stroke in the diagnostic process of radiologists with less than 3 years of experience and varying expertise in emergency neuroradiology.

Material and methods. The study included a software product based on artificial intelligence technologies, as well as seven doctors with less than 3 years of experience and varying expertise in the diagnosis of ischemic stroke. Complementary evaluation was performed based on a cohort of 100 patients admitted to the regional vascular center in Saint Petersburg with clinical presentation of ischemic stroke in the territory of the middle cerebral artery, who underwent native CT brain studies. Ischemic stroke was confirmed in half of the patients based on clinical data, as well as CT angiography of the cerebral vessels and CT perfusion. The diagnosis was ruled out in the other half. Two variants of implementing the artificial intelligence algorithm as a decision support system in the diagnostic process of a radiologist were simulated: the first (parallel) and second reader modes.

Results. The results of the study showed that the application of the complementary evaluation parallel- reader mode leads to an increase in diagnostic efficiency indicators and interobserver agreement in assessing ASPECTS scale among young specialists, regardless of their experience with urgent pathology.

Keywords: ischemic stroke; artificial intelligence; computed tomography; young specialists; complementary assessment model

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

For citation: Andropova P.L., Kolesnikova P.A., Gavrillov P.V., Kokorev O.V., E.V. Chernova, Kurnosenko O.A., Galustyan D.H., Boytsova M.G., Trofimova T.N. Influence of the implementation of automatic artificial intelligence-based CT image analysis systems in diagnosis of middle cerebral artery stroke in human. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 42–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1446>

Received: 12.02.2024.

Accepted for publication: 14.03.2024.

Published online: 15.05.2024.

Актуальность

В настоящее время, согласно утвержденной Национальной стратегии развития искусственного интеллекта, в РФ активно идут разработка и внедрение алгоритмов автоматического анализа, в том числе в сфере здравоохранения [1]. Важнейшим направлением по внедрению в медицинскую сферу методов и систем поддержки принятия решений является лучевая диагностика ишемического инсульта. Одной из главных задач перед разработчиками алгоритмов искусствен-

ного интеллекта стоит достижение их системами пороговых значений эффективности не только согласно клиническим рекомендациям [2], но и значений, которые, как минимум, сопоставимы с данными врачей-рентгенологов с небольшим стажем (молодые специалисты со стажем до трех лет). Также отдельный интерес представляют варианты внедрения систем автоматического анализа при комплементарной оценке различных патологий совместно с лучевыми диагностами.



В статье N.A. Obuchowski и J.A. Bullen [3] описываются 4 различных подхода к использованию алгоритмов искусственного интеллекта в медицинской визуализации. Первый подход, известный как модель первого или параллельного чтения, предполагает, что алгоритм искусственного интеллекта сначала анализирует изображение, а затем его результаты рассматриваются врачом. Второй подход, или модель второго чтения, предполагает, что алгоритм искусственного интеллекта применяется после анализа данных врачом, чтобы дополнить их результатами его интерпретации. Третий подход, называемый моделью сортировки, заключается в распределении исследований в соответствии с процентным соотношением подозреваемой патологии. Наконец, четвертый подход, или модель предварительного скрининга, предполагает применение алгоритма искусственного интеллекта к набору изображений для выявления случаев без патологических изменений и генерацией клинического отчета, а также классификация оставшихся случаев как “не норма”, которые в последующем оцениваются врачом (рис. 1).

Для эффективного использования данных моделей алгоритмам искусственного интеллекта необходимо достичь и подтвердить их высокую точность, специфичность и чувствительность при диагностике патологических изменений, минимизируя ложноположительные и ложноотрицательные результаты.

В свете повышенного интереса к частичной автоматизации обработки диагностических изображений требуется расширить рекомендации по ее внедрению. До сих пор ведутся споры о вариантах применения искусственного интеллекта в медицинской практике, поэтому необходимы исследования для изучения данной проблемы.

В диссертации У.А. Смольниковой [4] были исследованы возможности систем автоматического анализа цифровых рентгенологических изображений для диагностики округлых образований в легких. Полученные результаты показали, что, несмотря на значительные достижения в аналитической валидации систем автоматического анализа, при совместной интерпретации рентгенограмм врачом и системами автоматического анализа наблюдались ошибки, которые суммировались. Это приводило к снижению диагностической эффективности с чувствительности 83 до 56,7% и специфичности с 99 до 93,9%. Однако при внедрении модели второго чтения, включающей предварительную оценку рентгенограмм врачом, последующий анализ с использованием системы автоматического анализа и повторное принятие решения человеком, было отмечено повышение специфич-

ности до 95% (на 10,6%), но при этом снизилась чувствительность до 66,7%.

Важно отметить, что использование этих систем с применением параллельного и второго чтения (согласно N.A. Obuchowski и J.A. Bullen [3]) привело к преимущественному снижению общей диагностической эффективности врачей, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности данных моделей внедрения алгоритмов искусственного интеллекта на данном этапе и в этом случае.

В нашем ранее проведенном исследовании [5] были оценены показатели эффективности отдельных систем автоматического анализа КТ-изображений в выявлении ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии (исследование проводилось на базе данных, описанной в разделе “Материал и методы” данного исследования). Согласно результатам исследования, ни одна из систем автоматического анализа использованных в нем, не достигла пороговых значений точности, установленных клиническими рекомендациями (0,8). Показатели точности систем находились в диапазоне от 0,67 (67%) до 0,75 (75%). Однако тестирование показало высокий уровень гипердиагностики (что и привело к снижению точности) и низкий уровень гиподиагностики патологических изменений с чувствительностью 88% и специфичностью 46%. Из 100 КТ-исследований программа правильно определила наличие патологии в 44 (истинно положительные ответы), но неправильно диагностировала патологию в 27 (ложноположительные ответы). Кроме того, она пропустила патологические изменения в 6 случаях (ложноотрицательные ответы) и правильно определила их отсутствие в 23 случаях (истинно отрицательные ответы).

Несомненно, возможность применения моделей параллельного и второго чтения для данной системы требует дальнейшего изучения, однако она не лишена перспективности, поскольку предполагает снижение пропуска патологии у врачей с небольшим стажем работы (до трех лет). В случае высокого уровня гиподиагностики системы (как у других программ из исследования) необходим обязательный пересмотр КТ-изображений врачом-рентгенологом. Такая последовательность действий может усложнить стандартный рабочий процесс.

Цель исследования: изучение влияния моделей параллельного и второго чтения на врачей со стажем менее трех лет с различным опытом в urgentной нейрорадиологии при комплементарной оценке ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии совместно с программой автоматического анализа.

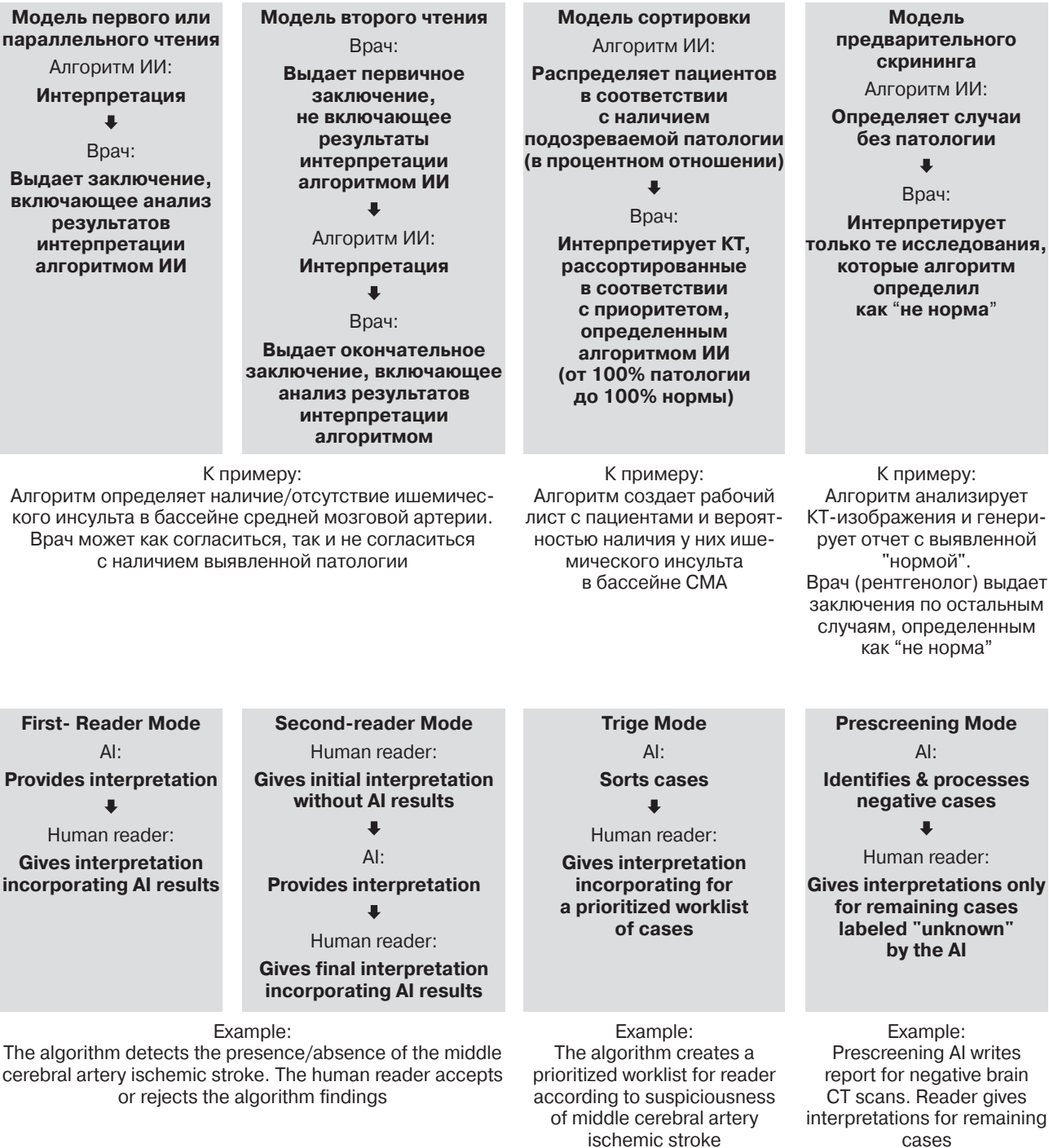
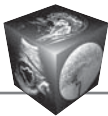


Рис. 1. Модели использования алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) в медицинской визуализации [3].
Fig. 1. Illustration of four use cases for AI [3].



Материал и методы

Для изучения изменений показателей эффективности врачей при внедрении алгоритма искусственного интеллекта был отобран программный продукт, точность которого составила 67%, чувствительность 88%, а специфичность 46%, из ранее проведенного исследования [5]. В рамках исследования был использован программный продукт, который позволял автоматически анализировать бесконтрастные КТ-изображения и оценивать участки с ишемическим поражением вещества головного мозга в остром периоде с использованием шкалы ASPECTS.

Для клинической валидации была использована база лучевых изображений (свидетельство о регистрации базы данных RU 2022620850), которая состояла из 100 КТ-исследований пациентов, поступивших в один из региональных сосудистых центров (РСЦ) Санкт-Петербурга в период с 1 июля по 30 декабря 2021 г. Все пациенты поступали с подозрением на острый ишемический инсульт согласно шкале догоспитальной оценки тяжести инсульта (LAMS).

Диагноз ишемического инсульта был установлен врачом-неврологом на основании клинических данных, согласно рекомендациям Министерства здравоохранения Российской Федерации. Для верификации диагноза были проведены КТ-ангиография сосудов головного мозга и КТ-перфузия. В результате анализа данных КТ-ангиографии и КТ-перфузии у 50 пациентов не было подтверждено наличие ишемического инсульта. У этих пациентов отсутствовали патологические изменения (ишемия) при контрольном КТ-исследовании в течение 24 ч после первоначальных диагностических мероприятий.

Все КТ-исследования пациентов с подтвержденным острым ишемическим инсультом были предварительно совместно оценены тремя врачами, обладающими экспертной квалификацией в ургентной нейрорадиологии и имеющими опыт в диагностике инсульта. Врачи совместно пришли к выводу, что во всех случаях с подтвержденным острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) в бассейне окклюзированной артерии (КТ-ангиографии и КТ-перфузии) определяются признаки ранних ишемических изменений (с ASPECTS 9 и ниже). Поэтому если программа оценивала исследование в 10 баллов по ASPECTS, исследование маркировалось как "отсутствие ОНМК", если при интерпретации выставлялся балл менее 10 в одном из полушарий, исследование маркировалось как "наличие ОНМК". Система автоматического анализа не допускала ошибки неправильного определения стороны инсульта.

В эксперименте приняли участие 7 врачей со стажем работы менее 3 лет. Врачи были разделены на 2 группы. 1-я группа специалистов ($n = 4$) РСЦ включала в себя врачей, имеющих опыт оказания неотложной медицинской помощи, включая диагностику ишемического инсульта в острых стадиях; 2-я группа специалистов ($n = 3$) без опыта работы в РСЦ включала врачей, работающих в стационарах общего профиля и не специализирующихся на ургентной патологии.

Исследование было разделено на 2 этапа (рис. 2) согласно моделям внедрения алгоритмов искусственного интеллекта: второго и параллельного чтения по N.A. Obuchowski и J.A. Bullen [3].

Перед началом тестирования рентгенологи были ознакомлены с показателями диагностической эффективности используемой системы автоматического анализа. Это позволило им оценить возможности и ограничения системы, а также учесть ее влияние на результаты их собственной диагностики.

На первом этапе врачам предлагалось оценить наличие или отсутствие ишемического инсульта на основе изображений бесконтрастной КТ головного мозга. Каждое исследование было оценено экспертами вне зависимости друг от друга, при этом наличие инсульта маркировалось как "1" и его отсутствие "0". Врачи также определяли сторону поражения. Затем специалистам сообщались результаты оценки искусственного интеллекта. Это включало информацию о наличии инсульта (ASPECTS 9 и ниже) или его отсутствии (ASPECTS 10), а также стороне поражения. Врачи имели возможность согласиться с решением искусственного интеллекта или оставить свое исходное решение без изменений.

Второй этап исследования проводился через 2 мес с измененным порядком ранее предоставленных КТ-исследований. Экспертам сразу сообщались результаты оценки искусственного интеллекта, включая наличие инсульта (ASPECTS 9 и ниже) или его отсутствие (ASPECTS 10), а также сторону поражения. После получения результатов врачи могли либо согласиться с решением искусственного интеллекта, либо предложить свой собственный вариант интерпретации.

Все оценки были объединены независимым исследователем в общую таблицу для дальнейшей статистической обработки результатов.

В ходе статистического анализа использовались методы описательной статистики. Анализ был выполнен с помощью программы SPSS Statistics 19 и языка программирования Python.

На основе результатов оценки были рассчитаны следующие параметры: чувствительность, спе-

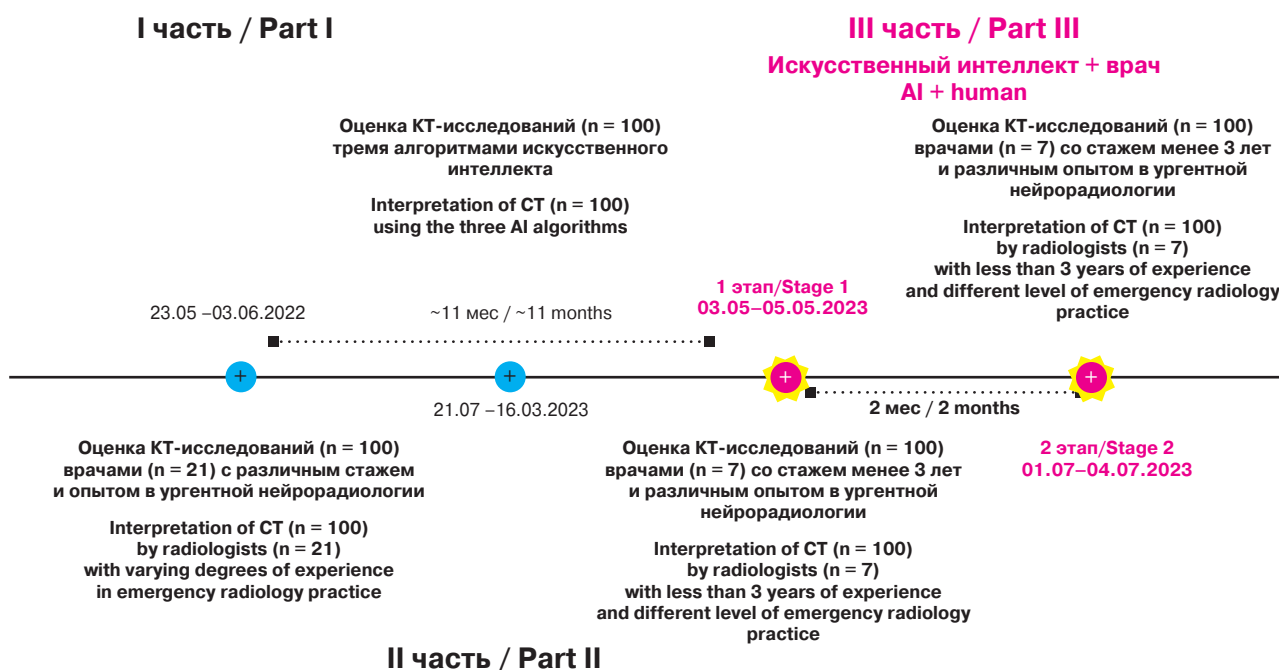
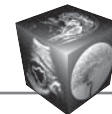


Рис. 2. Временная линия проводимых экспериментов с графическим описанием представленной в статье III части исследования и ее этапов (применение моделей второго и параллельного чтения).

Fig. 2. Timeline of conducted experiments, with a graphical description of the presented III part of the study and its stages (application of second and parallel reading models).

цифичность и точность для оценки наличия или отсутствия ОНМК в бассейне средней мозговой артерии [6].

Результаты и их обсуждение

Результаты первого этапа совместной оценки КТ-изображений головного мозга врачами со стажем менее трех лет и алгоритмом искусственного интеллекта представлены в табл. 1.

На первом этапе исследования общие значения диагностической эффективности (точность, специфичность) среди врачей РСЦ снизились. Это произошло в большей степени из-за снижения специфичности (с 81,5 до 79,5%) и увеличения количества ложноположительных ответов (с 9,25 до 10,25), что привело к увеличению гипердиагностики в этой группе экспертов. Однако в группе специалистов без опыта в РСЦ было отмечено улучшение показателей диагностической эффективности на первом этапе. В основном это было обусловлено увеличением чувствительности (с 67,3 до 92,6%) и сокращением ложноотрицательных ответов (с 6,3 до 3,6), что свидетельствует о снижении уровня гиподиагностики.

Таким образом, данные результаты указывают на положительное влияние искусственного интеллекта на диагностическую эффективность

врачей без опыта при использовании модели второго чтения.

Результаты второго этапа совместной оценки базы КТ-изображений головного мозга врачами со стажем менее 3 лет и алгоритмом искусственного интеллекта представлены в табл. 2.

Альтернативно первому этапу исследования на втором средние показатели диагностической эффективности (точность, чувствительность и специфичность) врачей РСЦ увеличились в большей степени за счет точности (с 90,2 до 94,25%) и специфичности (с 81,5 до 89%) с сокращением числа ложноположительных (с 18,6 до 9) и ложноотрицательных (с 6,3 до 2) ответов, со снижением уровня гипо- и гипердиагностики. Подобная тенденция наблюдалась также среди специалистов без опыта работы в РСЦ. Отмечалась выраженная положительная динамика средних значений эффективности с нарастанием значений чувствительности (с 67,3% до 96%), специфичности (с 62,6% до 82%) и точности (с 75% до 89%) с сокращением числа ложноположительных (с 18,6 до 9) и ложноотрицательных (с 6,3 до 2) ответов. Результаты второго этапа исследования свидетельствуют об улучшении интерпретации КТ-изображений среди наблюдений с подозрением на ОНМК как среди врачей с опытом в РСЦ,



Таблица 1. Средние показатели диагностической эффективности врачей с различным опытом в ургентной нейрорадиологии и стажем менее трех лет на первом этапе исследования

Table 1. Average diagnostic performance indicators of doctors with different experience in urgent neuroradiology and less than 3 years of experience at stage 1 of the study

	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	Чувствитель- ность, % Sensitivity, %	Специфич- ность, % Specificity, %	Точность, % Accuracy, %
Программа Program	44	27	6	23	88.0	46.0	67.0
Специалисты РСЦ RVC radiologists							
до before	49.5 ± 0.6	9.3 ± 2.5	0.5 ± 0.6	40.8 ± 2.5	99.0 ± 1.2	81.5 ± 5.0	90.3 ± 2.6
1-й этап Stage 1	49.8 ± 0.5	10.3 ± 2.8	0.3 ± 0.5	39.8 ± 2.8	99.5 ± 1.0	79.5 ± 5.5	89.5 ± 3.0
Специалисты без опыта в РСЦ Radiologists without experience in RVC							
до before	43.(6) ± 6.7	18.(6) ± 11.6	6.(3) ± 6.7	31.(3) ± 11.6	67.(3) ± 13.3	62.(6) ± 23.2	75.0 ± 12.2
1-й этап Stage 1	46.(3) ± 4.6	17.(3) ± 10.5	3.(6) ± 4.6	32.(6) ± 10.5	92.(6) ± 9.2	65.(3) ± 21.0	79.0 ± 11.4

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: ИП – истинно положительные, ЛП – ложноположительные, ИО – истинно отрицательные, ЛО – ложноотрицательные.

Note. TP – true positives, FP – false positive, FN – false negatives, TN – true negatives.

Таблица 2. Средние показатели диагностической эффективности врачей с различным опытом в ургентной нейрорадиологии и стажем менее трех лет на втором этапе исследования

Table 2. Average diagnostic performance indicators of doctors with different experience in urgent neuroradiology and less than 3 years of experience at stage 2 of the study

	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	Чувствитель- ность, % Sensitivity, %	Специфич- ность, % Specificity, %	Точность, % Accuracy, %
Программа Program	44	27	6	23	88.0	46.0	67.0
Специалисты РСЦ RVC radiologists							
до before	49.5 ± 0.6	9.3 ± 2.5	0.5 ± 0.6	40.8 ± 2.5	99.0 ± 1.2	81.5 ± 5.0	90.3 ± 2.6
2-й этап Stage 2	49.8 ± 0.5	5.5 ± 1.3	0.3 ± 0.5	44.5 ± 1.3	99.5 ± 1.0	89.0 ± 2.6	94.3 ± 1.7
Специалисты без опыта в РСЦ Radiologists without experience in RVC							
до before	43.(6) ± 6.7	18.(6) ± 11.6	6.(3) ± 6.7	31.(3) ± 11.6	67.(3) ± 13.3	62.(6) ± 23.2	75.0 ± 12.2
2-й этап Stage 2	48.0 ± 0.0	9.0 ± 6.6	2.0 ± 0.0	41.0 ± 6.6	96.0 ± 0.0	82.0 ± 13.1	89.0 ± 6.6

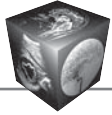


Таблица 3. Сравнительная характеристика средних показателей эффективности врачей с различным опытом в ургентной нейрорадиологии и стажем менее трех лет на первом и втором этапе исследования

Table 3. Comparative characteristics of the average performance indicators of doctors with different experience in urgent neuroradiology and less than 3 years of experience at stages 1 and 2 of the study

	ИП TP	ЛП FP	ЛО FN	ИО TN	Чувствитель- ность, % Sensitivity, %	Специфич- ность, % Specificity, %	Точность, % Accuracy, %
Программа Program	44	27	6	23	88.0	46.0	67.0
Специалисты РСЦ RVC radiologists							
до before	49.8 ± 0.5	10.3 ± 2.8	0.3 ± 0.5	39.8 ± 2.8	99.5 ± 1.0	79.5 ± 5.5	89.5 ± 3
2-й этап Stage 2	49.8 ± 0.5	5.5 ± 1.3	0.3 ± 0.5	44.5 ± 1.3	99.5 ± 1.0	89.0 ± 2.6	94.3 ± 1.7
Специалисты без опыта в РСЦ Radiologists without experience in RVC							
до before	46.(3) ± 4.6	17.(3) ± 10.5	3.(6) ± 4.6	32.(6) ± 10.5	92.(6) ± 9.2	65.(3) ± 21.0	79.0 ± 11.4
2-й этап Stage 2	48.0 ± 0.0	9.0 ± 6.6	2.0 ± 0.0	41.0 ± 6.6	96.0 ± 0.0	82.0 ± 13.1	89.0 ± 6.6

так и без него при применении модели параллельного чтения. Сравнительная характеристика показателей эффективности врачей с опытом и без в РСЦ на первом и втором этапах исследования представлена в табл. 3.

Также применение системы автоматического анализа позволило исправить двойную ошибку (неправильное определение ОНМК в контралатеральном полушарии) в одном случае у первого рентгенолога из группы с опытом работы в РСЦ, в одном случае у двух рентгенологов и в двух исследованиях у одного из рентгенологов из группы без опыта работы в РСЦ.

Результаты первого и второго этапов исследования позволяют судить о более эффективном варианте внедрения искусственного интеллекта при использовании модели параллельного чтения.

В нашем ранее опубликованном исследовании [7] были оценены показатели диагностической эффективности у врачей ургентной нейрорадиологии с различным стажем работы. Также был изучен уровень их согласия относительно КТ-признаков ишемического инсульта.

В результате исследования была выявлена прямая зависимость между стажем работы в РСЦ врачей ургентной нейрорадиологии и диагностической эффективностью. Врачи со стажем более 8 лет показали наивысшую точность диагностики,

а врачи со стажем менее 3 лет – наименьшую точность. Это подчеркнуло важность опыта и стажа работы врачей при проведении диагностических процедур, особенно в области ургентной нейрорадиологии. Однако в реалиях неотложной медицинской помощи существует запрос на немедленное увеличение уровня диагностической эффективности врачей с небольшим опытом, со снижением риска пропуска ими ургентной патологии. Поэтому в настоящем исследовании приняли участие врачи со стажем менее 3 лет для оценки возможности повышения их компетенции при применении системы автоматического анализа.

Между экспериментами прошло 11 мес, при предыдущем тестировании [7] врачам не сообщались правильные ответы. Средние показатели чувствительности между специалистами из РСЦ повысились с 84,00 до 99,00%, точности с 88,30 до 90,25% (и стали сопоставимы с результатами врачей со стажем от 3 до 8 лет внутри группы врачей с опытом работы в РСЦ), показатели специфичности снизились с 92,50 до 81,50%. Средние показатели диагностической эффективности врачей без опыта работы в РСЦ также изменились за счет специфичности (с 92,7 до 65,(3)%) и чувствительности (с 57,3 до 92,(6)%), точность осталась прежней (0,75%).

Результаты нашего исследования свидетельствуют о повышении средних показателей диагно-



стической эффективности среди врачей из РСЦ со стажем работы менее 3 лет при применении модели параллельного чтения согласно N.A. Obuchowski и J.A. Bullen. [3] до сопоставимых значений с результатами врачей с экспертной квалификацией за счет точности (94,25% против 93,80%) и чувствительности (99,50% против 90,50%).

Также было выявлено, что, несмотря на повышение диагностической эффективности при применении модели второго чтения, результаты тестирования врачей без опыта работы в РСЦ ниже результатов врачей из РСЦ как в предыдущем, так и в текущем исследовании. Однако при внедрении алгоритма искусственного интеллекта с помощью модели параллельного чтения показатели диагностической эффективности становятся аналогичны результатам врачей из РСЦ с опытом менее трех лет из предыдущего исследования с превышением значений точности (89,0% против 88,3%) и чувствительности (96,0% против 84,0%).

Результаты настоящего исследования подтверждают гипотезу о положительном эффекте внедрения систем на основе искусственного интеллекта в диагностический процесс молодого специалиста. В целом использование модели параллельного чтения при внедрении искусственного интеллекта в диагностические процессы рентгенологов со стажем до 3 лет может быть полезным для улучшения их способности интерпретировать КТ-изображения пациентов с подозрением на наличие ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии. Также в статье представлен первый этап подтверждения гипотезы о необходимости выбора модели комплементарной оценки для увеличения показателей диагностической эффективности врачей со стажем до трех лет. Для полноценной оценки точности данных гипотез необходимы дальнейшие исследования с более глобальными выборками данных, а также количеством задействованных специалистов.

С учетом наличия малочисленных и противоречивых данных о результатах внедрения моделей комплементарной оценки [8, 9] важно принять во внимание не только оценку точности программных продуктов, но и возможные варианты их внедрения при клинической валидации [10].

Это означает, что, помимо оценки точности моделей, необходимо учитывать контекст и специфику клинической практики, чтобы определить, как эти системы могут быть наиболее полезными и эффективными в реальной среде здравоохранения.

Вместо простого оценивания точности программных продуктов следует также рассмотреть факторы, такие как потенциальные преимущества внедрения, возможные ограничения или пробле-

мы, а также взаимодействие с медицинскими процессами и персоналом.

Такой подход поможет более полно и комплексно оценить эффективность систем автоматического анализа в клинической практике.

Выводы

1. Применение модели параллельного чтения при внедрении искусственного интеллекта в диагностический процесс рентгенологов со стажем до трех лет позволяет им улучшить свою способность интерпретировать КТ-изображения пациентов с подозрением на наличие ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии

2. Применение модели второго чтения в процессе принятия решений специалистов из РСЦ со стажем менее трех лет снижает их показатели диагностической эффективности.

3. Результаты текущего исследования являются первым этапом проверки гипотезы о положительном влиянии искусственного интеллекта на диагностический процесс врачей-рентгенологов. Для более точных результатов необходимы более глобальные выборки КТ-изображений и участие большего количества специалистов.

4. При внедрении систем автоматического анализа в клиническую практику необходимо проверять не только их точность и диагностическую эффективность, но и определять наиболее целесообразную модель комплементарной оценки.

Участие авторов

Андропова П.Л. – концепция и дизайн исследования; проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, сбор и обработка данных, написание текста.

Колесникова П.А. – анализ и интерпретация полученных данных; обработка данных, участие в научном дизайне, статистическая обработка данных.

Гаврилов П.В. – анализ и интерпретация полученных данных; сбор и обработка данных, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Кокорев О.В. – анализ и интерпретация полученных данных; участие в научном дизайне.

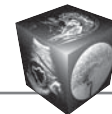
Чернова Е.В. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Курносенко О.А. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Галустян Д.Х. – участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Бойцова М.Г. – участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Трофимова Т.Н. – концепция и дизайн исследования; утверждение окончательного варианта статьи.



Authors' participation

Andropova P.L. – concept and design of the study; conducting research, analyzing and interpreting the data obtained, collecting and processing data, writing the text.

Kolesnikova P.A. – analysis and interpretation of the obtained data; data processing, participation in scientific design, statistical data processing.

Gavrilov P.V. – analysis and interpretation of the obtained data; collection and processing of data, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Kokorev O.V. – analysis and interpretation of the obtained data; participation in scientific design.

Chernova E.V. – analysis and interpretation of the data obtained, participation in scientific design.

Kurnosenko O.A. – analysis and interpretation of the data obtained, participation in scientific design.

Galustyan D.Kh. – participation in scientific design, preparation, creation of published work.

Boytsova M.G. – participation in scientific design, preparation, creation of published work.

Trofimova T.N. – concept and design of the study; approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490 “О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации”. (2019). Официальный портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата доступа: 20 января 2024).
2. Морозов С.П., Владимирский А.В., Кляшторный В.Г., Андрейченко А.Е., Кульберг Н.С., Гомболевский В.А. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). М.: Серия Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. Вып. 23. 2019. 34 с.
3. Obuchowski N.A., Bullen J.A. Statistical considerations for testing an AI algorithm used for prescreening lung CT images. *Contemp Clin Trials Commun.* 2019; 16: 100434. <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2019.100434>. Erratum in: *Contemp Clin Trials Commun.* 2020 Dec 10; 20: 100689. PMID: 31485545; PMCID: PMC6717063
4. Смольникова У.А. Возможности систем автоматического анализа цифровых рентгенологических изображений в диагностике округлых образований в легких: специальность 31.25.00: дис. ... канд. мед. наук. М., 2022. 281 с.
5. Андропова П.Л., Гаврилов П.В., Колесникова П.А., Кушнер А.В., Владимирский А.В., Васильев Ю.А., Трофимова Т.Н. Диагностическая эффективность отдельных систем автоматического анализа КТ-изображений в выявлении ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2023; 39 (3): 194–200. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-194-200>
6. Kumar R., Indrayan A. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian Pediatr.* 2011; 48 (4): 277–287. <https://doi.org/10.1007/s13312-011-0055-4>
7. Андропова П.Л., Гаврилов П.В., Казанцева И.П., Домиенко О.М., Наркевич А.Н., Колесникова П.А., Гребенкина Е.К., Тарасов Н.В., Сергеева Т.В., Трофимова Т.Н. Оценка межэкспертной согласованности врачей-рентгенологов в диагностике ишемического инсульта в бассейне средней мозговой артерии с помощью компьютерной томографии. *Медицинская визуализация.* 2023; 27 (4): 159–169. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1315>
8. Najjar R. Redefining Radiology: A Review of Artificial Intelligence Integration in Medical Imaging. *Diagnostics.* 2023; 13 (17): 2760. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13172760>
9. Anderson T., Torreggiani W.C., Munk P.L., Mallinson P.I. The impact of the introduction of artificial intelligence in radiology and its potential legal implications in the UK and Ireland. *BJR Open.* 2020; 2 (1): 20200030. <https://doi.org/10.1259/bjro.20200030>
10. Miller R.A. Medical diagnostic decision support systems - past, present, and future: a threaded bibliography and brief commentary. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 1994; 1: 8–27. <https://doi.org/10.1136/jamia.1994.95236141>

References

1. Decree of the President of the Russian Federation dated October 10, 2019 No.490 “On the development of artificial intelligence in the Russian Federation”(together with the “National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the period until 2030”). URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/. Accessdate:03/15/2022 (In Russian)
2. Morozov S.P., Vladzymyrskyy A.V., Klyashtorny V.G. et al. Clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology). Moscow, Series “Best practices in medical imaging”. Issue 23. 2019. 34 p. (In Russian)
3. Obuchowski N.A., Bullen J.A. Statistical considerations for testing an AI algorithm used for prescreening lung CT images. *Contemp Clin Trials Commun.* 2019; 16: 100434. <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2019.100434>. Erratum in: *Contemp Clin Trials Commun.* 2020 Dec 10; 20: 100689. PMID: 31485545; PMCID: PMC6717063
4. Smolnikova U.A. Possibilities of automated analysis of digital X-rays in diagnosing pulmonary nodules and masses: Scientific speciality 3.1.25. Diagnostic radiology. Dissertation submitted for the degree of candidate of medical sciences / Smolnikova Uliana Alekseevna, 2022. 281 p. (In Russian)
5. Andropova P.L., Gavrilov P.V., Kolesnikova P.A. et al. Diagnostic efficiency of individual systems for automatic analysis of computed tomography images in the detection of ischemic stroke in the basin of the middle cerebral artery. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2023; 38 (3): 194–200. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-194-200> (In Russian)
6. Kumar R., Indrayan A. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian Pediatr.* 2011; 48 (4): 277–287. <https://doi.org/10.1007/s13312-011-0055-4>
7. Andropova P.L., Gavrilov P.V., Kazantseva I.P. et al. Interexpert agreement between neuroradiologists in the diagnosis of middle cerebral artery stroke by computed



- tomography. *Medical Visualization*. 2023; 27 (4): 159–169. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1315> (In Russian)
8. Najjar R. Redefining Radiology: A Review of Artificial Intelligence Integration in Medical Imaging. *Diagnostics*. 2023; 13 (17): 2760. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13172760>
9. Anderson T., Torreggiani W.C., Munk P.L., Mallinson P.I. The impact of the introduction of artificial intelligence in radiology and its potential legal implications in the UK and Ireland. *BJR Open*. 2020; 2 (1): 20200030. <https://doi.org/10.1259/bjro.20200030>
10. Miller R.A. Medical diagnostic decision support systems - past, present, and future: a threaded bibliography and brief commentary. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 1994; 1: 8–27. <https://doi.org/10.1136/jamia.1994.95236141>

Для корреспонденции*: Андропова Полина Леонидовна – e-mail: polin.kira@mail.ru

Андропова Полина Леонидовна – врач КТ-кабинета рентгеновского отделения ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/org/0000-0002-0416-493X>. E-mail: polin.and@icloud.com

Колесникова Полина Алексеевна – аспирант ФГБУН “Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля” Российской академии наук, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2406-6349>. E-mail: larionova_pa@gkl-kemerovo.ru

Гаврилов Павел Владимирович – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления “лучевая диагностика” ФГБУ “Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-3251-4084>. E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Кокорев Олег Васильевич – медицинский советник Департамента компьютерной томографии, Россия и СНГ ООО “ДжиИ Хэслекс”, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-5495-3403>. E-mail: oleg.kokorev@ge.com

Чернова Елена Валерьевна – врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-1451-0773>. E-mail: Le-nika@yandex.ru

Курносенко Олеся Александровна – врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-9495-4189>. E-mail: olesia.hok@mail.ru

Галустян Диана Хачиковна – врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии ГБУЗ “Елизаветинская больница”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-5990-1954>. E-mail: Galustyandkh@yandex.ru

Бойцова Марина Геннадьевна – канд. мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики Медицинского института Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-6244-975X>. E-mail: mgboitsova@mail.ru

Трофимова Татьяна Николаевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике СЗФО РФ и Комитета по здравоохранению Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. E-mail: TTrofimova@sogaz-clinic.ru

Contact*: Polina L. Andropova – e-mail: polin.kira@mail.ru

Polina L. Andropova – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/org/0000-0002-0416-493X>. E-mail: polin.and@icloud.com

Polina A. Kolesnikova – postgraduate (PhD) student of the Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2406-6349>. E-mail: larionova_pa@gkl-kemerovo.ru

Pavel V. Gavrilov – Cand. of Sci. (Med.), leading Researcher, Head of the Department of Radiology Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-3251-4084>. E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Oleg V. Kokorev – Zone Clinical Leader, CT Russia and CIS, GE HealthCare, Moscow; <https://orcid.org/0009-0000-5495-3403>. E-mail: oleg.kokorev@ge.com

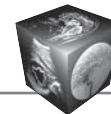
Elena V. Chernova – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-1451-0773>. E-mail: Le-nika@yandex.ru

Olesya A. Kurnosenko – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-9495-4189>. E-mail: olesia.hok@mail.ru

Diana H. Galustyan – radiologist of the X-ray department of the St. Petersburg City Hospital of the Holy Martyr Elizabeth, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-5990-1954>. E-mail: Galustyandkh@yandex.ru

Marina G. Boytsova – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Radiation Diagnostics, Medical Institute of St. Petersburg State University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-6244-975X>. E-mail: mgboitsova@mail.ru

Tatiana N. Trofimova – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Freelance Specialist in Radiology and Instrumental Diagnostics of the Northwestern Federal District of the Russian Federation and the Committee for Health, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. E-mail: TTrofimova@sogaz-clinic.ru



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1347>

Нейрофункциональные особенности головного мозга у пациентов с алиментарным ожирением по данным специальных методик магнитно-резонансной томографии (обзор литературы)

© Богдановская А.С.* , Тарумов Д.А., Максим О.В., Абдулаев Ш.К., Пучков Н.А.

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

Введение. Ожирение – хроническое заболевание, характеризующееся избыточным накоплением жировой ткани в организме, проявляющееся увеличением массы тела на 20% и более от средних величин. В настоящее время ожирение становится все более существенной проблемой здравоохранения. Оценка функциональной патологии головного мозга предоставляет большее количество сведений о патогенетических изменениях, приводящих к метаболическим нарушениям. Современные методы нейровизуализации позволяют получить информацию о начальных функциональных изменениях головного мозга по данным внутримозговой коннективности – функциональной связности между отдельными его структурами.

Цель исследования: изучение современных данных литературы о функциональных нарушениях коннективности головного мозга у пациентов с ожирением, в том числе с расстройствами пищевого поведения.

Материал и методы. Выполнен систематический обзор исследований, опубликованных в зарубежной и отечественной литературе. Поиск статей выполнен с использованием публикационных баз данных PubMed и Elibrary.

Результаты. Проблема функциональных исследований головного мозга при ожирении освещена достаточно подробно в западной англоязычной литературе. Тем не менее необходимо констатировать, что на настоящий момент статьи по исследуемой тематике в отечественных научных изданиях практически отсутствуют. Однако следует отметить, что и в зарубежной литературе редко встречаются данные по нейровизуализации головного мозга в плане нейросетевой коннективности, исследования при ожирении с наличием сопутствующей соматической патологии, например при диабете 2 типа, других нарушениях эндокринной системы. Сравнительно мало данных, где проводились бы корреляции с возрастом и полом пациентов, сопутствующими расстройствами психической сферы, что подчеркивает актуальность вопроса.

На последующих этапах совместного развития эндокринологии, психиатрии и лучевой диагностики применение современных методик магнитно-резонансной томографии (МРТ) поможет с выбором структур-мишеней для стереотаксической коррекции описываемой патологии. Клиническое применение функциональной МРТ (фМРТ) поможет раскрыть патогенез различных типов ожирения на нейрофункциональном уровне с дальнейшим прогнозированием и анализом развития заболевания, а непоследовательность и противоречивость получаемых в настоящее время результатов исследований патогенеза алиментарного ожирения в плане патологии функциональной связности на основе фМРТ, отсутствие клинического применения специальных методик МРТ обосновывают необходимость продолжения научного поиска в этом направлении.

Ключевые слова: расстройства пищевого поведения; ожирение; нейровизуализация

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Богдановская А.С., Тарумов Д.А., Максим О.В., Абдулаев Ш.К., Пучков Н.А. Нейрофункциональные особенности головного мозга у пациентов с алиментарным ожирением по данным специальных методик магнитно-резонансной томографии (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 53–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1347>

Поступила в редакцию: 14.03.2023. **Принята к печати:** 28.05.2024. **Опубликована online:** 29.07.2024.



Neurofunctional and microstructural features of the brain in patients with nutritional obesity according to special magnetic resonance imaging techniques (literature review)

© Anna S. Bogdanovskaya*, Dmitriy A. Tarumov, Oksana V. Maksim, Shamil K. Abdulaev, Nikolai A. Puchkov

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

Background. Obesity is a chronic disease characterized by excessive accumulation of adipose tissue in the body, manifested by an increase in body weight by 20 percent or more of the average values. Obesity is becoming an increasingly significant public health problem. Assessment of the functional pathology of the brain provides more information about the pathogenetic changes leading to metabolic disorders. Modern methods of neuroimaging make it possible to obtain information about the initial functional changes in the brain according to the data of intracerebral connectivity - functional connectivity between its individual structures.

Objective. The study of modern literature data on functional disorders of brain connectivity in patients with obesity, including those with eating disorders.

Materials and methods. A systematic review of studies published in foreign and domestic literature has been carried out. Articles were searched using the PubMed database and Elibrary.

Results. The problem of functional and microstructural studies of the brain in obesity is covered in sufficient detail in Western English-language literature. Nevertheless, it must be stated that at the moment there are practically no articles on the subject under study in domestic scientific publications. However, it should be noted that in the foreign literature there are rare data on neuroimaging of the brain in the aspect of neural network connectivity, studies in obesity with concomitant somatic pathology, for example, in type II diabetes, and other disorders of the endocrine system. There are relatively few data where correlations would be made with the age and gender of patients, concomitant mental disorders, which emphasizes the relevance of the issue.

At the subsequent stages of the joint development of endocrinology, psychiatry and radiation diagnostics, the use of modern MRI techniques will help with the choice of target structures for stereotaxic correction of the described pathology. The clinical application of functional MRI will help to reveal the pathogenesis of various types of obesity at the neurofunctional levels with further prediction and analysis of the development of the disease, while the inconsistency and inconsistency of the currently obtained results of studies of the pathogenesis of alimentary obesity in terms of the pathology of functional connectivity based on fMRI, the absence clinical application of special MRI techniques substantiate the need to continue scientific research in this direction.

Keywords: eating disorders; obesity; neuroimaging

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

For citation: Bogdanovskaya A.S., Tarumov D.A., Maxim O.V., Abdulaev S.K., Puchkov N.A. Neurofunctional and microstructural features of the brain in patients with nutritional obesity according to special magnetic resonance imaging techniques (literature review). *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 53–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1347>

Received: 14.03.2023.

Accepted for publication: 28.05.2024.

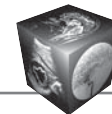
Published online: 29.07.2024.

Введение

Ожирение – хроническое заболевание, характеризующееся избыточным накоплением жировой ткани в организме, проявляющееся увеличением массы тела на 20% и более от средних величин. В настоящее время ожирение становится все более существенной проблемой здравоохранения [1].

Актуальность изучения данного заболевания обусловлена широким распространением среди населения, а также ежегодным увеличением количества лиц, имеющих избыточную массу тела на-

чиная уже с детского возраста. Ожирение может стать причиной инвалидности и смертности, являясь фактором риска развития таких заболеваний, как диабет, гипертоническая болезнь, инсульт, сердечно-сосудистые заболевания, при этом данное заболевание затрагивает не только взрослых, но и детей. По данным ВОЗ, в 2016 г. более 1,9 млрд взрослых (возрастом от 18 лет и старше) имели избыточную массу тела. Более 650 млн из них страдали ожирением. Среди мужчин ожирение составляло 11%, среди женщин – 15%.



По прогнозам к 2030 г. 60% населения будет иметь избыточную массу тела или ожирение при условии, что заболеваемость ожирением не уменьшится. В Российской Федерации на 2016 г. граждан, у которых выявлена избыточная масса тела, было 62,0%, с ожирением – 26,2%. Эндокринологические и психологические механизмы ожирения тесно связаны с нарушениями их центральной регуляции. Оценка функциональной патологии головного мозга предоставляет большее количество сведений о патогенетических изменениях, приводящих к метаболическим нарушениям. Современные методы нейровизуализации позволяют получить информацию о начальных функциональных изменениях головного мозга по данным внутримозговой коннективности – функциональной связности между отдельными его структурами [2]. Функциональная МРТ (фМРТ) является одной из ведущих методик в нейровизуализации головного мозга. Она позволяет оценить его активность по данным разницы концентрации окси- и дезоксигемоглобина, произвести картирование функционального состояния головного мозга. К достоинствам методики можно отнести отсутствие лучевой нагрузки, неинвазивность исследования, высокую специфичность, к недостаткам – возникновение артефактов, связанных даже с минимальными движениями пациентов внутри аппарата и субъективизм стимульного материала. В связи с этим в последнее время все чаще применяется фМРТ головного мозга в состоянии покоя. Следует упомянуть, что статьи по указанной тематике в отечественных научных изданиях практически отсутствуют.

Существует несколько видов ожирения. Одним из самых распространенных является алиментарное ожирение. Причина данного патологического состояния кроется в переизбытке (превышение суточной нормы калорий), недостаточности двигательной активности. Функциональная нейровизуализация головного мозга у пациентов с ожирением позволяет оценить изменения коннективности по сравнению с контрольной группой, а также раскрывает патогенетические его механизмы, связанные с нарушениями процессов эмоционального и когнитивного контроля поведения.

L. Moreno-Lopez и соавт. [3] в 2018 г. выявили, что нарушения пищевого поведения (булимия) непосредственно обусловлены патологией функциональных связей между определенными областями головного мозга, связанными с interoception (островок), эмоциональной памятью (средняя височная извилина) и когнитивным контролем (дорсолатеральная префронтальная кора). Авторами выявлено существенное снижение связности между островком и передней поясной

корой, между средней височной извилиной, задней поясной корой и клиновидной/прекунеальной извилиной у пациентов с ожирением по сравнению с контрольной группой [4].

В результате исследования патологии коннективности головного мозга у пациентов с ожирением В.У. Park и соавт. [5] установили, что значительные групповые различия в структурных связях испытуемых, имеющих лишнюю массу тела, по сравнению с контрольной группой наблюдались в таламусе, островке, скорлупе и орбитофронтальной коре.

В рамках описываемой научной тематики представляет интерес изучение коннективности головного мозга в различных физиологических состояниях. Так, в рамках исследования, проводимого J.A. Avery и соавт. [6], пациентам с ожирением и испытуемым с нормальной массой тела выполнялось МРТ-сканирование в состоянии покоя во время голодания и после приема пищи. В результате испытуемые с нормальной массой тела и с ожирением показали различные модели функциональной коннективности между структурами головного мозга, участвующими в системе вознаграждения, ощущении голода и насыщения, таких как медиальная орбитофронтальная кора, вентральное полосатое тело и др.

В исследованиях отмечено, что у испытуемых контрольной группы отмечались достоверные корреляции между чувством голода и активностью медиальной орбитофронтальной коры, в то время как у пациентов с ожирением выявлялась патологическая коннективность вентрального полосатого тела с островковой областью. Выявлено, что дорсальная область функциональных участков *среднего островка* отвечает как за interoception (информация от внутренних органов), так и за реакцию на вкусовую и визуальную стимуляцию (вкус и вид пищи).

Эти изменения доказывают различие в пищевой мотивации у людей с ожирением, в котором поведение, ассоциированное с едой, определяется в большей степени поиском вознаграждения, чем значимой interoceptивной информацией от организма [6]. Отмечена функциональная связь между дорсальным средним островком и дорсальным полосатым телом, наблюдаемая после приема пищи и различающаяся у пациентов с ожирением и обследуемых со здоровой массой тела. При этом эти изменения коррелируют с субъективным отношением пациента к пище.

Участники исследования с ожирением также продемонстрировали повышенную функциональную связь между правым дорсальным средним островком и правым полосатым телом как до еды,

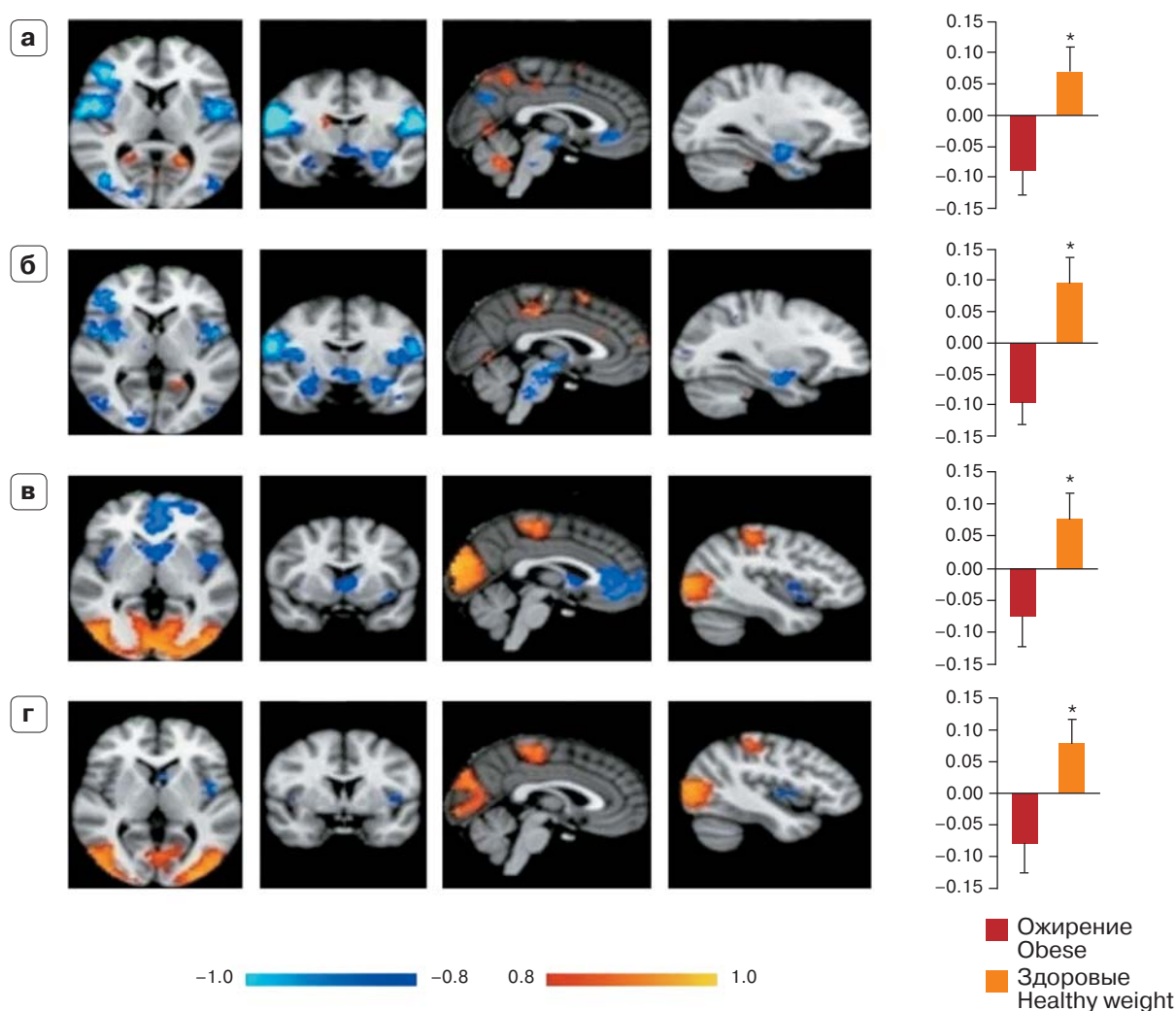


Рис. 1. Различия в коннективности между группами пациентов со здоровой массой тела и ожирением ($p < 0,05$).
Fig. 1. Difference in connectivity between healthy weight and obese groups ($p < 0,05$).

так и после еды. При этом результаты положительно коррелировали с тем, насколько привлекательной они оценивали предлагаемую в качестве стимулов еду. Напротив, у испытуемых контрольной группы наблюдалась прямо противоположная картина: снижалась коннективность между островком и полосатым телом после еды.

Кроме того, у испытуемых с ожирением и здоровой массой тела были выявлены области, в которых изменения функциональной связности между островковой корой были связаны с особенностями субъективной оценки испытуемыми чувства голода. У пациентов с ожирением это была область левого вентрального полосатого тела, расположенная в головке хвостатого ядра. Эта особенность присутствовала только у пациентов с ожирением.

При этом у группы пациентов с нормальной массой тела была выявлена взаимосвязь между

чувством голода и изменением функциональной связи только с областью левой медиальной орбитофронтальной коры.

По одним из последних научных данных [7] метаболическая активность всего организма регулируется “узловыми” структурами головного мозга в плане теории “единой коннективности”. Выявлена реорганизация нейросетевой коннективности головного мозга при ожирении во время приема пациентами молочного коктейля. У пациентов из группы с ожирением (рис. 1) анализ продемонстрировал снижение показателей глобальной коннективности мозга (GBC) по сравнению с нормой (области показаны холодными тонами). Области, помеченные теплыми тонами, демонстрируют увеличение средних значений активности отдельных структур головного мозга. При ожирении отдельно отмечается повышение активно-

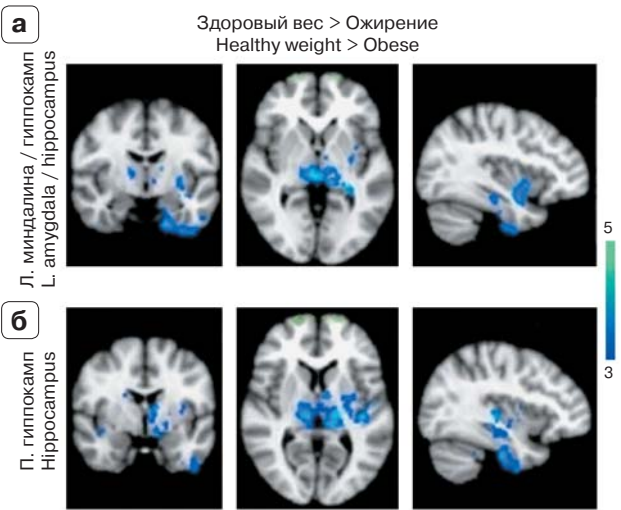


Рис. 2. Активность структур головного мозга (левая миндалина и гиппокамп) ($p < 0,05$).
Fig. 2. Activity of brain structures (left amygdala and hippocampus) ($p < 0.05$).

сти таких структур, как островок и хвостатое ядро. По нашему мнению, отдельно следует указать на снижение контролирующей функции коры над подкорковыми структурами в системе “островок (как регулятор когнитивных социальных функций)–хвостатые ядра (“генератор” тревоги)”. На рис. 2 представлено межгрупповое сравнение активности в левых миндалине и гиппокампе (а), а также в правом гиппокампе (б) во время употребления молочного коктейля.

В таблице представлены изменения в параметрах глобальной коннективности мозга (GBC) во

время приема молочного коктейля по сравнению с состоянием функционального покоя.

Стрелками обозначено направление изменения GBC при ожирении. Дорсальная сеть внимания включает верхнюю теменную долю, премоторную область, зрительные области. Вентральная сеть внимания включает правое лобное поле глаза, вентральную боковую префронтальную кору и правый височно-теменной переход (надкраевая извилина). В контрольной группе (пациенты с нормальной массой тела) в состоянии покоя и во время употребления молочного коктейля GBC последовательно снижается в вентромедиальной и вентролатеральной префронтальной коре, в островке и хвостатом ядре и увеличивается в премоторных областях, верхней теменной доле и зрительной коре.

Высокая нейрофункциональная связь у людей с ожирением наблюдалась во время употребления молочного коктейля, более слабая связь – в состоянии покоя. По данным фМРТ в состоянии покоя в группе пациентов с ожирением GBC в дорсальной и вентральной боковой префронтальной коре и хвостатом ядре снижается, однако при употреблении коктейля GBC снизилась в первичной соматосенсорной/моторной зоне коры, а также в островке, в миндалевидном теле, в переднем гиппокампе, в гипоталамусе и в стволе мозга [7].

Данные результаты свидетельствуют о том, что ожирение связано с изменением баланса GBC между областями, контролирующими восприятие свойств пищи (вентральная медиальная префронтальная и кора островка), и областями, ориентированными на восприятие стимулов внешней

Таблица. Сравнение параметров глобальной коннективности мозга во время приема молочного коктейля и в состоянии функционального покоя ($p < 0,05$)
Table. Summary of changes in global brain connectivity (GBC) during milkshake ingestion and during rest ($p < 0.05$)

	Молочный коктейль Milkshake	Отдых Rest
Вентральная сеть внимания / Ventral Attention Network	↓	↓
Дорсальная сеть внимания / Dorsal Attention Network	↑↓	↑↓
Сеть режима по умолчанию / Default mode network	↓	↓
Дополнительная двигательная зона / Supplementary motor area	↑	↓
Вентромедиальная префронтальная кора / Ventro-medial prefrontal cortex	–	↑
Островок / Insula	↓	↓
Таламус / Thalamus	↓	↑↓
Дорсальный стриатум / Dorsal Striatum	↓	–
Вентральный стриатум / Ventral Striatum	↑	–
Гиппокамп / Hippocampus	↓	–
Миндалевидное тело / Amygdala	↓	–
Гипоталамус / Hypothalamus	↓	–

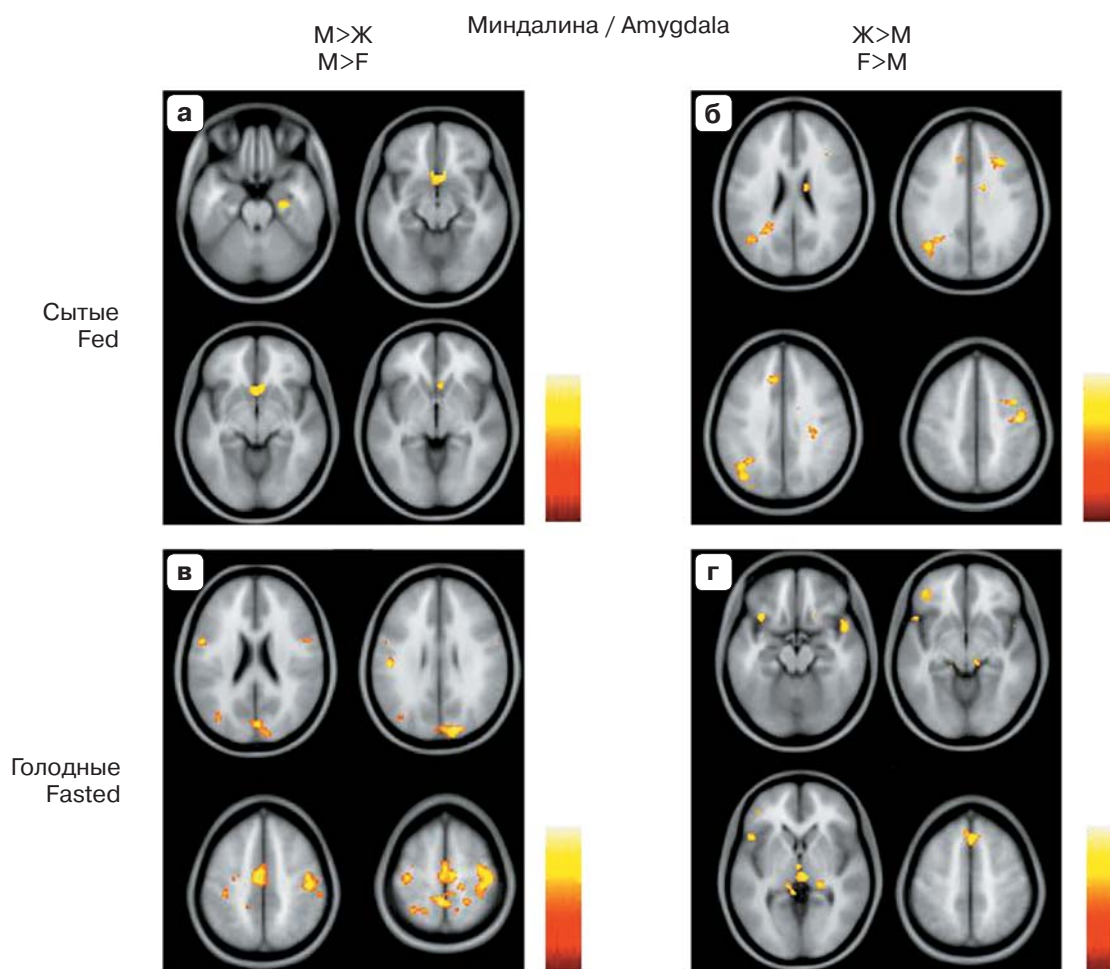


Рис. 3. Половые различия в функциональной связности головного мозга. Патология коннективности миндалины ($p < 0,05$).

Fig. 3. Sex differences in the functional connectivity of the brain. Pathology of the connectivity of the amygdala ($p < 0.05$).

среды (премоторная, теменная и зрительная области) [8].

В исследовании D. Atalayer и соавт. [9] рассматриваются половые различия в функциональных связях головного мозга. Значимые различия выявляются при патологии функциональной коннективности миндалевидного тела (AMG) в ответ на визуальные пищевые стимулы у пациентов с ожирением. При приеме пищи у мужчин с ожирением отмечалась большая функциональная связность с AMG и субгенуальной передней частью поясной извилины головного мозга по сравнению с испытуемыми женского пола (рис. 3а).

Женщины демонстрировали большую коннективность с миндалиной в угловой и прецентральной извилинах (рис. 3б). При фМРТ-исследовании, проводимом в состоянии натощак, были получены следующие результаты: мужчины с ожирением имели большую функциональную связь

с AMG в предклинье, дополнительной моторной области и прецентральной извилине (рис. 3в). Женщины же, напротив, имели повышенную коннективность миндалины с таламусами, нижней лобной извилиной и дорсомедиальной префронтальной корой (рис. 3г).

Также было проведено изучение функциональной коннективности вентрального полосатого тела (VS). Ответом на "голод" у мужчин с повышенной массой тела при проведении фМРТ стало увеличение коннективности VS с прецентральной извилиной, дополнительной моторной корой и предклинием. На фоне приема пищи как у мужчин, так и у женщин с ожирением не отмечалось статистически значимых кластеров активаций головного мозга в области полосатого тела при фМРТ (рис. 4а, б, г). Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что у мужчин с ожирением чаще отмечалось повышение коннективности между областями

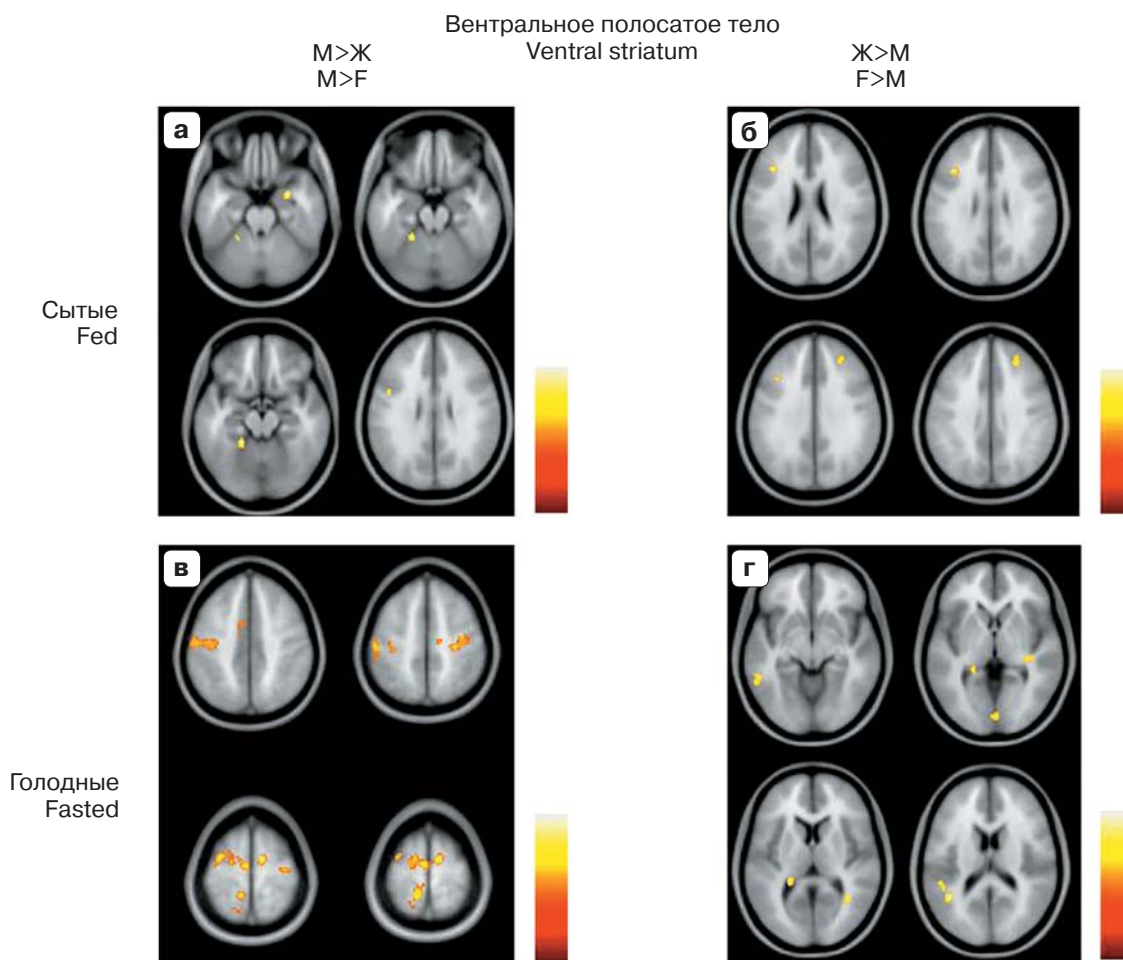
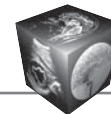


Рис. 4. Половые различия в функциональной связности головного мозга. Изменения коннективности вентрального полосатого тела ($p < 0,05$).

Fig. 4. Sex differences in the functional connectivity of the brain. Changes in the connectivity of the ventral striatum ($p < 0.05$).

головного мозга, отвечающими за двигательные и эмоциональные функции, а у женщин, в свою очередь, – с областями когнитивного контроля.

Учитывая высокую социальную значимость проблемы ожирения [10], необходимо упомянуть о важности мер борьбы с этим заболеванием. Значительный вклад в выздоровление пациентов вносят психотерапевтические методы коррекции пищевого поведения. Соблюдение диеты также является ключевым шагом в предотвращении чрезмерного набора массы тела и других проблем с питанием. Зачастую пациенты с ожирением пытаются самостоятельно снизить массу своего тела. По данным Y. Su и соавт. [11], испытуемые, которым было предложено соблюдать низкокалорийную диету, были объединены в категорию “сдержанные”. Впоследствии при попытке соблюдать диету с ограничением калорийности и объема пи-

тания были выделены группы “успешные сдержанные” (У-С) и “неуспешные сдержанные” (Н-С).

Пищевые стимулы способны запускать процессы успешного контроля торможения в головном мозге у У-С, в то время как Н-С не могут противостоять влечению к высококалорийной пище, тем самым проявляя высокую вероятность переедания.

Результаты фМРТ выявили более сильную активацию в областях головного мозга, отвечающих за исполнительные функции и торможение (т.е. средняя лобная извилина и мозжечок), связанные с употреблением высококалорийной пищи среди У-С по сравнению с Н-С. Однако у Н-С, как и у испытуемых, не ограничивающих себя строгой диетой, во время фМРТ выявлена более выраженная активация во время употребления низкокалорийной пищи в областях вознагражде-



ния головного мозга (т.е. в области орбитофронтальной коры, чем у У-С.

Результаты исследования, проведенного Y. Su, показывают, что пищевые стимулы могут запустить процессы успешного контроля торможения у У-С, в то время как Н-С зачастую не могут противостоять влечению к высококалорийной пище, тем самым демонстрируя высокую вероятность переедания.

При фМРТ в состоянии покоя основное различие заключалось в том, что группа У-С демонстрировала значительно большую активацию, чем Н-С, в средней лобной извилине и мозжечке.

Более того, по сравнению с испытуемыми контрольной группы, которые не придерживались строгой диеты, У-С показали повышенную активацию средней лобной извилины (в отличие от этого, контрольная группа показала большую активацию в *нижней орбитофронтальной коре и хвостом ядра*). Также группа Н-С показывала значительно большую активацию, чем У-С, в средней/нижней орбитофронтальной коре и гиппокампе. Кроме того, по сравнению с Н-С испытуемые контрольной группы продемонстрировали значительно повышенную активацию верхней лобной извилины и мозжечка.

Важное значение в патогенезе ожирения имеет адекватное восприятие организмом состояний “голода” и “насыщения”. Миндалевидное тело участвует в реакции на такие значимые сигналы, как голод, играет важную роль в системе вознаграждения головного мозга. Островок, в свою очередь, связывает восприятие внутренних стимулов с эмоциональной и мотивационной сферами психики. Связность между миндалевидным телом и островком головного мозга у здоровых людей после ночного голодания изменялась, в то время как у людей с ожирением этот показатель не менялся [12]. При этом у испытуемых с нормальной массой тела в ответ на прием пищи также наблюдались изменения в коннективности между миндалевидным телом и островком, в то время как у испытуемых с лишней массой тела она не менялась.

Интересно, что у здоровых испытуемых коннективность гипоталамуса изменялась при приеме пищи и становилась похожей на связь, наблюдавшуюся у испытуемых с лишней массой тела до и после приема пищи.

В частности, отрицательная гипоталамическая связь с левой нижней лобной корой и островком, которая была обнаружена у испытуемых с ожирением до еды, уменьшилась у пациентов контрольной группы.

Островок, как известно, участвует в самовосприятии, связывает анализ внутренних стиму-

лов с эмоциями и мотивацией человека. Гипоталамус и островок являются частью так называемой сети выявления значимости, которая воспринимает внутренние и внешние сигналы для соответствующей адаптации поведения индивидуума.

По данным I. García-García и соавт. [13], возрастание коннективности гипоталамуса и островка у здоровых людей в фазе голода и снижение ее после приема пищи может отражать способность “оценивать” восприятие голода в данном состоянии у здоровых испытуемых и “прекращение” этого сигнала после приема пищи. Как выяснилось в исследовании, при ожирении наблюдается снижение чувствительности к сигналам мозга, связанным с насыщением. После приема пищи связность гипоталамуса с дорсальным полосатым телом (хвостатым ядром и скорлупой) оставалась положительной у лиц с ожирением по сравнению с таковой у здоровых испытуемых. В то же время у здоровых пациентов эта связность уменьшалась после приема пищи.

Известно, что дофаминергические цепи в дорсальном полосатом теле участвуют в активации системы вознаграждения. Было показано, что активность хвостатого ядра повышается у лиц с ожирением в гиперинсулинемическом состоянии. И наоборот, было высказано предположение, что относительный или абсолютный дефицит дофамина у лиц с ожирением закрепляет “патологическое” переедание как средство компенсации сниженной активации этих цепей. Таким образом, отсутствие связи гипоталамус–полосатое тело в гиперинсулинемическом постпрандиальном (возникающем после еды) состоянии у пациентов с ожирением, по-видимому, притупляет ощущение “вознаграждения”, связанное с приемом пищи [13].

Последние данные K.E. Almby и соавт. (2021) [14] свидетельствуют о том, что значительная потеря мвсы тела в связи с проведенной бариатрической хирургической операцией способна (по крайней мере частично) восстановить надлежащую функцию гипоталамуса, что может препятствовать дальнейшему “патологическому перееданию”.

Помимо алиментарного ожирения, такая проблема, как избыточная масса тела, может встречаться и у пациентов с расстройствами пищевого поведения (РПП). Необходимо рассмотреть особенности коннективности головного мозга при данной патологии, что позволит выполнить сравнение функциональной связи структур головного мозга у пациентов с РПП (например, булимией и анорексией), у пациентов с нормальной массой тела и у испытуемых с алиментарным ожирением [15].

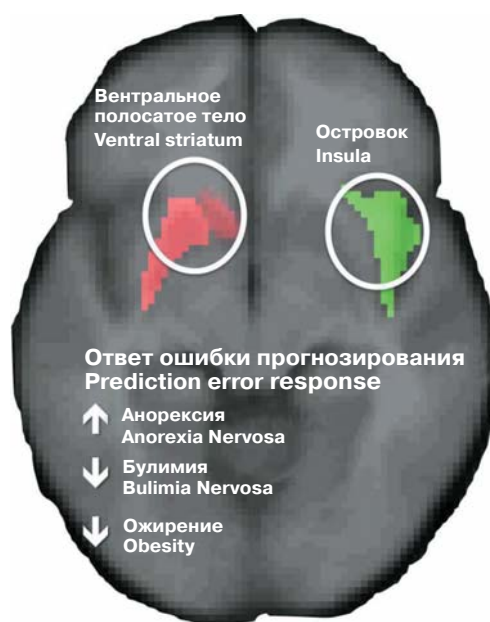
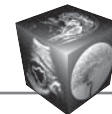


Рис. 5. Уменьшение и увеличение объема левой орбитофронтальной извилины и правого островка при булимии и анорексии соответственно ($p < 0,05$).

Fig. 5. Reduction and increase in the volume of the left orbitofrontal gyrus and the right insula in bulimia and anorexia, respectively ($p < 0.05$).

В своем исследовании Т. Asami и соавт. [16] обнаружили, что объем орбитофронтальной коры изменяется у пациентов с расстройством пищевого поведения. Увеличенный объем орбитофронтальной коры, отвечающей за когнитивный контроль, при анорексии может способствовать прекращению приема пищи еще до удовлетворения физиологической потребности.

В ходе различных МР-исследований [17–19] были выявлены изменения в области коры островка головного мозга. Этот регион является частью системы награды головного мозга в плане вкусового восприятия пищи, а нарушения в нем являются одной из ключевых причин развития РПП.

В своем исследовании J.J. Simon и соавт. [17] выявили, что повышенная активация областей мозга, связанных с вознаграждением, во время обработки вкуса обсуждалась как повышенная значимость вкусовых стимулов и считается потенциальным нейронным биомаркером анорексии.

У испытуемых с расстройствами пищевого поведения также страдают системы когнитивного контроля. В частности, у людей с булимическими нарушениями наблюдается снижение активности префронтальной коры во время выполнения задач когнитивного контроля по ограничению в пище.

Также М.А. Stopyra и соавт. обнаружили, что передняя часть поясной извилины и медиальной

лобной коры были менее активны при булимии по сравнению с пациентами контрольной группы [18].

Результаты исследований G.K. Frank [19] при РПП свидетельствуют об увеличении объема орбитофронтальной коры и уменьшении объема хвостатого ядра и скорлупы у пациентов с булимией, увеличении объема островка у пациентов с анорексией (рис. 5).

Также отмечено снижение объема белого вещества нижней височной доли при анорексии по сравнению с группой контроля, уменьшение объема нижней теменной доли и средней височной доли при булимии.

Не менее значимым является вторичное ожирение (например, с установленным генетическим дефектом пациента). Наиболее ярким примером такой патологии является синдром Прадера–Вилли. Синдром Прадера–Вилли (СПВ) – это генетическое заболевание, вызванное отсутствием экспрессии генов в хромосоме 15, что приводит к сложному фенотипу, который характеризуется характерными физическими особенностями и специфическими эндокринными и поведенческими проблемами, в том числе склонностью к перееданию. Данные исследования помогают сравнить ранее полученные данные о пациентах с алиментарным ожирением с данными о пациентах с СПВ. Известно также, что у пациентов с этим расстройством возникает желание потреблять пищу, не вызывающую аппетит у здоровых людей (еда из мусорного ведра, испорченные продукты и т.д.). Этот факт наталкивает на мысль о том, что такой патологически измененный контроль аппетита может быть связан с неадекватным восприятием данными пациентами пищевых стимулов [20].

На рис. 6 представлены межгрупповые различия в реакции мозга на неприятные пищевые стимулы. По сравнению с контрольной группой у лиц с СПВ по данным фМРТ наблюдалось значительное снижение активации в нескольких подкорковых структурах.

В исследовании J.L. Miller и соавт. [21] у лиц с СПВ наблюдалось усиление активаций в вентромедиальной префронтальной коре по сравнению с контрольной группой при просмотре изображений пищи после перорального приема глюкозы.

Один из наиболее ярких примеров детского ожирения наблюдается у детей с краниофарингиомой (КФ), эмбриональной опухолью, расположенной в гипоталамической и/или гипофизарной области. В исследовании С.Л. Roth и соавт. [22] изучалась активность головного мозга при просмотре визуальных пищевых стимулов у пациентов с КФ и у пациентов контрольной группы (рис. 7).

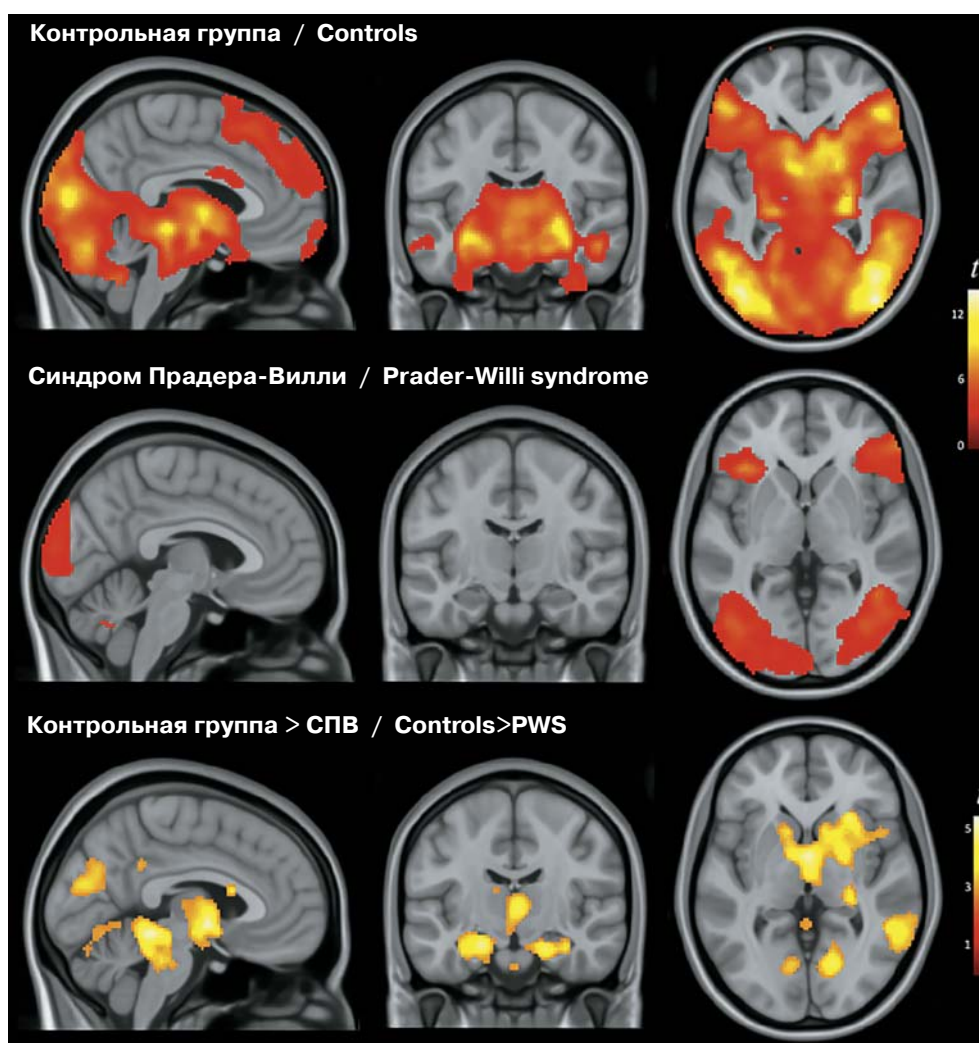
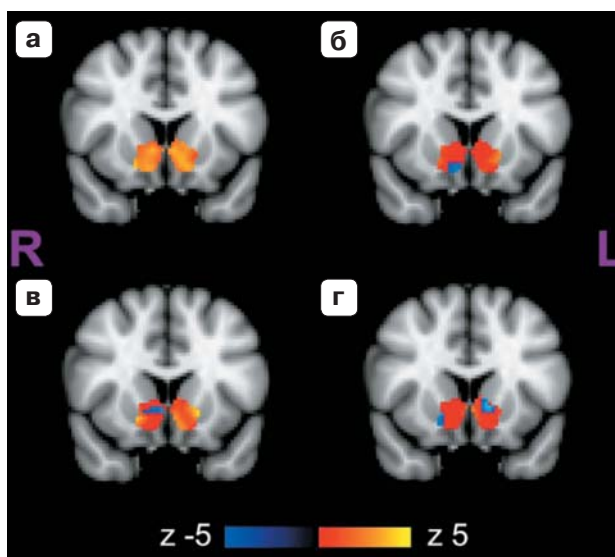


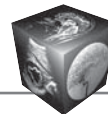
Рис. 6. Снижение активности подкорковых структур головного мозга у испытуемых с синдромом Прадера-Вилли ($p < 0,05$).

Fig. 6. Decreased activity of subcortical structures of the brain in subjects with Prader-Willi syndrome ($p < 0.05$).

Рис. 7. Сравнение активности гипоталамической области головного мозга у испытуемых с КФ и контрольной группы после приема пищи ($p < 0,05$). R – справа; L – слева. Пояснение в тексте.

Fig. 7. Comparison of the activity of the hypothalamic region of the brain in subjects with CF and in the control group after a meal ($p < 0.05$). Explanation in the text.





Пациенты контрольной группы до (а) и после (б) приема пищи. Пациенты с КФ до (в) и после (г) приема пищи. Изменение с желтого/оранжевого на красный/синий цвет указывает на снижение активности гипоталамической области головного мозга после еды у пациентов контрольной группы, в то время как у пациентов с КФ такого эффекта не наблюдалось, что свидетельствовало о нарушениях ощущения насыщения после приема пищи [22].

Заключение

Таким образом, из литературного обзора следует, что проблема функциональных исследований головного мозга при ожирении освещена достаточно подробно в западной англоязычной литературе, однако практически отсутствуют работы по совместному анализу данных в плане сочетанного анализа функциональных и микроструктурных (трактография, морфометрия) данных коннективности, анализу независимых компонент и анализу графов.

На последующих этапах совместного развития эндокринологии, психиатрии и лучевой диагностики применение современных специальных методик МРТ поможет с выбором структур-мишеней для стереотаксической коррекции описываемой патологии. Клиническое применение фМРТ поможет раскрыть патогенез различных типов ожирения на нейрофункциональном уровне с дальнейшим прогнозированием и анализом развития заболевания, а непоследовательность и противоречивость получаемых в настоящее время результатов исследований патогенеза алиментарного ожирения в плане патологии функциональной и микроструктурной связности на основе фМРТ, МР-морфометрии, отсутствие клинического применения специальных методик МРТ обосновывают необходимость продолжения научного поиска в этом направлении.

Участие авторов

Богдановская А.С. – проведение исследования, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Тарумов Д.А. – подготовка и редактирование текста, концепция и дизайн исследования.

Максим О.В. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста.

Абдулаев Ш.К. – анализ и интерпретация полученных данных ответственность за целостность всех частей статьи, сбор и обработка данных, участие в научном дизайне.

Пучков Н.А. – анализ и интерпретация полученных данных, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи.

Authors' participation

Bogdanovskaya A.S. – conducting research, writing text, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

Tarumov D.A. – text preparation and editing, concept and design of the study.

Maxim O.V. – concept and design of the study, text preparation and editing.

Abdulaev S.K. – analysis and interpretation of the obtained data, responsibility for the integrity of all parts of the article, collection and analysis of data, participation in scientific design.

Puchkov N.A. – analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, review of publications.

Список литературы [References]

1. World Health Organization: сайт. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (дата обращения: 19.12.2022)
2. Lips M.A., Wijngaarden M.A., van der Grond J. et al. Resting-state functional connectivity of brain regions involved in cognitive control, motivation, and reward is enhanced in obese females. *Am. J. Clin. Nutr.* 2014; 100 (2): 524–531. <http://doi.org/10.3945/ajcn.113.080671>. PMID: 24965310
3. Moreno-Lopez L., Contreras-Rodriguez O., Soriano-Mas C. et al. Disrupted functional connectivity in adolescent obesity. *Neuroimage Clin.* 2016; 12: 262–268. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.07.005>
4. Stopyna M.A., Simon J.J., Skunde M. et al. Altered functional connectivity in binge eating disorder and bulimia nervosa: A resting-state fMRI study. *Brain Behav.* 2019; 9 (2): e01207. <http://doi.org/10.1002/brb3.1207>. PMID: 30644179
5. Park B.Y., Seo J., Yi J., Park H. Structural and Functional Brain Connectivity of People with Obesity and Prediction of Body Mass Index Using Connectivity. *PLoS One.* 2015; 10 (11): e0141376. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0141376>. PMID: 26536135
6. Avery J.A., Powell J.N., Breslin F.J. et al. Obesity is associated with altered mid-insula functional connectivity to limbic regions underlying appetitive responses to foods. *J. Psychopharmacol.* 2017; 31 (11): 1475–1484. <http://doi.org/10.1177/0269881117728429>. PMID: 28944718
7. Geha P., Cecchi G., Todd Constable R. et al. Reorganization of brain connectivity in obesity. *Hum. Brain Mapp.* 2017; 38 (3): 1403–1420. <http://doi.org/10.1002/hbm.23462>. PMID: 27859973
8. Miller J.L., James G.A., Goldstone A.P. et al. Enhanced activation of reward mediating prefrontal regions in response to food stimuli in Prader-Willi syndrome. *J. Neurol. Neurosurg Psychiatry.* 2007; 78 (6): 615–619. <http://doi.org/10.1016/10.1136/jnnp.2006.099044>
9. Atalayer D., Pantazatos S.P., Gibson C.D. et al. Sexually dimorphic functional connectivity in response to high vs. low energy-dense food cues in obese humans: an fMRI study. *Neuroimage.* 2014; 100: 405–413. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.054>. PMID: 24862077
10. Багненко С.Ф., Крюков Е.В. Ожирение и ассоциированные заболевания. Консервативное и хирургическое лечение: Руководство для врачей. С.-Пб.: СпецЛит, 2022. 478 с.



- Bagnenko S.F., Kryukov E.V. Obesity and associated diseases. Conservative and surgical treatment: Guide for doctors. St. Petersburg: SpetsLit, 2022. 478 p. (In Russian)
11. Su Y., Bi T., Gong G. et al. Why Do Most Restrained Eaters Fail in Losing Weight? Evidence from an fMRI Study. *Psychol. Res. Behav. Manag.* 2019; 12: 1127–1136. <http://doi.org/10.2147/PRBM.S228430>. PMID: 31920410
 12. Kung P.H., Soriano-Mas C., Steward T. The influence of the subcortex and brain stem on overeating: How advances in functional neuroimaging can be applied to expand neurobiological models to beyond the cortex. *Rev. Endocr. Metab. Disord.* 2022; 23 (4): 719–731. <http://doi.org/10.1007/s11154-022-09720-1>. PMID: 35380355
 13. García-García I., Jurado M.Á., Garolera M. et al. Functional network centrality in obesity: A resting-state and task fMRI study. *Psychiatry Res.* 2015 Sep 30; 233 (3): 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.05.017>
 14. Almby K.E., Lundqvist M.H., Abrahamsson N. et al. Effects of Gastric Bypass Surgery on the Brain: Simultaneous Assessment of Glucose Uptake, Blood Flow, Neural Activity, and Cognitive Function During Normo- and Hypoglycemia. *Diabetes.* 2021; 70 (6): 1265–1277. <http://doi.org/10.2337/db20-1172>. PMID: 33674408
 15. Aarts E., Weber B., Ferrari M. et al. Neuroimaging and neuromodulation approaches to study eating behavior and prevent and treat eating disorders and obesity. *Neuroimage Clin.* 2015; 8: 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2015.03.016>. PMID: 26110109
 16. Asami T., Takaishi M., Nakamura R. et al. Structural brain abnormalities in adolescent patients with anorexia nervosa at both the acute and weight-recovered phase. *Brain Imaging Behav.* 2022; 16 (3): 1372–1380. <http://doi.org/10.1007/s11682-021-00622-5>. PMID: 35025002
 17. Simon J.J., Stopyra M.A., Friederich H.C. Neural Processing of Disorder-Related Stimuli in Patients with Anorexia Nervosa: A Narrative Review of Brain Imaging Studies. *J. Clin. Med.* 2019; 8 (7): 1047. <http://doi.org/10.3390/jcm8071047>. PMID: 31323803
 18. Stopyra M.A., Simon J.J., Skunde M. et al. Altered functional connectivity in binge eating disorder and bulimia nervosa: A resting-state fMRI study. *Brain Behav.* 2019; 9 (2): e01207. <http://doi.org/10.1002/brb3.1207>. PMID: 30644179
 19. Frank G.K. Advances from neuroimaging studies in eating disorders. *CNS Spectr.* 2015; 20 (4): 391–400. <http://doi.org/10.1017/S1092852915000012>
 20. Blanco-Hinojo L., Pujol J., Esteba-Castillo S. et al. Lack of response to disgusting food in the hypothalamus and related structures in Prader Willi syndrome. *Neuroimage Clin.* 2019; 21: 101662. <http://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101662>. PMID: 30639180
 21. Miller J.L., James G.A., Goldstone A.P. et al. Enhanced activation of reward mediating prefrontal regions in response to food stimuli in Prader-Willi syndrome. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2007; 78 (6): 615–619. <http://doi.org/10.1136/jnnp.2006.099044>
 22. Roth C.L., Aylward E., Liang O. et al. Functional neuroimaging in craniopharyngioma: a useful tool to better understand hypothalamic obesity? *Obes. Facts.* 2012; 5 (2): 243–253. <http://doi.org/10.1159/000338695>. PMID: 22647305

Для корреспонденции*: Богдановская Анна Сергеевна – e-mail: anny9979@yandex.ru

Богдановская Анна Сергеевна – студентка 7 факультета VI курса ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0002-2656-9070>

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

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

Максим Оксана Владимировна – канд. мед. наук, доцент, преподаватель 1 кафедры (терапии усовершенствования врачей), ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-0808-3325>

Пучков Николай Александрович – клинический ординатор кафедры психиатрии ФГБОУ ВО “Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова” Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-2703-9883>

Contact*: Anna S. Bogdanovskaya – e-mail: anny9979@yandex.ru

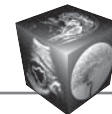
Anna S. Bogdanovskaya – student of the 7th faculty, Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0002-2656-9070>

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

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

Oksana V. Maksim – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Lecturer of the 1st Department (Advanced Physician Therapy), Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-0808-3325>

Nikolai A. Puchkov – Resident Physician, Department of Psychiatry, Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-2703-9883>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1490>

MPT-признаки структурных и перфузионных изменений при хронической ишемии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде

© Куликова Т.А.¹, Мешков Н.А.¹, Солодкий В.А.¹, Нуднов Н.В.¹, Сергеев Н.И.^{1, 2*}

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

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

Цереброваскулярная болезнь (ЦВБ) выявлена у 87% из обследованных ликвидаторов последствий аварий (ЛПА) на ЧАЭС через 7–8 лет после участия в аварийно-восстановительных работах с дозой облучения $\leq 0,3$ Гр. Анализ проведенных исследований показывает, что результаты структурных методов лучевой диагностики не всегда коррелируют со степенью выраженности клинической картины. Перспективным представляется использование расширенного МРТ-обследования головного мозга для оценки корреляции анатомических и функциональных показателей различных групп наблюдения у лиц с хронической цереброваскулярной недостаточностью.

Цель исследования: сопоставить данные структурной МРТ головного мозга и показатели перфузии мозговой гемодинамики у ЛПА и пациентов контрольной группы.

Материал и методы. Обследовано 147 пациентов в возрасте от 55 до 87 лет с диагнозом: хроническая цереброваскулярная болезнь. Основная группа (ОГ) – 93 ЛПА, группа сравнения (ГС) – 54 пациента, не подвергавшихся радиационному воздействию. Выявленные изменения оценивались по степени атрофии белого и серого вещества, по степени глиозных изменений и сопоставлялись с данными перфузионных показателей.

Результаты. Признаки атрофического процесса головного мозга выявлены у 93,9% в ОГ и у 76,7% пациентов из ГС, микроангиопатии – у 100,0 и 83,4%. Риск развития атрофии и микроангиопатии у ЛПА составляет 1,24 ($p = 0,041$) и 1,14 ($p = 0,008$) соответственно. При сравнении показателей МРТ-перфузии (CBV, CBF и MTT) между корой и глией у пациентов ОГ и ГС установлено, что соотношение кора/глия между CBV и CBF в ОГ ниже, чем в ГС на 13,9 и 24,2% соответственно. Сравнительный анализ параметров МРТ-перфузии показал, что у ЛПА соотношение между CBV в глии и коре правого полушария меньше на 0,3 и 11,7%, а в левом полушарии – на 19,3 и 22,9%. CBF в глии правого полушария у ЛПА повышен на 6,9%, а в коре снижен на 14,2%, в левом полушарии – на 9,8 и 13,4% соответственно.

Выводы. Проведенное исследование показало высокую эффективность контрастной МРТ-перфузии, позволило выявить корреляцию структурных и перфузионных изменений в различных исследовательских группах.

Ключевые слова: цереброваскулярная болезнь; МРТ-перфузия; ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС; головной мозг

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Куликова Т.А., Мешков Н.А., Солодкий В.А., Нуднов Н.В., Сергеев Н.И. МРТ-признаки структурных и перфузионных изменений при хронической ишемии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 65–76. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1490>

Поступила в редакцию: 3.07.2024.

Принята к печати: 18.07.2024.

Опубликована online: 2.08.2024.



MRI-signs of structural and perfusion changes in chronic cerebral ischemia in liquidators of the aftermath of the Chernobyl nuclear power plant accident in the remote period

© Tatyana A. Kulikova¹, Nikolay A. Meshkov¹, Vladimir A. Solodkiy¹,
Nikolay V. Nudnov¹, Nikolay I. Sergeev^{1, 2*}

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

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

Cerebrovascular disease (CVD) was detected in 87% of the examined liquidators of accidents at the Chernobyl Nuclear Power Plant 7–8 years after participating in emergency recovery work with a radiation dose of ≤ 0.3 Gy. Analysis of the conducted studies shows that the results of structural methods of radiation diagnostics do not always correlate with the severity of the clinical picture. The use of an extended MRI examination of the brain to assess the correlation of anatomical and functional indicators of various observation groups in people with chronic cerebrovascular insufficiency seems promising.

Purpose. To compare structural MRI data of the brain and indicators of cerebral hemodynamic perfusion in LPA and patients in the control group.

Materials and methods. 147 patients aged from 55 to 87 years old with a diagnosis of chronic cerebrovascular disease were examined. The main group – 93 patients, the comparison group – 54 patients who were not exposed to radiation. The identified changes were assessed by the degree of atrophy of white and gray matter, by the degree of gliosis changes, and were compared with the data of perfusion parameters.

Results. Signs of the atrophic process of the brain were detected in 93.9% of the main group and in 76.7% of patients from the comparison group, microangiopathy – in 100.0 and 83.4%. The risk of developing atrophy and microangiopathy in LPA is 1.24 ($p = 0.041$) and 1.14 ($p = 0.008$), respectively. When comparing MRI perfusion parameters (CBV, CBF and MTT) between the cortex and glia in patients of the main and control groups, it was found that the cortex/glia ratio between CBV and CBF in the OG is lower than in the GS by 13.9 and 24.2, respectively %. A comparative analysis of MRI perfusion parameters showed that in LPA the ratio between CBV in the glia and cortex of the right hemisphere is lower, by 0.3 and 11.7%, and in the left hemisphere – by 19.3 and 22.9%. CBF in the glia of the right hemisphere of the LPA is increased by 6.9%, and in the cortex it is decreased by 14.2%, in the left hemisphere – by respectively 9.8 and 13.4%.

Conclusions. The study showed the high efficiency of contrast MRI perfusion and made it possible to identify the correlation of structural and perfusion changes in different research groups.

Keywords: cerebrovascular disease; MRI perfusion; liquidators of the consequences of the Chernobyl accident; brain

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

For citation: Kulikova T.A., Meshkov N.A., Solodkiy V.A., Nudnov N.V., Sergeev N.I. MRI-signs of structural and perfusion changes in chronic cerebral ischemia in liquidators of the aftermath of the Chernobyl nuclear power plant accident in the remote period. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 65–76.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1490>

Received: 3.07.2024.

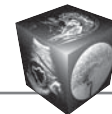
Accepted for publication: 18.07.2024.

Published online: 2.08.2024.

Введение

Цереброваскулярная болезнь (ЦВБ) выявлена у 87% из обследованных ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) с дозой облучения $\leq 0,3$ Гр, а в группу риска по ЦВБ входят ЛПА 1986 г. участия в аварийно-восстановительных работах, облученные в дозе более 0,15 Гр. В результате прогрессивного течения цереброваскулярной недостаточности с преобладанием психовегетативного, психоорганического и вестибулоатактического

синдромов заболевание приводит к интеллектуально-мнестическим и тревожно-депрессивным расстройствам, являющихся основной причиной снижения качества жизни и инвалидизации. У данной категории лиц выявлялись прогрессирующие структурно-функциональные повреждения головного мозга в коре, подкорке и стволе мозга, а также признаки атрофического процесса головного мозга в виде расширения субарахноидальных пространств [1, 2]. Локальные расширения



субарахноидальных пространств были выявлены у 82% обследованных, расширение желудочковой системы мозга – у 34%. Спустя 10–15 лет атрофические процессы в коре и подкорковых структурах в виде единичных и множественных очагов глиозных изменений мозговой ткани вокруг тел передних и задних рогов боковых желудочков и лейкоареоз выявлялись уже у большинства обследованных – 73,5 и 51,5% соответственно [3, 4].

По данным И.М. Левашкиной и С.В. Серебряковой (2016), нейровизуализация с применением высокопольной МРТ головного мозга выявила наружную заместительную гидроцефалию у 84% ЛПА (контроль 65%), смешанную – в 51% (16%), а также последствия лакунарных инфарктов в виде кист в области базальных ядер, окруженных зонами глиоза [5, 6]. Органические изменения белого вещества головного мозга и лакуны рассматриваются как главные проявления патологии мелких сосудов, приводящие к цереброваскулярной микроангиопатии [7], при этом выявляемость таких признаков по данным МРТ в виде гиперинтенсивных очагов в белом веществе, расширения периваскулярных и субарахноидальных пространств и желудочков мозга, церебральных микрокровоизлияний существенно возрастает у лиц старше 60 лет [8].

Анализ проведенных исследований показывает, что результаты структурных методов лучевой диагностики не всегда коррелируют со степенью выраженности клинической картины. Современная контрастная методика магнитно-резонансной перфузии хорошо зарекомендовала себя в онкологической практике [9, 10], а также в диагностике ишемических изменений головного мозга [11, 12]. Представляет большой интерес использование расширенного МРТ-обследования головного мозга для оценки корреляции анатомических и функциональных изменений различных групп наблюдения с клиническими проявлениями хронической ЦВБ.

Вместе с тем в доступной литературе не встретились работы, посвященные углубленному исследованию этих параметров у ЛПА.

Цель исследования: выявление и оценка выраженности МРТ-проявлений цереброваскулярной болезни у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде.

Материал и методы

Материалом исследования послужили данные комплексной МРТ головного мозга у пациентов, проходивших обследование в ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” с диагнозом: хроническая цереброваскулярная болезнь. Всего было обследовано 147 пациентов мужского пола

в возрасте от 55 до 87 лет (средний возраст $68,8 \pm 0,9$ года). Из них основную группу (ОГ) составили 93 ЛПА на Чернобыльской АЭС, контрольную группу, или группу сравнения (ГС), – 54 пациента, не подвергавшихся радиационному воздействию.

Критерии включения пациентов в исследование: возраст старше 55 лет, мужской пол, наличие дисциркуляторной энцефалопатии I–III стадии, информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения: новообразования головного мозга, инсульты, черепно-мозговые травмы, хроническая сердечная недостаточность, нарушения ритма сердца, хроническая обструктивная болезнь легких, соматические и инфекционные заболевания с энцефалопатией, психические и соматические заболевания в стадии декомпенсации. В работе не выполнялся анализ состояния экстракраниальных артерий и сердца.

Протокол МРТ включал в себя 4 этапа, у каждого из которых были следующие задачи:

1. Структурная МРТ: “анатомическая” последовательность в аксиальной и сагиттальной проекциях – T2ВИ-AX+SAG, последовательность с подавлением сигнала от движущейся жидкости в аксиальной и корональной проекциях – FLAIR-AX+COR, прекоонтрастная последовательность T1-AX, градиентная последовательность для визуализации скрытых микрокровоизлияний – T2*_hemo-ax, и диффузионно-взвешенная последовательность – DWI. Указанные последовательности позволяли исключить острые гематомы и оценить хронические структурные изменения. Глиозные изменения оценивались по шкале Fazekas (1987) с распределением на две условные подгруппы по степени выраженности: 0–1-я стадия и 2–3-я стадия. Также оценивалась степень атрофии вещества головного мозга по шкале от 1 до 3 на основании измерения индекса боковых желудочков (индекс Эванса) и степени расширения борозд в мм (рис. 1-1).

2. Визуализация сосудистого русла: времяпротект-ная 3D-бесконтрастная ангиография сосудов виллизиева круга (3D-TOF) и 3D-венография венозных синусов. Выполнялась для исключения острых обструктивных нарушений (рис. 1-2).

3. Перфузионная часть: вначале выполнялась бесконтрастная ASL-перфузия в качестве дополнительного метода контроля показателей скорости мозгового кровотока, затем проводилась контрастная DSC-T2*-перфузия. Для расчета показателей мозгового кровотока на перфузионных картах использовалось 5 зон измерения (ROI):

- #ROI-1 – участок белого вещества (глия) лобной доли правого полушария;

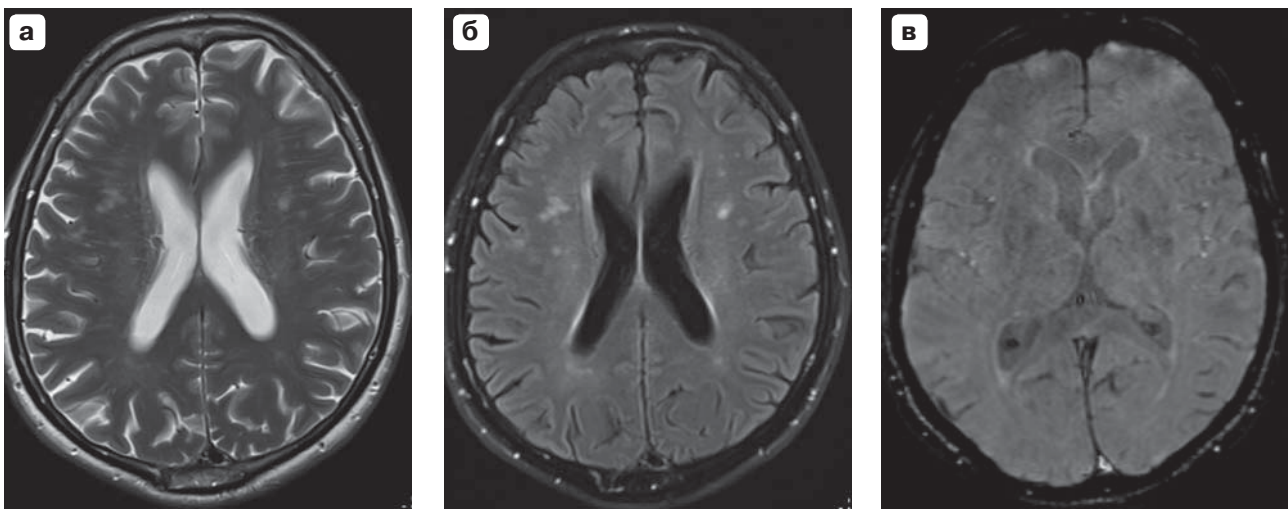


Рис. 1-1. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режимах: **а** – T2ВИ; **б** – FLAIR; **в** – T2*_hemo. В режиме Flair определяются множественные сливающиеся очаги глиоза в обоих полушариях.

Fig. 1-1. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in: **a** – T2WI; **б** – FLAIR; **в** – T2*_hemo modes. In Flair mode, multiple confluent foci of gliosis are detected in both hemispheres.

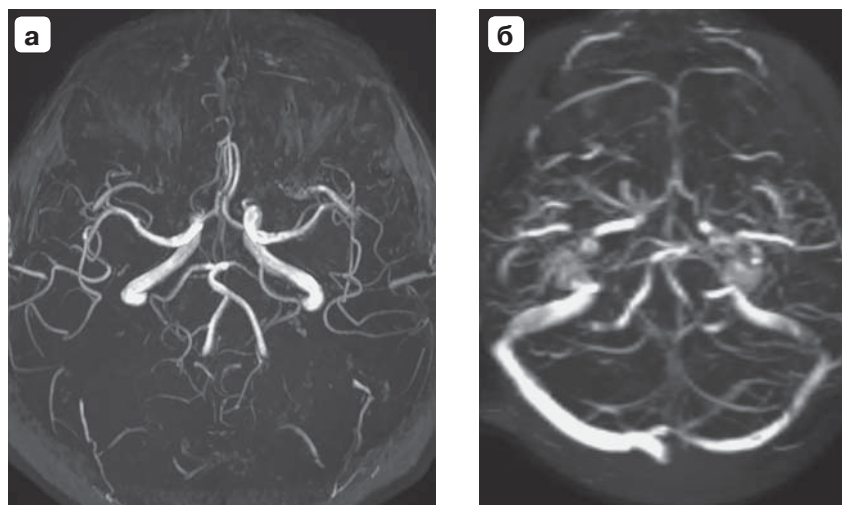


Рис. 1-2. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режимах: **а** – 3D-TOF – ангиография сосудов виллизиева круга; **б** – венография венозных синусов головного мозга. **а** – по данным обследования патологии не выявлено; **в** – асимметричная визуализация поперечных венозных синусов обусловлена пульсаторными движениями.

Fig. 1-2. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in modes: **a** – 3D-TOF – angiography of the vessels of the circle of Willis; **б** – venography of the venous sinuses of the brain. **a** – according to the examination, no pathology was detected; **в** – asymmetric visualization of the transverse venous sinuses is due to pulsatory movements.

- #ROI-2 – участок серого вещества (кора) лобной доли правого полушария;
- #ROI-3 – участок слияния венозных синусов (поперечных и сагиттального);
- #ROI-4 – участок белого вещества (глия) лобной доли левого полушария;
- #ROI-5 – участок серого вещества (кора) лобной доли левого полушария.

С помощью указанных ROI рассчитывались следующие перфузионные показатели:

- церебральный объем крови CBV (cerebral blood volume) – общий объем крови в выбранном участке мозговой ткани в миллилитрах крови на 100 г мозгового вещества (мл/100 г);
- церебральный кровоток CBF (cerebral blood flow) – скорость прохождения объема крови че-

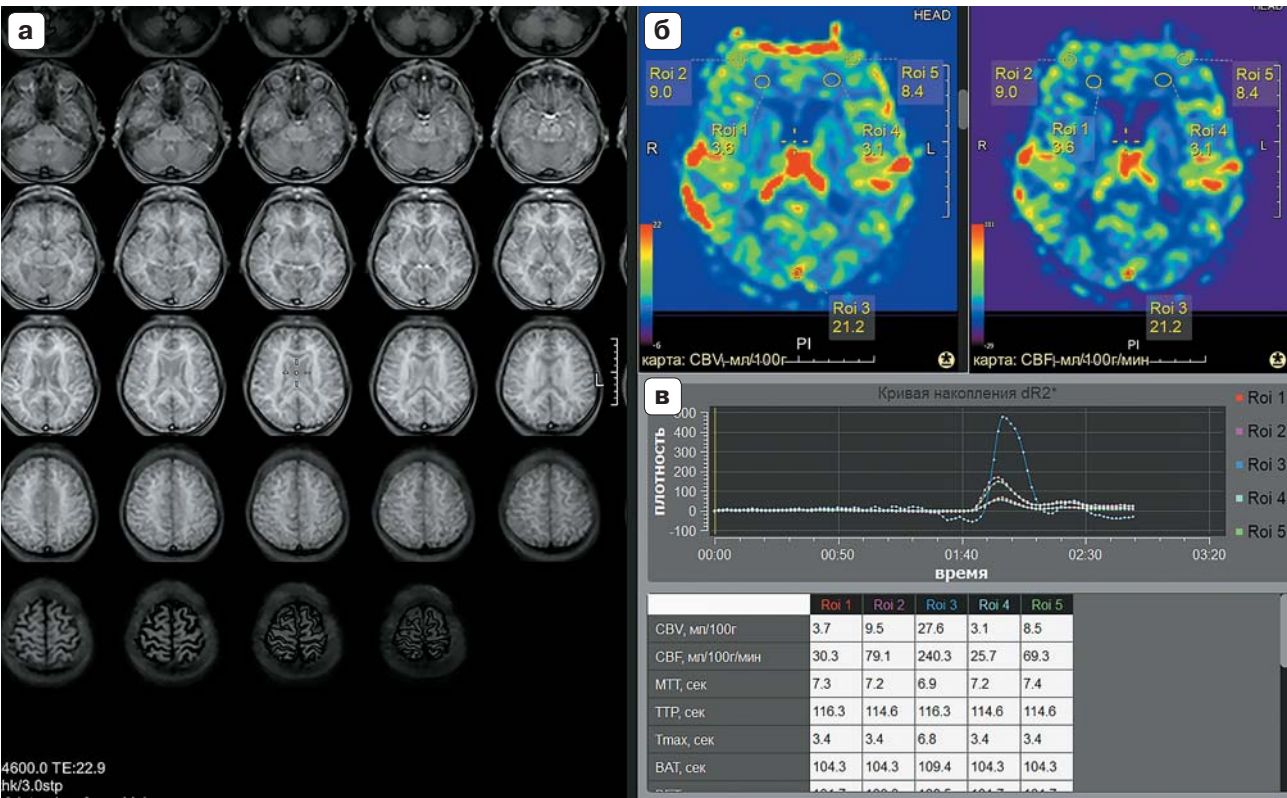
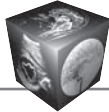


Рис. 1-3. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режимах: **а** – ASL-перфузии; **б** – контрастная T2WI*_DSC-перфузия; **в** – разметка цветowych карт CBV и CBF с помощью пяти зон интереса (ROI) – белое и серое вещество, венозный синус. В таблице представлены численные значения выделенных ROI.

Fig. 1-3. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in modes: **а** – ASL perfusion; **б** – contrast T2WI*_DSC – perfusion; **в** – Marking of CBV and CBF color maps using five regions of interest (ROI) – white and gray matter, venous sinus. The table presents the numerical values of the selected ROIs.

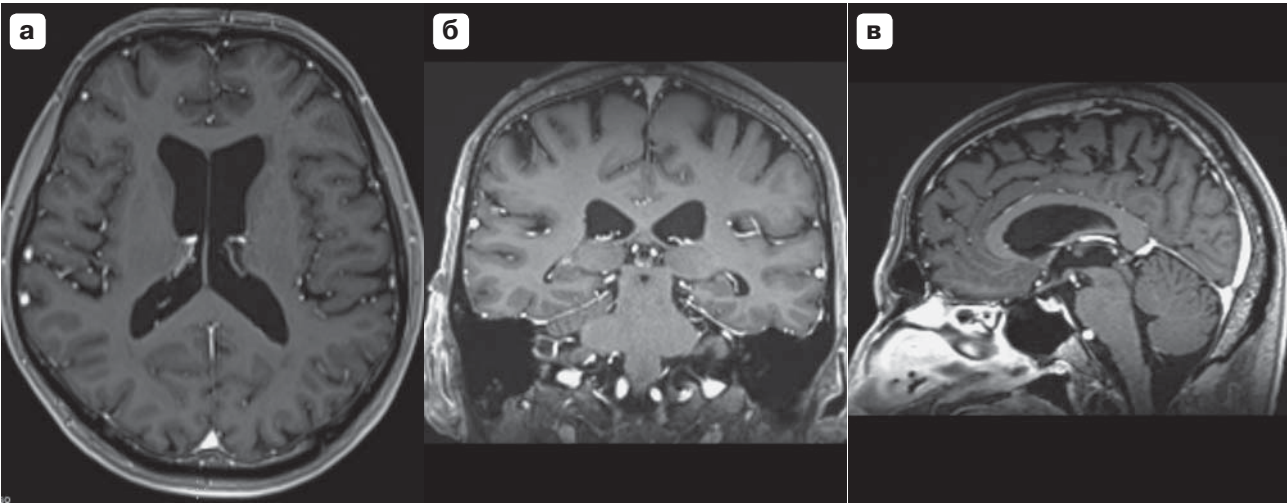


Рис. 1-4. Пациент В., 1956 г.р., основная группа. МРТ головного мозга в режиме 3DT1 с контрастным усилением, с реконструкцией изображений в трех проекциях: **а** – аксиальная, **б** – фронтальная, **в** – сагиттальная. По данным обследования очагов патологического контрастирования не выявлено.

Fig. 1-4. Patient B., born in 1956, main group. MRI of the brain in 3DT1 mode with contrast enhancement, in three projections: **а** – axial, **б** – frontal, **в** – sagittal. According to the examination, no foci of pathological contrast enhancement were identified.



рез заданный объем ткани мозга за единицу времени в миллилитрах крови на 100 г мозгового вещества в минуту (мл/100 г/мин);

- среднее время прохождения МТТ (mean transit time), за которое кровь проходит по сосудистому руслу выбранного участка мозговой ткани в секундах (с) (рис. 1-3).

4. Контрастное усиление: заканчивался протокол выполнением 3D T1 +C AX, для исключения новообразований головного мозга, скрытых сосудистых аномалий (рис. 1-4).

Сравнение групп проводилось по параметрам церебральной перфузии (CBF, CBV, МТТ), степени атрофии и церебральной микроангиопатии с нормальными значениями перфузионных параметров белого и серого вещества [13].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Excel 2016 и Statistica 10.0. Проверка нормальности распределения данных выполнена по критерию Шапиро-Уилка. Нормально распределенные количественные данные представлены в виде средней арифметической (М) и стандартного отклонения (SD). Для оценки различий между показателями использовали относительный риск (ОР) и 95% доверительные интервалы (ДИ), значимости различий – критерий χ^2 . Различия показателей считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$. Показатели с уровнем значимости $>0,05$ до $<0,10$ рассматривались в качестве тенденций.

Результаты исследования

Средний возраст ЛПА составлял 69,56 (7,34) года, пациентов в ГС – 67,95 (8,67) года, статистически значимых различий между группами не обнаружено – $p = 0,390$. Возраст выявления ЦВБ (постановки диагноза) составил 46,25 (8,86) и 42,18 (7,59) года соответственно ($p = 0,148$), длительность заболевания – 23,56 (6,54) и 24,55 (5,13) года, статистически значимых различий между этими величинами не установлено ($p = 0,523$).

По данным МРТ-исследования с контрастным усилением ни в одном наблюдении дополнительных объемных образований выявлено не было. Установлено, что признаки атрофии головного мозга встречаются у 93,9% ЛПА и у 77,3% пациентов из ГС, микроангиопатии – у 100,0 и 86,4% соответственно. Риск атрофии и микроангиопатии у ЛПА составляет 1,22 (0,96–1,54; $p = 0,041$) и 1,16 (0,98–1,37; $p = 0,008$) соответственно. Распределение ЛПА и пациентов в ГС по степени поражения представлено на рис. 2.

На рис. 2 показано, что частота обследованных без атрофии в ГС выше, чем в ОГ, в 3,71 (0,97–14,18; $p = 0,041$) раза. Частота атрофии I степени в обеих группах сопоставима, частота II степени в ОГ в 1,57 (0,74–3,34; $p = 0,211$) встречалась чаще, чем в ГС. Частота микроангиопатии I степени среди ЛПА в 1,09 (0,64–1,69; $p = 0,714$) раза превышает аналогичный показатель в ГС, частота II степени выше в ГС – 1,04 (0,49–2,19; $p = 0,919$). Пациенты с III степенью атрофии и микроангио-

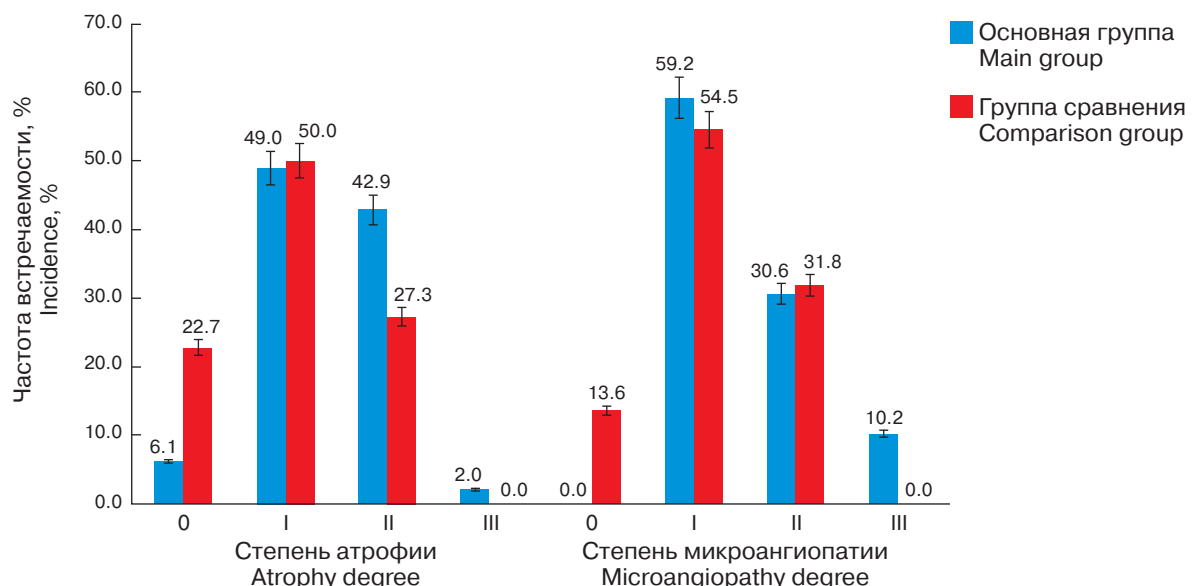
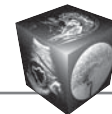


Рис. 2. Частота встречаемости атрофии и микроангиопатии в зависимости от степени поражения в основной группе и группе исследования.

Fig. 2. Incidence of atrophy and microangiopathy depending on the degree of damage in the main group and the study group.

**Таблица 1.** Результаты МРТ-исследования основных показателей мозгового кровотока**Table 1.** Results of MRI studies of the main indicators of cerebral blood flow

Параметры МРТ-перфузии MRI Perfusion Parameters	Основная группа Main group (MG)	Группа сравнения Comparison group (CG)
	M (SD)	M (SD)
CBV Глия правое полушарие, мл/100 г CBV Glia right hemisphere, ml/100 g	2.60 (1.02)	2.41 (1.02)
CBV Кора правое полушарие, мл/100 г CBV Cortex right hemisphere, ml/100 g	10.33 (4.69)	11.70 (6.33)
CBV Глия левое полушарие, мл/100 г CBV Glia left hemisphere, ml/100 g	2.86 (0.99)	3.11 (3.16)
CBV Кора левое полушарие, мл/100 г CBV Cortex left hemisphere, ml/100 g	9.56 (4.56)	12.94 (7.19)
CBF Глия правое полушарие, мл/100 г/мин CBF Glia right hemisphere, ml/100 g/min	19.75 (8.59)	18.13 (8.09)
CBF Кора правое полушарие, мл/100 г/мин CBF Cortex right hemisphere, ml/100 g/min	75.42 (35.34)	86.72 (58.91)
CBF Глия левое полушарие, мл/100 г/мин CBF Glia left hemisphere, ml/100 g/min	20.30 (14.55)	22.51 (27.75)
CBF Кора левое полушарие, мл/100 г/мин CBF Cortex left hemisphere, ml/100 g/min	72.44 (37.51)	82.69 (58.97)
MTT Глия правое полушарие, с MTT Glia right hemisphere, s	8.17 (3.47)	8.34 (2.37)
MTT Кора правое полушарие, с MTT Cortex right hemisphere, s	8.80 (3.29)	10.46 (9.65)
MTT Глия левое полушарие, с MTT Glia left hemisphere, s	8.10 (3.32)	8.33 (2.16)
MTT Кора левое полушарие, с MTT Cortex left hemisphere, s	8.79 (3.49)	9.85 (4.38)

патии выявлены только среди ЛПА. Показатели основных параметров МРТ-перфузии у пациентов в ОГ и ГС представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, полученные данные не имели существенных различий и сопоставимы по группам, за исключением показателя “CBV Кора левое полушарие”, значение которого в ОГ меньше, чем в ГС, в 1,3 раза ($p = 0,061$). Выявленные явления гипоперфузии можно объяснить нарушением процессов сосудистой ауторегуляции при более выраженных формах хронической ЦВБ.

На рис. 3 представлены соотношения CBV, CBF и MTT между корой и глией правого и левого полушария у ЛПА и у пациентов в ГС.

На рис. 3 видно, что максимальное соотношение CBV и CBF между корой и глией правого полушария – 4,9 и 4,8 соответственно выявлено в ГС. В ОГ эти показатели составили 4,3 и 3,9. Сравнение показателей, приведенных на рис. 1, показало, что соотношение кора/глия между CBV и CBF в правом полушарии в ГС выше, чем в ОГ, на 12,9 и 21,2% соответственно, между MTT – на 16,5%.

В левом полушарии соотношение между CBF в ОГ на 10,9% превышает аналогичный показатель в ГС.

Для оценки состояния перфузии головного мозга проводился сравнительный анализ асимметричности мозгового кровотока в левом и правом полушариях по соотношению параметров перфузии. При сравнении данных, приведенных на рис. 1, с соотношением, рассчитанным по нормальным значениям перфузионных параметров серого и белого вещества головного мозга, установлено, что в ОГ соотношение CBV в правом полушарии превышено в 2,2 раза, в левом – в 2,0 раза, CBF – в 1,7 раза. В ГС соотношение CBV в правом полушарии превышено в 2,4 раза, в левом – в 2,1 раза, CBF – в 2,0 и 1,5 раза.

Выполнен сравнительный анализ состояния мозгового кровотока в левом и правом полушариях по соотношению параметров перфузии между ОГ и ГС и в каждой группе (табл. 2).

Как видно из табл. 2, оценка соотношения CBV, CBF и MTT в правом и левом полушариях между ОГ и ГС не выявила существенных различий – макси-

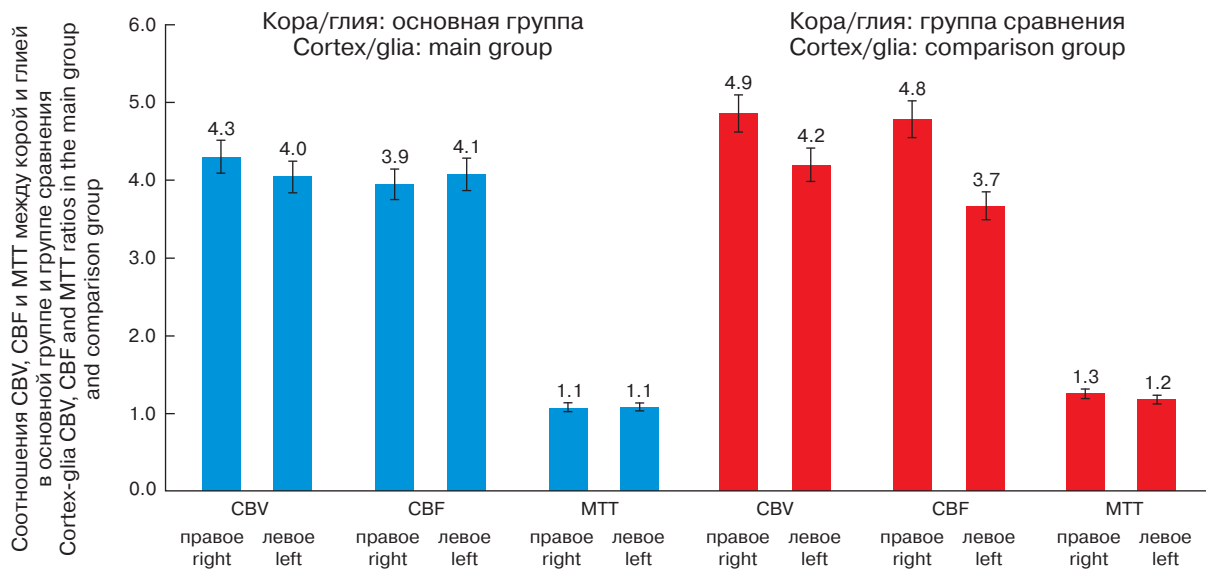


Рис. 3. Соотношения параметров перфузии между корой и глией правого и левого полушария в группах исследования и сравнения.

Fig. 3. Correlations of perfusion parameters between the cortex and glia of the right and left hemispheres in the study and comparison groups.

Таблица 2. Результаты сравнительного анализа параметров перфузии между группами и в каждой группе

Table 2. Results of comparative analysis of perfusion parameters between groups and in each group

Параметры Options	Между группами ОГ/ГС Between groups	Соотношение Ratio	В группах ОГ и ГС In groups	Соотношение Ratio
CBV	Глия правое Glia right	1.0	Глия правое / левое ОГ Glia right/left OG	1.0
CBV	Кора правое Cortex right	0.9	Кора правое / левое ОГ Cortex right / left OG	1.1
CBV	Глия левое Glia left	0.8	Глия правое / левое ГС Glia right / left GS	0.8
CBV	Кора левое Cortex left	0.8	Кора правое / левое ГС Cortex right / left GS	1.0
CBF	Глия правое Glia right	1.1	Глия правое / левое ОГ Glia right / left OG	0.9
CBF	Кора правое Cortex right	0.9	Кора правое / левое ОГ Cortex right / left OG	1.0
CBF	Глия левое Glia left	0.9	Глия правое / левое ГС Glia right / left GS	0.8
CBF	Кора левое Cortex left	0.9	Кора правое / левое ГС Cortex right / left GS	1.0
MTT	Глия правое Glia right	1.0	Глия правое / левое ОГ Glia right / left OG	1.0
MTT	Кора правое Cortex right	0.8	Кора правое / левое ОГ Cortex right / left OG	1.0
MTT	Глия левое Glia left	1.1	Глия правое / левое ГС Glia right / left GS	1.0
MTT	Кора левое Cortex left	0.9	Кора правое / левое ГС Cortex right / left GS	1.1

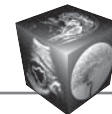


Таблица 3. Результаты сравнительного анализа параметров перфузии в основной группе и группе сравнения с показателями нормы

Table 3. Results of a comparative analysis of perfusion parameters in the main group and comparison group with normal values

Параметры Options	Группы Groups	Глия правое Glia right		Глия левое Glia left		Кора правое Cortex right		Кора левое Cortex left	
		<N	>N	<N	>N	<N	>N	<N	>N
CBV	ОГ / MG	35.4 *	62.5	37.2	60.4	4.2	95.8	4.2	93.8
	ГС / CG	36.4	50.0	36.4	63.6	4.5	95.5	4.5	95.5
CBF	ОГ / MG	72.9	27.1	81.3	18.8	37.5	62.5	39.1	39.6
	ГС / CG	76.8	22.3	77.3	22.7	45.5	54.5	41.2	40.9
MTT	ОГ / MG	2.1	95.8	2.1	97.9	0.0	97.9	0.0	97.9
	ГС / CG	9.1	90.9	4.5	95.7	0.0	100.0	0.0	100.0

* $p = 0.027$.

мальная величина соотношения составила всего лишь 1,1 при межгрупповом сравнении CBF в глии правого полушария. Сравнительный анализ показателей выявил, что соотношение между CBV в коре правого полушария в ОГ на 11,7% меньше, чем в ГС, в глии и коре левого полушария – на 19,0 и 21,9% соответственно. Соотношение между CBF в коре правого полушария ОГ на 13,0%, в глии и коре левого полушария – на 9,8 и 12,4% ниже, чем в ГС. Соотношение между MTT в коре правого полушария ОГ на 15,9%, а в коре левого полушария на 10,8% ниже, чем в ГС.

Максимальное значение при оценке соотношения параметров перфузии в правом и левом полушариях каждой из групп, выявленное в ОГ при сравнении CBV в коре правого и левого полушарий, составило 1,1, как и при межгрупповом сравнении. В ОГ превышение показателей CBV и CBF в коре правого полушария составило 8,0 и 4,1% соответственно, в ГС выявлено только превышение на 4,9% показателя CBF. Максимальное различие в ГС в глии правого полушария между CBV и CBF составило 17,3 и 19,5% соответственно. Соотношение в ГС между MTT в коре правого полушария на 6,2% выше, чем в коре левого полушария. Приведенные в табл. 1 показатели сравнивали с нормальными значениями перфузионных параметров серого и белого вещества головного мозга [13]. Результаты сравнения представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что частота CBV и CBF в глии и коре правого полушария в ОГ, превышающая нормальные значения перфузионных параметров, выше, чем в ГС, в левом полушарии эти соотношения имеют обратный характер. Частота MTT в глии с превышением нормальных значений в ОГ повышена в обоих полушариях, а в коре – снижена.

Обсуждение

Исследование посвящено оценке нарушений церебрального кровообращения у ЛПА на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде с использованием расширенного протокола нейровизуализации с применением контрастной МРТ-перфузии. Изучены основные структурные проявления ЦВБ в ОГ и ГС. К особенностям нарушения мозговой гемодинамики у ЛПА можно отнести повышенный риск развития атрофического процесса (ОР = 1,22; $p = 0,041$) и микроангиопатии (ОР = 1,6; $p = 0,008$) в связи с более ранним развитием у ЛПА цереброваскулярных заболеваний [14]. Выполнено сравнение параметров перфузии головного мозга (скорость (CBF), объем кровотока (CBV) и время транзита крови (MTT)) у ЛПА и у лиц, не подвергавшихся воздействию радиации. Анализ асимметричности мозгового кровотока в левом и правом полушариях по соотношению CBV, CBF и MTT между корой и глией правого и левого полушария с нормальными значениями выявил, что у ЛПА превышение соотношения CBV составило в правом полушарии 2,2 раза, в левом – 2,0 раза, CBF – 1,7 раза. В группе сравнения ГС соотношение CBV в правом полушарии превышено в 2,4 раза, в левом – в 2,1 раза, CBF – в 2,0 и 1,5 раза, $p = 0,06$.

Сравнение показателей мозговой перфузии у ЛПА и пациентов из ГС с показателями условной нормы [15] выявило, что частота превышений нормы CBV и CBF в глии и коре правого полушария выше у ЛПА, а в левом полушарии – в ГС. Частота MTT в глии с превышением нормальных значений у ЛПА повышена в обоих полушариях, в коре этот показатель – ниже нормы [16].

Выявленные явления гипоперфузии можно объяснить нарушением процессов сосудистой ауторегуляции при более выраженных формах.



Таким образом, проведенное исследование показало высокую эффективность контрастной МРТ-перфузии, позволило выявить корреляцию структурных и перфузионных изменений в различных исследовательских группах.

Выводы

1. Признаки атрофического процесса головного мозга выявлены у 93,9% в основной группе и у 76,7% пациентов из группы сравнения, микроангиопатии – у 100,0 и 83,4% соответственно. Риск развития атрофии и микроангиопатии у ЛПА составляет 1,24 (0,96–1,59; $p = 0,041$) и 1,14 (0,98–1,33; $p = 0,008$) соответственно.

2. При сравнении показателей МРТ-перфузии (CBV, CBF и МТТ) между корой и глией у пациентов основной и контрольной группы установлено, что соотношение кора/глия между CBV и CBF в основной группе ниже, чем в группе сравнения, на 13,9 и 24,2% соответственно.

3. Сравнительный анализ параметров МРТ-перфузии показал, что у ЛПА соотношение между CBV в глии и коре правого полушария меньше, чем у пациентов на 0,3 и 11,7%, а в левом полушарии – на 19,3 и 22,9% соответственно. CBF в глии правого полушария у ЛПА повышен на 6,9%, а в коре снижен на 14,2%, в левом полушарии – на 9,8 и 13,4% соответственно.

4. Сравнение параметров перфузии с референсными значениями выявило, что частота превышения нормы CBV и CBF в глии и коре правого полушария выше у ЛПА, а в левом полушарии – у пациентов группы сравнения. Частота МТТ в глии с превышением нормальных значений у ЛПА повышена в обоих полушариях, в коре этот показатель – ниже нормы.

Участие авторов

Куликова Т.А. – обзор публикаций по теме статьи, проведение исследования, написание текста.

Мешков Н.А. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных.

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

Нуднов Н.В. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи.

Сергеев Н.И. – анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Kulikova T.A. – review of publications, conducting research, writing text.

Meshkov N.A. – collection and analysis of data, statistical analysis.

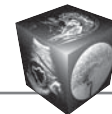
Solodkiy V.A. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Nudnov N.V. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Sergeev N.I. – analysis and interpretation of the obtained data, preparation and creation of the published work.

Список литературы

1. Степаненко И.В. Оценка особенностей изменений головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по результатам современных нейровизуальных методов обследования. *Украинский нейрохирургический журнал*. 2002; 3: 57–61.
2. Горский А.И., Максютин М.А., Чекин С.Ю., Корело А.М., Кочергина Е.В., Зеленская Н.С., Иванов В.К. Влияние облучения на заболеваемость атеросклерозом среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. *Радиация и риск (Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2023; 32 (4): 14–23. <http://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-4-14-23>
3. Мешков Н.А., Куликова Т.А., Вальцева Е.А. Клинико-эпидемиологическая оценка влияния факторов риска на развитие болезней системы кровообращения у ликвидаторов последствий чернобыльской катастрофы. *Радиация и риск (Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2016; 25 (1): 94–107.
4. Литовченко Т.А., Завальная Е.П., Тондид О.Л., Тацкий Н.П. Особенности течения цереброваскулярных нарушений у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде. *Восточно-европейский журнал семейной медицины*. 2017; 1: 69–74.
5. Левашкина И.М., Серебрякова С.В. Возможности высокопольной магнитно-резонансной томографии в оценке дегенеративных изменений головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2016; 4: 98–103. <http://doi.org/10.25016/2541-7487-2016-0-4-98-103>
6. Ефремушкин Г.Г., Подсонная И.В. Артериальная гипертензия и дисциркуляторная энцефалопатия - что первично? *CardioComatika*. 2011; 2 (4): 28–34.
7. Яхно Н.Н., Левин О.С., Дамулин И.В. Сопоставление клинических и МРТ-данных при дисциркуляторной энцефалопатии. *Неврологический журнал*. 2001; 6 (3): 16–18.
8. Cannistraro R.J., Badi M., Eidelman B.H. et al. CNS small vessel disease: a clinical review. *Neurology*. 2019; 92 (24): 1146–1156. <http://doi.org/10.1212/WNL.0000000000007654>
9. Сергеев Н.И., Ребрикова В.А., Котляров П.М., Солодкий В.А. T2*-перфузия в определении фрагментов остаточной ткани опухоли у пациентов с глиомами высокой степени злокачественности после хирургического лечения в подострый постоперационный период. *Вестник российского научного центра рентгенодиагностики*. 2020; 20 (1): 15–27.
10. Станжевский А.А., Тютин Л.А. Роль перфузионных технологий в оценке гемодинамики опухолей головного мозга. *Трансляционная медицина*. 2015; 4: 41–47.
11. Семенов С.Е., Портнов Ю.М., Хромов А.А., Нестеровский А.В., Хромова А.Н., Семенов А.С. Исследование перфузии при нарушениях церебрального кровообращения. Часть II (частная КТ- и МР-семиотика, паттерны патологических изменений).



Обзор. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2017; 6 (1): 102–111.

<https://doi.org/10.17802/2306-1278-2017-1-102-111>

12. Ананьева Н.И., Трофимова Т.Н. КТ- и МРТ-диагностика острых ишемических инсультов. СПб.: Издательский дом СПбМАПО, 2006.
13. Shetty S.H., Lev M.H. CT perfusion. In: Gonzalez R.G., Hirsch J.A., Koroshetz W.J. et al. (eds). *Acute Ischemic Stroke. Imaging and Intervention*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
14. Martsynkevych O.O. Viddaleni nevrolohichni naslidky oprominennia u likvidatorov avarii na ChAES [The late neurological radiation sequelae in participants in the cleanup of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station]. *Lik. Sprava*. 1997; 6: 29–31. PMID: 9589919 (In Ukrainian)
15. Морозов С.П., Насникова И.Ю., Шмырев В.И. и др. Перфузионная компьютерная томография в диагностике острого нарушения мозгового кровообращения. *Кремлевская медицина*. 2011; 1: 21–24.
16. Calamante F., Thomas D.L., Pell G.S. et al. Measuring cerebral blood flow using magnetic resonance imaging techniques. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 1999; 19 (7): 701–735. <http://doi.org/10.1097/00004647-199907000-00001>
- consequences of the Chernobyl nuclear power plant accident in the long-term period. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2016; 4: 98–103. <http://doi.org/10.25016/2541-7487-2016-0-4-98-103>. (In Russian)
6. Efremushkin G.G., Podsonnaya I.V. Arterial hypertension and dyscirculatory encephalopathy - what comes first? *CardioSomatics*. 2011; 2 (4): 28–34. (In Russian)
7. Yakhno N.N., Levin O.S., Damulin I.V. Comparison of clinical and MRI data in dyscirculatory encephalopathy. *Neurol. J.* 2001; 6 (3): 16–18. (In Russian)
8. Cannistraro R.J., Badi M., Eidelman B.H. et al. CNS small vessel disease: a clinical review. *Neurology*. 2019; 92 (24): 1146–1156. <http://doi.org/10.1212/WNL.00000000000007654>
9. Sergeev N.I., Rebrikova V.A., Kotlyarov P.M., Solodkiy V.A. T2*-perfusion in determining fragments of residual tumor tissue in patients with high-grade gliomas after surgical treatment in the subacute postoperative period. *Bulletin of the Russian Scientific Center of X-ray Radiology*. 2020; 20 (1): 15–27. (In Russian)
10. Stanzhevsky A.A., Tyutin L.A. The role of perfusion technologies in assessing the hemodynamics of brain tumors. *Translational Medicine*. 2015; 4: 41–47. (In Russian)
11. Semenov S.E., Portnov Yu.M., Khromov A.A. et al. Study of perfusion in cerebral circulation disorders. Part II (particular CT and MR semiotics, patterns of pathological changes). Review. *Complex problems of cardiovascular diseases*. 2017; 6 (1): 102–111. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2017-1-102-111> (In Russian)
12. Ananyeva N.I., Trofimova T.N. CT and MRI diagnostics of acute ischemic strokes. SPb.: Publishing house SPbMAPO, 2006. (In Russian)
13. Shetty S.H., Lev M.H. CT perfusion. In: Gonzalez R.G., Hirsch J.A., Koroshetz W.J. et al. (eds). *Acute Ischemic Stroke. Imaging and Intervention*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
14. Martsynkevych O.O. Viddaleni nevrolohichni naslidky oprominennia u likvidatorov avarii na ChAES [The late neurological radiation sequelae in participants in the cleanup of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station]. *Lik. Sprava*. 1997; 6: 29–31. PMID: 9589919 (In Ukrainian)
15. Morozov S.P., Nasnikova I.Yu., Shmyrev V.I. et al. Perfusion computed tomography in the diagnosis of acute cerebrovascular accident. *Kremlin Medicine*. 2011; 1: 21–24. (In Russian)
16. Calamante F., Thomas D.L., Pell G.S. et al. Measuring cerebral blood flow using magnetic resonance imaging techniques. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 1999; 19 (7): 701–735. <http://doi.org/10.1097/00004647-199907000-00001>

References

1. Stepanenko I.V. Assessment of the characteristics of brain changes in liquidators of the consequences of the Chernobyl accident based on the results of modern neurovisual examination methods. *Ukrainian Neurosurgical Journal*. 2002; 3: 57–61. (In Russian)
2. Gorsky A.I., Maksyutov M.A., Chekin S.Yu. et al. The influence of radiation on the incidence of atherosclerosis among participants in the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Radiation and risk (Bulletin of the national radiation-epidemiological register)*. 2023; 32 (4): 14–23. <http://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-4-14-23> (In Russian)
3. Meshkov N.A., Kulikova T.A., Valtseva E.A. Clinical and epidemiological assessment of the influence of risk factors on the development of diseases of the circulatory system among liquidators of the consequences of the Chernobyl disaster. *Radiation and risk (Bulletin of the national radiation-epidemiological register)*. 2016; 25 (1): 94–107. (In Russian)
4. Litovchenko T.A., Zavalnaya E.P., Tondii O.L., Tatsiy N.P. Features of the course of cerebrovascular disorders in the liquidators of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in the long-term period. *Eastern Eur. J. Family Med.* 2017; 1: 69–74. (In Russian)
5. Levashkina I.M., Serebryakova S.V. Possibilities of high-field magnetic resonance imaging in assessing degenerative changes in the brain in liquidators of the



Для корреспонденции*: Сергеев Николай Иванович – e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Куликова Татьяна Анатольевна – канд. мед. наук, заведующая терапевтическим отделением клиники ядерной медицины ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, Москва.

Мешков Николай Алексеевич – академик РАЕН, доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-6139-5833>

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

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

Сергеев Николай Иванович – доктор мед. наук, заведующий лабораторией рентгенорадиологии научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России; профессор кафедры рентгенорадиологии ФДПО ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>

Contact*: Nikolay I. Sergeev – e-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

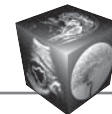
Tatyana A. Kulikova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the therapeutic department of the nuclear medicine clinic of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow.

Nikolay A. Meshkov – Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Radiation Therapy and Complex Methods for the Treatment of Oncological Diseases of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-6139-5833>

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

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

Nikolay I. Sergeev – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Laboratory of X-ray Radiology of the Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department Roentgenoradiology of FDPO of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1392>

Особенности эхографической картины диссекций экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий

© Орлова Е.В.^{1*}, Бердалин А.Б.¹, Хайцман Д.М.¹, Лелюк С.Э.², Лелюк В.Г.¹

¹ ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России; 117513 Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 10, Российская Федерация

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

Цель исследования: определение частоты различных ультразвуковых признаков диссекций экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий, а также сопоставление результатов ультразвукового и нейровизуализирующих методов исследования в диагностике диссекций.

Материал и методы. В исследование включены сведения о 108 пациентах, среди них 44 (40,7%) женщины, 64 (59,3%) мужчины, средний возраст составил 56 ± 14 лет. Всем пациентам было проведено ДС БЦА, 53 пациентам КТ-АГ, 99 пациентам МРТ.

Результаты. Чувствительность ДС БЦА при первичной диагностике диссекций в нашем исследовании составила 97,2%. У 40 (37%) пациентов наличие диссекции по данным дуплексного сканирования также подтверждалось при проведении КТ-АГ или МРТ. Расширение диаметра сосуда и наличие интрамуральной гематомы (ИМГ), а также их сочетание оказались наиболее часто встречающимися ультразвуковыми признаками диссекций в нашем исследовании. Умеренная экзогенность ИМГ отмечалась достоверно чаще в случаях, если диссекция не подтверждалась данными КТ-АГ или МРТ ($p = 0,018$). Из всех ультразвуковых признаков диссекций наибольшая доля совпадения с признаками, полученными при нейровизуализирующих методах диагностики, имела место при ИМГ.

Заключение. Наиболее часто регистрируемые ультразвуковыми признаками диссекций оказались расширение диаметра сосуда и наличие ИМГ, а также их сочетание. Результаты исследования показали высокую чувствительность ультразвукового метода в выявлении диссекций, особенно в подострой и хронической стадии, а также при дифференциальной диагностике патологий БЦА для установления причин развития ишемического инсульта.

Ключевые слова: диссекция; ультразвуковые признаки; интрамуральная гематома; брахиоцефальные артерии; ишемический инсульт

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Орлова Е.В., Бердалин А.Б., Хайцман Д.М., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Особенности эхографической картины диссекций экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 77–88. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1392>

Поступила в редакцию: 28.07.2023. **Принята к печати:** 10.02.2024. **Опубликована online:** 11.04.2024.

Echographic pattern features of dissections of the extracranial parts of the brachiocephalic arteries

© Ekaterina V. Orlova^{1*}, Alexander B. Berdalin¹, Darya M. Khaitsman¹,
Svetlana E. Lelyuk², Vladimir G. Lelyuk¹

¹ Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency (FMBA of Russia); 1-10, Ostrovityanova str., Moscow 117513, 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



Purpose: to determine the frequency of various ultrasound signs of dissections of the extracranial parts of the brachiocephalic arteries, as well as to compare the results of ultrasound and neuroimaging methods in the diagnostics of dissections.

Materials and methods. The study included data on 108 patients, among them 44 (40.7%) women, 64 (59.3%) men, mean age was 56 ± 14 years. All patients underwent duplex scanning of the brachiocephalic arteries, 53 patients underwent CT-angiography, and 99 patients underwent MRI.

Results. The sensitivity of duplex scanning in the primary diagnosis of dissections in our study was 97.2%. In 40 patients (37%) with dissections according to duplex scanning the presence of dissection was also confirmed on CT-angiography or MRI. Expansion of the vessel diameter and the presence of intramural hematoma (IMH), as well as their combination, were the most common ultrasound signs of dissections in our study. In cases where dissection was not confirmed by CT-angiography or MRI data moderate echogenicity of IMH was noted significantly more often ($p = 0.018$). Of all the ultrasound signs of dissections, the highest share of coincidence with the signs obtained with neuroimaging diagnostic methods occurred with IMG.

Conclusion. The most frequently recorded ultrasound signs of dissections were the expansion of the vessel diameter and the presence of IMG, as well as their combination. The results of the study showed a high sensitivity of the ultrasound method in detecting dissections, especially in the subacute and chronic stages, as well as to determine the causes of ischemic stroke in the differential diagnosis of brachiocephalic artery pathologies.

Keywords: dissection; ultrasound signs; intramural hematoma; brachiocephalic arteries; ischemic stroke

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

For citation: Orlova E.V., Berdalin A.B., Khaitsman D.M., Lelyuk S.E., Lelyuk V.G. Echographic pattern features of dissections of the extracranial parts of the brachiocephalic arteries. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 77–88. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1392>

Received: 28.07.2023.

Accepted for publication: 10.02.2024.

Published online: 11.04.2024.

Введение

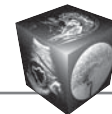
Под термином “диссекция” подразумевается проникновение крови в артериальную стенку через разрыв одного и более ее слоев, что приводит к осложнениям: образованию гематомы, тромбозу, сужению просвета сосуда, развитию псевдоаневризмы, а также разрыву сосуда [1]. Истинная распространенность диссекций неизвестна ввиду асимптомного течения в значительном количестве случаев.

Разрыв артериальной стенки может быть субадвентициальным и субинтимальным. В случае субинтимального разрыва образуется карман между интимой и медией сосуда, что приводит к стенозированию просвета. В случае субадвентициального разрыва дефект появляется между медией и адвентицией, что приводит к псевдоаневризматическому выпячиванию и (или) разрыву сосуда. Интрамуральная гематома (ИМГ) может появиться и без первичного разрыва слоев стенок вследствие различных ангиопатий и повреждения *vasa vasorum* [2].

Наиболее неинвазивным и свободным от рисков методом визуализации с высоким пространственным разрешением и мощным потенциалом является дуплексное сканирование брахиоцефальных артерий (ДС БЦА), однако диссекции в дистальных сегментах сонных или позвоночных артерий достаточно трудно визуализировать при помощи ультразвукового исследования из-за близкого расположения к костным структурам, анатомических особенностей, в том числе глубо-

кого залегания и непрямолинейностью хода. Поэтому, в первую очередь, метод ограничивается оценкой экстракраниальных отделов сонных и позвоночных артерий, где он может быть весьма полезен в визуализации аберраций потока, ИМГ, внутрисосудистого тромба и лоскутов интимы [3, 4]. Зачастую удается визуализировать двойной просвет, который состоит из эхогенного лоскута, который делит просвет на два (т.е. истинный и ложный). Также при ИМГ можно визуализировать эксцентрический компонент, который имеет разные характеристики в зависимости от сроков диссекции. Очевидным преимуществом дуплексного сканирования в сравнении с другими визуализирующими методами диагностики является возможность в спектральном доплеровском режиме оценить гемодинамику в сосуде. Изменения кровотока при диссекции, связанные со значимым сужением просвета, характеризуются снижением скорости в луковиче сонной артерии и повышением индексов периферического сопротивления проксимальнее стеноза, в отдельных случаях при критическом стенозе, субокклюзии, окклюзии может лоцироваться измененный поток, вплоть до двунаправленного. Также при значимом сужении или окклюзии сонных артерий может определяться компенсаторный повышенный кровоток в интактной артерии [3].

Точность первичной диагностики диссекций экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий (до проведения нейровизуализирующих методов диагностики) по данным ультразвукового



дуплексного сканирования очень высока и составляет 92% как для сонных, так и для позвоночных артерий [4].

Согласно исследованию 2018 г., в котором были сопоставлены результаты ультразвукового исследования у пациентов с подтвержденными диссекциями и другими лучевыми методами исследования, дуплексное сканирование имеет большое диагностическое преимущество благодаря прямому обзору области диссекции, точности и низкой стоимости [5].

Однако к настоящему времени неизвестна частота тех или иных ультразвуковых признаков диссекций, их сочетаний, а также ограничены сведения о результатах исследований диссекций с различными ультразвуковыми признаками с помощью нейровизуализирующих методов.

Цель исследования: определение частоты различных ультразвуковых признаков диссекций экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий, а также сопоставление результатов ультразвукового и нейровизуализирующих методов исследования в диагностике диссекций.

Материал и методы

Были проанализированы данные 122 пациентов с наличием диссекций по данным КТ-АГ/МРТ или ДС БЦА. Их них 14 пациентам ДС БЦА проведено не было. Критерием включения в исследование было наличие данных ДС БЦА, а также диссекции, подтвержденной данными ДС БЦА или КТ-АГ или МРТ. Таким образом, в исследование включены сведения о 108 пациентах с данными ДС БЦА, из них 44 (40,7%) женщины, 64 (59,3%) мужчины. Средний возраст составил 56 ± 14 (21–84) лет.

Пациентам, включенным в исследование, проводили ДС БЦА и транскраниальное дуплексное сканирование на сканере Philips Epiq 7G (Philips, США) широкополосными мультимодальными датчиками с частотой 3–12 МГц и 1–5 МГц соответственно.

Изучали наличие и выраженность образований, стенозирующих просветы, их локализацию, проводили оценку степени стеноза (для внутренней сонной артерии – по ECST), диаметра артерии, изучали акустическую структуру образования, его поверхность, наличие связанных с ним внутрипросветных феноменов. Учитывались такие ультразвуковые признаки, как наличие расширения диаметра сосуда, асимметричное сужение межинтимального диаметра, наличие ИМГ, эксцентрично сужающей просвет сосуда и находящейся между гиперэхогенной адвентицией и повышенной эхогенности отслоенной интимой, эхоген-

ность ИМГ, наличие лоскута интимы в просвете артерии, в том числе флотирующего.

Дифференциальная диагностика локального аневризматического расширения сосуда от расширения диаметра артерии при диссекции основывалась на локальности поражения, отсутствии дополнительных образований в расширенном участке артерии, а при наличии пристеночного тромбоза – отсутствии на его поверхности повышенной эхогенности интимы [4, 6].

Для дифференциальной диагностики диссекции и атеротромбоза учитывали такие признаки, как молодой возраст пациента, отсутствие или незначительная выраженность атеросклеротического поражения ветвей дуги аорты, локализация стенооокклюзирующего процесса на несколько сантиметров выше устья артерии с формированием пролонгированного неравномерного стеноза либо при наличии окклюзии – “косого” направления отслоенной интимы [6, 7].

Дифференциальная диагностика диссекции с аортоартериитом (болезнью Такаясу) основывалась на более характерной для аортоартериита неизменной величине наружного диаметра артерии, неравномерном сужении просвета сосуда (в зависимости от стадии поражения), постстенотической дилатации, частом сопутствующем вовлечении аорты и ее крупных ветвей (общих сонных и подключичных артерий) [6].

Пациенты с наличием диссекций интракраниальных сегментов артерий в настоящее исследование не включены ввиду невозможности верификации таких поражений с использованием дуплексного сканирования.

Пациентам, участвующим в исследовании, осуществляли МР-исследования головного мозга, которое было проведено на томографе Discovery MR750w (General Electric, США) с индукцией магнитного поля 3 Тл. Однако 9 пациентам исследование провести не удалось ввиду различных противопоказаний.

По решению экспертного консенсуса по результатам клинических разборов 53 пациентам было проведено МСКТ-исследование, которое было выполнено на 128-срезовом компьютерном томографе Optima (GE, США) с напряжением 120 кВ, силой тока 350 мАс.

МСКТА- и МРА-признаки наличия диссекции для отбора пациентов в основную группу включали симптом полулуния (соответствующий ИМГ) [8], эксцентрический стеноз просвета с увеличением наружного диаметра артерии [9–11], наличие псевдоаневризмы и симптома “пламя свечи” [12].

Статистическая обработка данных, полученных в настоящем исследовании, проводилась с при-



менением программных пакетов SPSS Statistics версии 26.0 (IBM, США) и R software версии 4.0.2 (R Core Team, Австрия). Нулевую гипотезу отвергали при уровне значимости $p \leq 0,05$. Для описания количественных переменных использовали среднее арифметическое и стандартное отклонение или, в случае несоответствия распределения нормальному, медиану и квартили, для качественных – частоту и долю (в процентах). Проверка соответствия распределения количественных переменных нормальному была осуществлена с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. Сравнение частот качественных зависимых переменных между категориями независимых (группирующих) переменных осуществляли с использованием критерия χ^2 Пирсона или точного критерия Фишера. Для оценки взаимосвязи между количественными и порядковыми переменными применяли корреляционный анализ по Пирсону. Сравнения количественных зависимых переменных осуществлялись посредством критерия Манна–Уитни. Также использовали поправку на множественность сравнений по Бонферрони.

Результаты

Из 108 пациентов, включенных в настоящее исследование, у 3 (2,8%) пациентов данные ДС БЦА при первичном обследовании не были интерпретированы как диссекция, хотя в этих случаях она позже была диагностирована при МСКТА или МРТ. Во всех трех случаях диссекции были локализованы в дистальных отрезках шейного сегмента ВСА перед входом в череп. Таким образом, чувствительность ДС БЦА при первичной диагностике диссекций в нашем исследовании составила 97,2%.

Данные о локализации диссекций представлены в табл. 1.

Из них имели место по 1 случаю сочетания диссекции правой ОСА и правой ВСА, левой ОСА и левой ВСА, левой ОСА и левой ПА, левой ВСА и правой ПА, левой ВСА и левой ПА, 3 случая сочетания диссекции в правой ВСА и левой ВСА, 3 случая – в правой ВСА и правой ПА и 6 случаев сочетания диссекций в правой и левой ПА.

Частота основных ультразвуковых признаков диссекций у пациентов, включенных в исследование, представлена в табл. 2.

Расширение диаметра сосуда и наличие ИМГ оказались наиболее часто встречающимися ультразвуковыми признаками диссекций в сравнении с остальными (регистрировались более чем в 50% случаев).

При оценке частоты ультразвуковых признаков диссекции в зависимости от локализации (в сонных или позвоночных артериях) (табл. 3) было установлено, что достоверно реже ($p < 0,05$) при диссекции ПА отмечалось наличие “двойного” просвета по данным ДС БЦА, а также достоверно реже ($p < 0,05$) при диссекции сонных артерий выявлялось асимметричное сужение межинтимального диаметра.

Было проанализировано сочетание ультразвуковых признаков у пациентов с диссекциями (табл. 4), наиболее частым оказалось сочетание наличия расширения диаметра сосуда и наличия ИМГ.

9 пациентам ввиду различных противопоказаний МРТ проведена не была, МСКТА была выполнена 53 пациентам. У 40 (37%) пациентов наличие диссекции по данным дуплексного сканирования

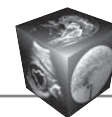
Таблица 1. Распределение выявленных диссекций БЦА в зависимости от локализации

Table 1. The distribution of detected BCA dissections depending on localization

Локализация диссекции Localization of dissection	Количество пациентов Number of patients	Доля, % Share, %
Правая ОСА / Right CCA	3	2.8%
Левая ОСА / Left CCA	8	7.4%
Правая ВСА / Right ICA	28	25.9%
Левая ВСА / Left ICA	30	27.8%
Правая НСА / Right ECA	1	0.9%
Правая ПА / Right VA	31	28.7%
Левая ПА / Left VA	24	22.2%

Примечание. ОСА – общая сонная артерия, ВСА – внутренняя сонная артерия, НСА – наружная сонная артерия, ПА – позвоночная артерия.

Note. CCA – common carotid artery, ICA – internal carotid artery, ECA – external carotid artery, VA – vertebral artery.

**Таблица 2.** Частота ультразвуковых признаков диссекций экстракраниальных отделов БЦА**Table 2.** The frequency of the ultrasound signs of dissections of the BCA extracranial parts

Признак Sign	Количество пациентов Number of patients	Доля,% Share,%
Наличие расширения диаметра сосуда Presence of the vessel diameter expansion	58	53.7
Наличие “двойного” просвета / Presence of a “double” lumen	19	17.6
Асимметричное сужение межинтимального диаметра Asymmetric narrowing of the interintimal diameter	36	33.3
Наличие ИМГ / Presence of IMG	55	50.9
Эхогенность ИМГ / Echogenicity of IMG		
анэхогенная / anechogenic	6	10.9
гипо- и анэхогенная / hypo- and anechogenic	9	16.4
гипоэхогенная / hypoechogenic	18	32.7
умеренная / moderate	21	38.2
Наличие лоскута интимы в просвете, в том числе флотирующего Presence of an intimal flap in the lumen, incl. floating	10	9.3

Таблица 3. Частота ультразвуковых признаков диссекции в зависимости от локализации**Table 3.** The frequency of dissection ultrasound signs depending on location

Признак Sign	Диссекция сонных артерий Dissection of the carotid arteries n (%)	Диссекция позвоночных артерий Dissection of the vertebral arteries n (%)	p
Наличие расширения диаметра сосуда Presence of the vessel diameter expansion			
да / yes	30 (52.6%)	25 (55.6%)	0.842
нет / no	27 (47.4%)	20 (44.4%)	
Наличие “двойного” просвета / Presence of a “double” lumen			
да / yes	17 (29.8%)	1 (2.2%)	<0.0001
нет / no	40 (70.2%)	44 (97.8%)	
Асимметричное сужение межинтимального диаметра Asymmetric narrowing of the interintimal diameter			
да / yes	14 (24.6%)	21 (46.7%)	0.023
нет / no	43 (75.4%)	24 (53.3%)	
Наличие ИМГ / Presence of IMG			
да / yes	29 (50.9%)	22 (48.9%)	1.0
нет / no	28 (49.1%)	23 (51.1%)	
Эхогенность ИМГ / Echogenicity of IMG			
анэхогенная	4 (14.3%)	2 (9.1%)	
гипо- и анэхогенная	7 (25%)	1 (4.5%)	
гипоэхогенная	8 (28.6%)	8 (36.4%)	
умеренная	9 (32.1%)	11 (50%)	
Наличие лоскута интимы в просвете, в т.ч. флотирующего Presence of an intimal flap in the lumen, incl. floating			
да / yes	6 (10.5%)	1 (2.2%)	0.130
нет / no	51 (89.5%)	44 (97.8%)	

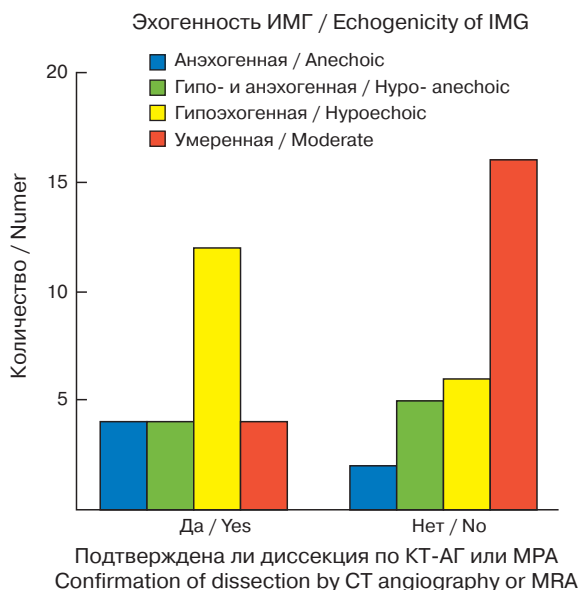
**Таблица 4.** Частота различных сочетаний ультразвуковых признаков диссекций по данным ДС БЦА**Table 4.** The frequency of various combinations of dissections ultrasound signs according to the data of duplex scanning

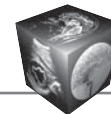
Сочетание ультразвуковых признаков Combination of sonographic features	Количество пациентов Number of patients n (%)
Расширение диаметра сосуда и наличие “двойного” просвета Expansion of the vessel diameter and the presence of a “double” lumen	10 (9.3%)
Расширение диаметра сосуда и асимметричное сужение межинтимального диаметра Expansion of the vessel diameter and asymmetric narrowing of the interintimal diameter	16 (14.8%)
Расширение диаметра сосуда и наличие ИМГ Expansion of the vessel diameter and the presence of IMG	32 (29.6%)
Расширение диаметр сосуда и наличие лоскута в просвете, в том числе флотирующего Expansion of the vessel diameter and the presence of a flap in the lumen, incl. floating	5 (4.6%)
Наличие “двойного” просвета и асимметричное сужение межинтимального диаметра The presence of a “double” lumen and asymmetric narrowing of the interintimal diameter	5 (4.6%)
Наличие “двойного” просвета и ИМГ The presence of a “double” lumen and IMG	8 (7.4%)
Наличие “двойного” просвета и лоскута интимы в просвете, в том числе флотирующего The presence of a “double” lumen and an intimal flap in the lumen, incl. floating	5 (4.6%)
Асимметричное сужение межинтимального диаметра и наличие ИМГ Asymmetric narrowing of the interintimal diameter and the presence of IMG	12 (11.1%)
Асимметричное сужение межинтимального диаметра и наличие лоскута интимы, в том числе флотирующего Asymmetric narrowing of the interintimal diameter and the presence of an intimal flap, incl. floating	1 (0.9%)
Наличие ИМГ и лоскута интимы в просвете, в том числе флотирующего The presence of IMG and intima flap in the lumen, incl. floating	1 (0.9%)

также подтверждалось при проведении МСКТА или МРТ.

При оценке взаимосвязи подтверждения наличия диссекции по данным МСКТА или МРТ с различными ультразвуковыми признаками диссекций по данным ДС БЦА достоверная взаимосвязь была выявлена для эхогенности ИМГ (умеренная эхогенность ИМГ отмечалась достоверно чаще в случае, если диссекция не подтверждалась данными МСКТА или МРТ, $p = 0,018$) (см. рисунок). Для других ультразвуковых признаков диссекции по данным ДС БЦА значимой взаимосвязи с подтверждением диссекции по данным МСКТА или МРТ выявлено не было.

Была выявлена взаимосвязь между локализацией диссекции и ее подтверждением по данным МСКТА или МРА в сравнении с данными ДС БЦА. Достоверно чаще ($p = 0,018$) при локализации диссекции в ПА по данным ДС БЦА ее наличие не подтверждалось данными МСКТА или МРТ (30 (48,4%) случаев против 13 (33,3%) случаев), в отличие от сонных артерий.

**Рисунок.** Эхогенность ИМГ в зависимости от выявления признаков диссекции по данным МСКТА или МРТ.**Figure.** Echogenicity of IMG depending on the detection of dissection signs according to MSCT-angiography or MRI data.

**Таблица 5.** Доля совпадения признаков диссекций, полученных при ДС БЦА и МСКТА**Table 5.** Share of coincidence of dissections signs obtained by duplex scanning and by MSCT-angiography

Наличие признака диссекции по данным различных методов диагностики The presence of dissection sign according to various diagnostic methods	КТ: симптом полулуния СТ: Crescent Symptom (n/%)		КТ: увеличение наружного диаметра СТ: outer diameter increase (n/%)		КТ: псевдо-аневризма СТ: pseudo-aneurysm (n/%)		КТ: "пламя свечи" СТ: "candle flame" (n/%)	
	есть yes	нет no	есть yes	нет no	есть yes	нет no	есть yes	нет no
ДС БЦА: расширение диаметра сосуда Duplex scanning: Expansion of the vessel diameter								
есть / yes	3 42.9%	19 65.5%	4 50.0%	18 64.3%	2 66.7%	20 60.6%	2 100.0%	20 58.8%
нет / no	4 57.1%	10 34.5%	4 50.0%	10 35.7%	1 33.3%	13 39.4%	0 0.0%	14 41.2%
ДС БЦА: наличие "двойного" просвета Duplex scanning: the presence of a "double" lumen								
есть / yes	1 14.3%	5 17.2%	0 0.0%	6 21.4%	0 0.0%	6 18.2%	1 50.0%	5 14.7%
нет / no	6 85.7%	24 82.8%	8 100.0%	22 78.6%	3 100.0%	27 81.8%	1 50.0%	29 85.3%
ДС БЦА: асимметричное сужение межинтимального диаметра Duplex scanning: Asymmetric narrowing of the interintimal diameter								
есть / yes	4 57.1%	5 17.2%	2 25.0%	7 25.0%	0 0.0%	9 27.3%	0 0.0%	9 26.5%
нет / no	3 42.9%	24 82.8%	6 75.0%	21 75.0%	3 100.0%	24 72.7%	2 100.0%	25 73.5%
ДС БЦА: наличие ИМГ Duplex scanning: Presence of IMG								
есть / yes	4 57.1%	17 58.6%	7 87.5%	14 50.0%	1 33.3%	20 60.6%	2 100.0%	19 55.9%
нет / no	3 42.9%	12 41.4%	1 12.5%	14 50.0%	2 66.7%	13 39.4%	0 0.0%	15 44.1%
ДС БЦА: наличие лоскута интимы в просвете, в том числе флотирующего Duplex scanning: Presence of an intimal flap in the lumen, incl. floating								
есть / yes	0 0.0%	3 10.3%	0 0.0%	3 10.7%	0 0.0%	3 9.1%	0 0.0%	3 8.8%
нет / no	7 100.0%	26 89.7%	8 100%	25 89.3%	3 100.0%	30 90.9%	2 100%	31 91.2%

**Таблица 6.** Доля совпадения признаков диссекций, полученных при ДС БЦА и МРТ**Table 6.** Share of coincidence of dissections signs obtained by duplex scanning and by MSCT-angiography

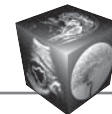
Наличие признака диссекции по данным различных методов диагностики The presence of dissection sign according to various diagnostic methods	МРТ: симптом полулуния MRI: Crescent Symptom (n/%)		МРТ: псевдоаневризма MRI: pseudo-aneurysm (n/%)	
	есть yes	нет no	есть yes	нет no
ДС БЦА: расширение диаметра сосуда Duplex scanning: Expansion of the vessel diameter есть / yes	11 78.6%	12 52.2%	1 50.0%	21 61.8%
нет / no	3 21.4%	11 47.8%	1 50.0%	13 38.2%
ДС БЦА: наличие "двойного" просвета Duplex scanning: the presence of a "double" lumen есть / yes	2 14.3%	4 17.4%	0 0.0%	6 17.6%
нет / no	12 85.7%	19 82.6%	2 100.0%	28 82.4%
ДС БЦА: асимметричное сужение межинтимального диаметра Duplex scanning: Asymmetric narrowing of the interintimal diameter есть / yes	6 42.9%	3 13.0%	0 0.0%	9 26.5%
нет / no	8 57.1%	20 87.0%	2 100.0%	25 73.5%
ДС БЦА: наличие ИМГ Duplex scanning: Presence of IMG есть / yes	10 71.4%	12 52.2%	1 50.0%	20 58.8%
нет / no	4 28.6%	11 47.8%	1 50.0%	14 41.2%
ДС БЦА: наличие лоскута интимы в просвете, в том числе флотирующего Duplex scanning: Presence of an intimal flap in the lumen, incl. floating есть / yes	0 0.0%	3 13.0%	0 0.0%	3 8.8%
нет / no	14 100.0%	20 87.0%	2 100.0%	31 91.2%

При анализе сопоставимости различных ультразвуковых, а также КТ- и МРТ-признаков диссекции ввиду различий физических принципов данных диагностических методов и невозможности установить соответствие между отдельными признаками проводилось сравнение всех признаков, полученных при дуплексном сканировании, со всеми признаками по данным КТ и МРТ (табл. 5, 6).

Приведенные данные свидетельствуют, что из всех ультразвуковых признаков диссекций наибольшая доля совпадений с другими методами диагностики характерна для наличия ИМГ. Обнаружение данного признака при дуплексном

сканировании в сравнении с остальными наиболее часто подтверждается при проведении нейровизуализации. Интересно, что наличие такого ультразвукового признака диссекции, как лоскут интимы в просвете, который ярко отражает наличие отслойки стенки артерии, не нашло подтверждения ни в одном случае сопоставления с признаками диссекции по данным МСКТА и МРТ.

Атеросклероз ветвей дуги аорты по данным ДС БЦА отмечался у 74 (68,5%) пациентов. При анализе взаимосвязи подтверждения диссекции по данным МСКТА или МРТ и наличия у пациента признаков атеросклероза ветвей дуги аорты на уровне



тенденции ($p = 0,052$) было установлено, что чаще атеросклероз обнаруживался у пациентов, у которых диссекция по МСКТА или МРТ не подтверждалась. У ряда пациентов по данным ДС БЦА мы наблюдали последствия диссекций в ПА (очевидные признаки в виде эксцентрически расположенной ИМГ умеренной эхогенности, в некоторых случаях с лоскутом интимы в просвете) на фоне невыраженного атеросклероза артерий дуги аорты, но по данным МСКТА/МРТ эти изменения в ПА никак не описывались, поскольку ИМГ уже не дифференцировалась от окружающих тканей, очевидного сужения просвета не наблюдалось, отсутствовали изменения гиперденности стенки артерии и потока в просвете артерии либо описывались как минимальные атеросклеротические изменения. Также имеются сведения, что МРТ/МРА имеет более низкую чувствительность и специфичность в выявлении диссекций ПА по сравнению с диссекциями сонных [20, 21].

Достоверной взаимосвязи ультразвуковых признаков диссекции по данным ДС БЦА и возрастом пациента, а также наличием признаков атеросклероза выявлено не было.

При оценке взаимосвязи ультразвуковых признаков диссекции и характеристик ишемического инсульта было установлено, что наличие ИМГ и умеренная эхогенность ИМГ достоверно чаще ($p = 0,014$ и $p = 0,002$ соответственно) были отмечены при локализации очага ишемического инсульта слева. Взаимосвязи ультразвуковых признаков диссекции по данным ДС БЦА с другими характеристиками очага инсульта установлено не было.

Обсуждение

Анализ и интерпретация полученных при проведении исследования результатов показали наличие ряда закономерностей, обсуждение которых представлено ниже.

Чувствительность метода ДС БЦА в нашем исследовании составила 97,2%, что оказалось выше значения J. Nebelsieck и соавт. (2009) [4]. Высокая чувствительность ультразвукового исследования связана с фокусированным прямым обзором области диссекции, а также возможностью визуализации признаков диссекции в подострой и хронической стадии ее развития.

Наиболее часто встречающимися ультразвуковыми признаками диссекции в нашем исследовании были расширение диаметра сосуда и наличие ИМГ, а также их сочетание. По данным исследования 2018 г. среди ультразвуковых признаков диссекции ПА наиболее распространенным является наличие ИМГ [5]. Кроме того, по результатам про-

веденного нами исследования было показано, что при диссекции ПА достоверно реже встречается наличие “двойного” просвета в сравнении с локализацией диссекции в каротидных артериях, а при диссекциях сонных артерий достоверно реже отмечалось асимметричное сужение межинтимального диаметра.

Известно, что по мере увеличения сроков от развития диссекции эхогенность ИМГ постепенно повышается от анэхогенной в острой стадии до умеренной в хронической стадии. Использование В-режима в сочетании с режимом цветового доплеровского кодирования позволяет визуализировать ИМГ в виде “непрокрашиваемого” участка просвета сосуда, что особенно важно при острой диссекции, когда гематома анэхогенна [13]. У лиц молодого возраста ИМГ может не рассасываться и по прошествии нескольких месяцев при проведении дуплексного сканирования может трактоваться как фиброзированная атеросклеротическая бляшка, однако молодой возраст пациента и отсутствие атеросклеротического поражения других артерий могут позволить заподозрить именно наличие ИМГ. Диагноз также может быть поставлен с использованием неинвазивных, общедоступных методов МСКТА или МРТ [14, 15]. В проведенном нами исследовании только у 37% пациентов наличие диссекции по данным дуплексного сканирования также подтверждалось при выполнении КТ или МРТ. Вероятно, это может быть связано с тем, что среди включенных в исследование лиц представлены пациенты с диссекциями в разных стадиях их развития. Известно, что через 2,5–3 мес от развития диссекции ИМГ при проведении МРА перестает визуализироваться в связи с ее “рассасыванием”, сопровождающимся восстановлением проходимости просвета артерии, либо, если сохраняется окклюзия, сигнал от организовавшейся ИМГ становится изоинтенсивным, вследствие чего она не дифференцируется от окружающих тканей [6]. По результатам нашего исследования среди пациентов, у которых по данным МСКТА или МРТ диссекция выявлена не была, несмотря на ее наличие по данным ультразвукового исследования, достоверно чаще выявлялась ИМГ умеренной эхогенности, что подтверждает вышеописанные предположения.

Выявление при дуплексном сканировании такого признака, как наличие ИМГ, в сравнении с остальными ультразвуковыми признаками наиболее часто совпадает с признаками, полученными при проведении МСКТА или МРТ, т.е. ИМГ является наиболее согласующимся с другими методами признаком независимо от локализации. Учитывая, что наличие ИМГ как по нашим данным,



так и по данным литературы [5] является наиболее часто встречающимся ультразвуковым признаком диссекции, факт его сопоставимости с признаками, полученными другими методами, повышает его диагностическую точность при проведении дуплексного сканирования.

Характерные МР-находки при диссекции сонных артерий включают в себя уменьшение или отсутствие артефакта потока и симптом полумесяца в результате сужения сосуда и ИМГ на аксиальных T1-взвешенных и FLAIR-изображениях [16, 17]. Сигнальные характеристики гематомы при этом зависят от давности кровоизлияния [18–20]. Также имеются сведения, что МРТ/МРА имеет более низкую чувствительность и специфичность в выявлении диссекций ПА по сравнению с диссекциями сонных [20, 21]. В нашем исследовании наличие диссекции в ПА по данным ДС БЦА достоверно реже подтверждалось по данным нейровизуализирующих методов диагностики. Вероятно, это связано с тем, что большей доле этих пациентов было проведено МРТ, а не МСКТА. Исследования, сравнивающие ценность методов визуализации диссекций ПА и ВСА, показали, что МСКТА может быть методом выбора для визуализации ПА, учитывая меньший диаметр сосуда и близость к костным структурам [22, 23]. Известно, что МСКТА превосходит МРТ с МРА в обнаружении псевдоаневризм, лоскутов интимы и субокклюзий [24].

Наименее согласующимся с результатами МСКТА и МРТ ультразвуковым признаком диссекции оказалось наличие лоскута интимы в просвете, в том числе флотирующего. Это может быть связано с базовыми физическими различиями ультразвуковых и нейровизуализирующих методов, из которых последние не позволяют визуализировать флотирующий фрагмент стенки артерии на статичных изображениях, что отражает высокую информативность дуплексного сканирования в таких случаях, не имеющую альтернативы.

Также в нашем исследовании было установлено, что на уровне тенденции чаще атеросклероз обнаруживался у пациентов, у которых диссекция по данным МСКТА или МРТ не подтверждалась. Вероятно, это может быть связано с тем, что у пациентов с наличием признаков атеросклероза ветвей дуги аорты признаки диссекции, в том числе наличие ИМГ, особенно в подострой и хронической стадиях, были интерпретированы как стеноз атеросклеротической бляшкой. Наличие у пациента сопутствующего атеросклероза ветвей дуги аорты при проведении нейровизуализирующих методов могло снижать фокус внимания с диссекции, что происходило реже при проведении ультразвукового исследования.

Локализация диссекции рядом с атеросклеротической бляшкой может вероятнее свидетельствовать о кровоизлиянии в бляшку, чем о совпадении в локализации атеросклеротического процесса и диссекции.

Было установлено, что наличие ИМГ и умеренная эхогенность ИМГ достоверно чаще регистрировались при локализации очага ишемического инсульта слева, при этом взаимосвязи ультразвуковых признаков диссекции по данным ДС БЦА с другими характеристиками очага инсульта установлено не было. Вероятно, выявленный феномен имеет случайный характер или связан с особенностями сформированной выборки.

Заключение

Наиболее часто регистрируемыми ультразвуковыми признаками диссекций оказались расширение диаметра сосуда и наличие ИМГ, а также их сочетание. Наличие ИМГ также оказалось наиболее согласующимся с признаками диссекции, полученными при проведении нейровизуализирующих методов диагностики, признаком независимо от локализации. Метод дуплексного сканирования показал свою безальтернативность в выявлении такого признака диссекции, как наличие лоскута интимы в просвете артерии. Наличие диссекции по данным дуплексного сканирования не всегда подтверждалось при проведении МСКТА или МРА в связи с более поздними стадиями течения диссекций у пациентов, включенных в исследование. Полученные в результате проведенного исследования данные показывают высокую чувствительность ультразвукового исследования в диагностике диссекций, в том числе в подострой и хронической стадиях, и могут быть полезны для дифференциальной диагностики выявленных патологий БЦА и установления причин развития ишемического инсульта.

Источники финансирования

Работа выполнена в рамках Государственного задания №388-00083-22-00 от 30.12.2021, регистрационный номер НИР 122022100113-7 от 21 февраля 2022 г.

Участие авторов

Орлова Е.В. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Бердалин А.Б. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Хайцман Д.М. – сбор и обработка данных.

Лелюк С.Э. – участие в научном дизайне.



Лелюк В.Г. – проведение исследования, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Orlova E.V. – review of publications, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Berdalin A.B. – concept and design of the study, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data.

Khaitzman D.M. – collection and analysis of data.

Lelyuk S.E. – participation in scientific design.

Lelyuk V.G. – conducting research, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Pham M.H., Rahme R.J., Arnaout O. et al. Endovascular Stenting of Extracranial Carotid and Vertebral Artery Dissections: A Systematic Review of the Literature. *Neurosurgery*. 2011; 68 (4): 856–866. <https://doi.org/10.1227/neu.0b013e318209ce03>
2. Völker W., Besselmann M., Dittrich R. et al. Generalized arteriopathy in patients with cervical artery dissection. *Neurology*. 2005; 64 (9): 1508–1513. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000159739.24607.98>
3. Gardner D.J., Gosink B.B., Kallman C.E. Internal carotid artery dissections: duplex ultrasound imaging. *J. Ultrasound Med*. 1991; 10 (11): 607–614. <https://doi.org/10.7863/jum.1991.10.11.607>
4. Nebelsieck J., Sengelhoff C., Nassenstein I. et al. Sensitivity of neurovascular ultrasound for the detection of spontaneous cervical artery dissection. *J. Clin. Neurosci*. 2009; 16 (1): 79–82. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2008.04.005>
5. Yang L., Ran H. Extracranial vertebral artery dissection. *Medicine*. 2018; 97 (9): e0067. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000010067>
6. Калашникова Л.А., Добрынина Л.А., Четкин А.О., Древал М.В., Кротенкова М.В., Захаркина М.В. Нарушения мозгового кровообращения при диссекции внутренней сонной и позвоночной артерий. Алгоритм диагностики. *Нервные болезни*. 2016. 2: 10–15. Kalashnikova L.A., Dobrynina L.A., Chechetkin A.O., Dreval M.V. Disorders of cerebral circulation during dissection of the internal carotid and vertebral arteries. Diagnostic algorithm. (Narusheniya mozgovogo krovoobrashcheniya pri dissekcii vnutrennej sonnoj i pozvonochnoj arterij. Algoritm diagnostiki). *Nervny'e bolezni = Neurological diseases*. 2016. 2: 10–15. (In Russian)
7. Benninger D.H., Baumgartner R.W. Ultrasound Diagnosis of Cervical Artery Dissection. In: *Handbook on Neurovascular Ultrasound*. KARGER; 2006: 70–84. <https://doi.org/10.1159/000092386>
8. Ben Hassen W., Machet A., Edjlali-Goujon M. et al. Imaging of cervical artery dissection. *Diagn. Interv. Imaging*. 2014; 95 (12): 1151–1161. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2014.10.003>
9. Petro G., Witwer G., Cacayorin E. et al. Spontaneous dissection of the cervical internal carotid artery: correlation of arteriography, CT, and pathology. *Am. J. Roentgenol*. 1987; 148 (2): 393–398. <https://doi.org/10.2214/ajr.148.2.393>
10. Zuber M., Meary E., Meder J.F., Mas J.L. Magnetic resonance imaging and dynamic CT scan in cervical artery dissections. *Stroke*. 1994; 25 (3): 576–581. <https://doi.org/10.1161/01.str.25.3.576>
11. Leclerc X., Godefroy O., Salhi A. et al. Helical CT for the Diagnosis of Extracranial Internal Carotid Artery Dissection. *Stroke*. 1996; 27 (3): 461–466. <https://doi.org/10.1161/01.str.27.3.461>
12. Rodallec M.H., Marteau V., Gerber S. et al. Craniocervical Arterial Dissection: Spectrum of Imaging Findings and Differential Diagnosis. *RadioGraphics*. 2008; 28 (6): 1711–1728. <https://doi.org/10.1148/rg.286085512>
13. Benninger D.H., Georgiadis D., Gandjour J., Baumgartner R.W. Accuracy of Color Duplex Ultrasound Diagnosis of Spontaneous Carotid Dissection Causing Ischemia. *Stroke*. 2006; 37 (2): 377–381. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000198811.65068.16>
14. Калашникова Л.А., Добрынина Л.А., Максимова М.Ю., Танащян М.М., Данилова М.С., Древал М.В. Диссекция внутренней сонной и позвоночной артерии: тактика ведения пациентов. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2021; 15 (1): 5–11. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2021.1.1>
15. Kalashnikova L.A., Dobrynina L.A., Maksimova M.Yu. et al. Dissection of the internal carotid and vertebral artery: management tactics (Dissekcija vnutrennej sonnoj i pozvonochnoj arterij: taktika vedeniya pacientov). *Annaly klinicheskoy i e'ksperimental'noj nevrologii = Annals of clinical and experimental neurology*. 2021; 15 (1): 5–12. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2021.1.1> (In Russian)
16. Clark M., Unnam S., Ghosh S. A review of carotid and vertebral artery dissection. *Br. J. Hosp. Med*. 2022; 83 (4): 1–11. <https://doi.org/10.12968/hmed.2021.0421>
17. Kirsch E., Kaim A., Engelter S. et al. MR angiography in internal carotid artery dissection: Improvement of diagnosis by selective demonstration of the intramural haematoma. *Neuroradiology*. 1998; 40 (11): 704–709. <https://doi.org/10.1007/s002340050668>
18. Latchaw R.E., Albers S.L. Imaging the Cervical Vasculature. *Prog. Cardiovasc. Dis*. 2017; 59 (6): 555–584. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2017.05.007>
19. Shakir H.J., Davies J.M., Shallwani H. Carotid and Vertebral Dissection Imaging. *Curr. Pain. Headache Rep*. Published online 2016. <https://doi.org/10.1007/s11916-016-0593-5>
20. Debette S., Compter A., Labeyrie M.A. et al. Epidemiology, pathophysiology, diagnosis, and management of intracranial artery dissection. *Lancet Neurol*. 2015; 14 (6): 640–654. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(15\)00009-5](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(15)00009-5)
21. Brott T.G., Halperin J.L., Abbara S. et al. 2011 ASA/ACCF/AHA/AANN/AANS/ACR/ASNR/CNS/SAIP/SCAI/SIR/SNIS/SVM/SVS Guideline on the Management of Patients With Extracranial Carotid and Vertebral Artery Disease: Executive Summary. *Vascular Medicine*. 2011; 16 (1): 35–77. <https://doi.org/10.1177/1358863x11399328>



21. The International Classification of Headache Disorders, 3rd edition (beta version). *Cephalalgia*. 2013; 33 (9): 629–808. <https://doi.org/10.1177/0333102413485658>
22. Provenzale J.M., Sarikaya B. Comparison of Test Performance Characteristics of MRI, MR Angiography, and CT Angiography in the Diagnosis of Carotid and Vertebral Artery Dissection: A Review of the Medical Literature. *Am. J. Roentgenol*. 2009; 193 (4): 1167–1174. <https://doi.org/10.2214/ajr.08.1688>
23. Elijovich L., Kazmi K., Gauvrit J.Y., Law M. The emerging role of multidetector row CT angiography in the diagnosis of cervical arterial dissection: preliminary study. *Neuroradiology*. 2006; 48 (9): 606–612. <https://doi.org/10.1007/s00234-006-0100-5>
24. Vertinsky A.T., Schwartz N.E., Fischbein N.J. et al. Comparison of Multidetector CT Angiography and MR Imaging of Cervical Artery Dissection. *Am. J. Neuroradiol*. 2008; 29 (9): 1753–1760. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a1189>

Для корреспонденции*: Орлова Екатерина Владимировна – e-mail: ekaterina.shlyk@gmail.com

Орлова Екатерина Владимировна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела экспериментальной и клинической физиологии кровообращения, ультразвуковой и функциональной диагностики ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4755-7565>

Бердалин Александр Берикович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5387-4367>

Хайцман Дарья Михайловна – научный сотрудник отдела экспериментальной и клинической физиологии кровообращения, ультразвуковой и функциональной диагностики ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3429-3708>

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

Лелюк Владимир Геннадьевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель МПМЦ “Сосудистая клиника на Патриарших”; руководитель отдела клинической и экспериментальной физиологии кровообращения ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>

Contact*: Ekaterina V. Orlova – e-mail: ekaterina.shlyk@gmail.com

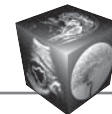
Ekaterina V. Orlova – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Experimental and Clinical Physiology of Circulation, Ultrasound and Functional Diagnostics Federal center of brain research and neurotechnologies” of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4755-7565>

Alexander B. Berdalin – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5387-4367>

Darya M. Khaitsman – Researcher, Department of Experimental and Clinical Physiology of Circulation, Ultrasound and Functional Diagnostics Federal center of brain research and neurotechnologies” of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3429-3708>

Svetlana E. Lelyuk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Vascular Clinic on the Patriarchs; Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Russian Medical Academy of Continuing Professional, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8428-8037>

Vladimir G. Lelyuk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Vascular Clinic on the Patriarchs; Head of Department clinical and experimental physiology of circulatory system, ultrasound and functional diagnostics, Federal center of brain research and neurotechnologies” of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1461>

Комплексная оценка функции правого желудочка при острой тромбоэмболии легочной артерии

© Кондрашова К.В.^{1*}, Рыбакова М.К.², Митькова М.Д.², Митьков В.В.²

¹ ГБУЗ Калужской области "Калужская областная клиническая больница"; 248007 Калуга, ул. Вишневого, д. 1, Российская Федерация

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

Цель исследования: оценка значения показателей систолической функции правого желудочка (ПЖ) и правожелудочково-артериального сопряжения (ПЖАС) при трансторакальной эхокардиографии (ЭхоКГ) у пациентов с острой субмассивной/массивной тромбоэмболией легочной артерии (ТЭЛА).

Материал и методы. Обследовано 34 пациента (16 (47,1%) женщин, 18 (52,9%) мужчин) с острой субмассивной/массивной ТЭЛА. Диагноз поставлен на основании КТ-ангиопульмонографии с болюсным внутривенным контрастированием. Средний возраст пациентов составил 61 ± 13 лет ($M \pm SD$). В качестве контрольной группы обследовано 30 здоровых лиц: 16 (53,3%) женщин, 14 (46,7%) мужчин. Средний возраст здоровых лиц составил 39 ± 10 лет. Трансторакальная ЭхоКГ проводилась на аппарате Vivid E95 (GE HealthCare, США) с постобработкой данных на рабочей станции EchoPac. Изучали стандартные показатели систолической функции ПЖ, а также глобальную продольную систолическую деформацию (ГПСД) ПЖ и продольную систолическую деформацию свободной стенки (ПСД СС) ПЖ с помощью двухмерной спекл-трекинг-ЭхоКГ. Кроме того, определяли различные показатели ПЖАС, такие как отношения TAPSE, ФИП ПЖ, ГПСД и ПСД СС к систолическому давлению в легочной артерии (СДЛА).

Результаты. У пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА все показатели систолической функции ПЖ достоверно отличались от контрольной группы (p от 0,0011 до $<0,0001$). При этом показатели продольной деформации демонстрировали лучшую информативность по сравнению со стандартными показателями систолической функции ПЖ ($AUC = 0,898-0,912$ против $0,738-0,849$). Отмечено также достоверное снижение ($p < 0,0001$) всех параметров ПЖАС (TAPSE/СДЛА, ФИП ПЖ/СДЛА, ГПСД ПЖ/СДЛА, ПСД СС ПЖ/СДЛА) у пациентов с ТЭЛА по сравнению с контрольной группой. Информативность показателей ПЖАС ($AUC = 0,991-0,997$) была выше всех показателей систолической функции. Наибольшую информативность среди показателей ПЖАС продемонстрировал ГПСД ПЖ/СДЛА $<0,66$ %/мм рт.ст. (чувствительность – 94,1%, специфичность – 100,0%, $AUC = 0,997$).

Выводы. Включение параметров продольной деформации и ПЖАС в исследование функции ПЖ повышает выявляемость его дисфункции при острой субмассивной/массивной ТЭЛА.

Ключевые слова: спекл-трекинг-эхокардиография; функция правого желудочка; тромбоэмболия легочной артерии; правожелудочково-артериальное сопряжение

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кондрашова К.В., Рыбакова М.К., Митькова М.Д., Митьков В.В. Комплексная оценка функции правого желудочка при острой тромбоэмболии легочной артерии. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 89–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1461>

Поступила в редакцию: 02.03.2024.

Принята к печати: 13.08.2024.

Опубликована online: 12.09.2024.



Comprehensive evaluation of right ventricular function in acute pulmonary embolism

© Ksenia V. Kondrashova^{1*}, Marina K. Rybakova², Mina D. Mitkova², Vladimir V. Mitkov²

¹ Kaluga Regional Clinical Hospital; 1, Vishnevsky str., Kaluga 248007, 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

Objective. Assessment of right ventricle (RV) systolic function and right ventricular-arterial coupling (RVAC) parameters during transthoracic echocardiography in patients with acute submassive/massive pulmonary embolism.

Material and methods. 34 patients with acute submassive/massive pulmonary embolism were examined. The diagnosis was made on the basis of CT pulmonary angiography. The mean age of the patients was 61 ± 13 years ($M \pm SD$). Of these, 16 (47.1%) were women, 18 (52.9%) were men. 30 healthy adults were examined as a control group: 16 (53.3%) women, 14 (46.7%) men. The average age of healthy individuals was 39 ± 10 years. Transthoracic echocardiography was performed on the Vivid E95 ultrasound system (GE HealthCare, USA) with data post-processing on the EchoPak workstation. We studied standard parameters of RV systolic function, as well as RV global longitudinal systolic strain (RVGLS) and RV longitudinal systolic free wall strain (RVFWLS) using two-dimensional speckle tracking echocardiography. In addition, various parameters of RVAC were determined, such as the ratios of TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion), RVFAC (fractional area change), RVGLS, and RVFWLS to pulmonary artery systolic pressure (PASP).

Results. In patients with acute submassive/massive pulmonary embolism, all measures of RV systolic function were significantly different from the control group (p 0.0011 to < 0.0001). At the same time, longitudinal strain parameters demonstrated better diagnostic accuracy compared to standard parameters of RV systolic function (AUC – 0.898–0.912 versus 0.738–0.849). There was also a significant decrease ($p < 0.0001$) in all RVAC parameters (TAPSE/PASP, RVFAC/PASP, RVGLS/PASP, RVFWLS/PASP) in patients with pulmonary embolism compared to the control group. The diagnostic accuracy of RVAC parameters (AUC – 0.991–0.997) was higher than all parameters of systolic function. The most diagnostic accuracy among RVAC parameters was demonstrated by RVGLS/PASP < 0.66 %/mmHg (sensitivity – 94.1%, specificity – 100.0%, AUC – 0.997).

Conclusions. Application of longitudinal strain and RVAC parameters in the RV function assessment increases the detection of its dysfunction in acute submassive/massive pulmonary embolism.

Keywords: speckle-tracking echocardiography; right ventricular function; pulmonary embolism; right ventricular-arterial coupling

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

For citation: Kondrashova K.V., Rybakova M.K., Mitkova M.D., Mitkov V.V. Comprehensive evaluation of right ventricular function in acute pulmonary embolism. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 89–98. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1461>

Received: 02.03.2024.

Accepted for publication: 13.08.2024.

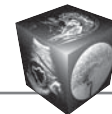
Published online: 12.09.2024.

Введение

В современной кардиологии большое внимание уделяется оценке функции правого желудочка (ПЖ). Особенно это важно у больных с нарушением функции ПЖ на фоне ургентной патологии, такой как субмассивная/массивная острая тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА). Современные технологии в эхокардиографии (ЭхоКГ) позволяют быстро провести расчеты параметров функции ПЖ и правожелудочково-артериального сопряжения (ПЖАС) у этой категории больных, что играет существенную роль в тактике их ведения. Каждое новое исследование в этом направлении может представлять интерес.

Роль ПЖ заключается в упорядочивании различных объемов венозного возврата в относительно постоянный ударный объем, который выбрасывается в легочную циркуляцию [1]. В сокращение ПЖ важный вклад вносит сокращение левого желудочка (ЛЖ), от 20 до 40% ударного объема ПЖ и легочного потока происходят за счет ЛЖ. Нормальная функция ПЖ зависит от системного венозного возврата, нагрузки на правое предсердие (постнагрузки ПЖ), податливости перикарда, собственной сократимости свободной стенки ПЖ и сократимости межжелудочковой перегородки [2].

Постнагрузка является основным фактором, определяющим нормальную функцию ПЖ, а фрак-



ция выброса (ФВ) ПЖ обратно пропорциональна давлению в легочной артерии (ЛА). Резкое увеличение постнагрузки на ПЖ, например при острой ТЭЛА, может быстро уменьшить ударный объем ПЖ с минимальным компенсаторным увеличением систолического давления в ПЖ, что приводит к гемодинамическому коллапсу [3]. В ПЖ действуют два механизма регуляции: гетерометрический и гомеометрический. Гетерометрическая регуляция основана на механизме Франка–Старлинга и предполагает увеличение ударного объема в ответ на увеличение конечного систолического объема [3]. Гомеометрическая авторегуляция предполагает, что за счет усиления сократимости ПЖ адаптируется к нагрузке, что позволяет поддерживать сердечный выброс [4].

Острая ТЭЛА – типичный пример перегрузки ПЖ давлением, и влияние перегрузки на регионарную и глобальную функцию ПЖ является предметом изучения [5]. На начальных этапах легочной гипертензии ПЖ адаптируется к увеличению постнагрузки путем увеличения сократительной способности и незначительного расширения полости, а при прогрессировании процесса способность его к адаптации снижается, вследствие чего сократимость снижается, и дилатация полости прогрессирует [6]. При ТЭЛА систолическое давление в ЛА (СДЛА) повышается только при окклюзии 30–50% [6, 7]. Дисфункция ПЖ, определяемая как быстро прогрессирующий синдром с системным застоем в результате нарушения наполнения ПЖ и/или снижения ударного объема ПЖ, является критическим фактором, определяющим клиническую тяжесть и исход при острой ТЭЛА [6].

Особое внимание исследователи уделяют комплексной оценке взаимосвязи ПЖ с малым кругом кровообращения [8–10]. Одним из первых описанных и наиболее валидированных способов оценки ПЖАС при трансторакальной ЭхоКГ является отношение величины амплитуды движения латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана (tricuspid annular plane systolic excursion – TAPSE) к СДЛА [10]. Другие предложенные показатели ПЖАС были сформированы путем замены TAPSE различными ЭхоКГ-показателями сократимости ПЖ, в том числе показателями продольной деформации ПЖ [11].

ПЖАС позволяет определить, насколько адекватно компенсируется функция ПЖ при определенных условиях нагрузки. В стадии компенсации с увеличением постнагрузки сократительная функция ПЖ увеличивается для поддержания стабильности ПЖАС. При декомпенсации сократимость ПЖ не повышается относительно постнагрузки, что приводит к снижению сопряжения ПЖ

и системы ЛА. F. Ferrara и соавт. [9] отметили, что величина TAPSE с возрастом не меняется, но отношение TAPSE/СДЛА – достоверно снижается. У большой группы пациентов после транскатетерной пластики трикуспидального клапана ($n = 444$) соотношение TAPSE/СДЛА $>0,406$ мм/мм рт.ст. было связано со снижением риска смертности от всех причин (отношение риска (hazard ratio – HR) – 0,57, 95% доверительный интервал (ДИ) – 0,35–0,93, $p = 0,023$) [12].

Функцию ПЖ рутинно оценивают по следующим параметрам: индекс миокардиальной производительности (right-sided index of myocardial performance – RIMP), измеренный в режиме импульсноволновой доплерографии или режиме тканевой импульсноволновой доплерографии; TAPSE; фракционное изменение площади (ФИП) ПЖ; скорость движения латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана в режиме тканевой импульсноволновой доплерографии (скорость пика s') и ФВ ПЖ [13]. Но оценка работы ПЖ с помощью стандартной ЭхоКГ является сложной задачей. Например, основные ограничения TAPSE заключаются в том, что этот показатель зависит от угла наклона и измеряет смещение лишь одного сегмента свободной стенки ПЖ. Кроме того, TAPSE не учитывает радиальное и перекрестное сокращение и, следовательно, не отражает глобальную систолическую функцию ПЖ. ФИП ПЖ отражает как продольное, так и радиальное укорочение ПЖ, но при этом пренебрегает сокращением выводного тракта, а RIMP ненадежен у пациентов с повышенным давлением в правом предсердии и не корректен при нарушениях ритма [14].

Оценка продольной деформации позволяет повысить точность функционального анализа ПЖ и выявить его дисфункцию на стадии, предшествующей снижению ФВ [15]. Спекл-трекинг-ЭхоКГ для ПЖ используется для стратификации прогноза и решения вопросов ведения пациентов с легочной артериальной гипертензией, ТЭЛА, острыми коронарными синдромами, левожелудочковой недостаточностью, аритмогенной кардиомиопатией и врожденными пороками сердца [16]. Роль ЭхоКГ при острой ТЭЛА остается не до конца определенной. Существует ряд новых методов лечения ТЭЛА, включая тромболизис, эндоваскулярные методы и хирургическое вмешательство, поэтому ранняя и точная диагностика ТЭЛА имеет решающее значение [17, 18]. ЭхоКГ не рекомендована для рутинного применения при стабильном состоянии пациента, так как не может диагностировать острую ТЭЛА и не предсказывает лучший прогноз у пациентов с острой ТЭЛА низкого



риска, у которых отсутствуют другие клинические признаки дисфункции ПЖ. Однако ЭхоКГ может дать дополнительную прогностическую информацию у пациентов с более высоким риском [19].

Цель исследования: оценка значения показателей систолической функции ПЖ и ПЖАС у пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА.

Материал и методы

Обследовано 34 пациента (16 (47,1%) женщин, 18 (52,9%) мужчин) с острой субмассивной/массивной ТЭЛА, подтвержденной данными КТ-ангиопульмонографии с болюсным внутривенным контрастированием, которые получали лечение в условиях Регионального сосудистого центра ГБУЗ КО «Калужская областная клиническая больница» с декабря 2022 г. по декабрь 2023 г. Критерии включения пациентов в группу с острой субмассивной/массивной ТЭЛА (группа ТЭЛА): 1) возраст старше 18 лет, 2) верификация субмассивной/массивной ТЭЛА по данным КТ-ангиопульмонографии с болюсным внутривенным контрастированием, 3) информированное согласие на участие в исследовании. Критериями исключения из группы ТЭЛА являлись: острый инфаркт миокарда; ТЭЛА мелких ветвей; поражение трикуспидального клапана вследствие инфекционного эндокардита; протезирование трикуспидального клапана в анамнезе; сочетание хронической сердечной недостаточности и ТЭЛА; тяжелая сопутствующая патология (хроническая болезнь почек, стадия V; острое повреждение почек, стадия III), неудовлетворительное качество изображения, затрудняющее проведение и трактовку результатов ЭхоКГ. Средний возраст пациентов – 61 ± 13 лет ($M \pm SD$) (минимальное–максимальное значения (min–max) – 40–83 года). У 20 (58,8%) пациентов источником ТЭЛА являлись тромбозы глубоких вен нижних конечностей и подвздошных вен, выявленные при ультразвуковом исследовании. Среди пациентов с тромбозом глубоких вен у 2 (5,9%) пациентов при трансторакальной ЭхоКГ выявлены флотирующие образования в полости ПЖ, расцененные как тромбы. У 14 (41,2%) пациентов источник ТЭЛА не был выявлен.

В качестве контрольной группы обследовано 30 здоровых лиц (16 (53,3%) женщин, 14 (46,7%) мужчин). Критериями включения в контрольную группу являлись: 1) возраст старше 18 лет, 2) отсутствие анамнестических данных о болезнях системы кровообращения, 3) отсутствие жалоб со стороны сердечно-сосудистой системы, 4) нормальные данные ЭКГ покоя, 5) нормальный уровень артериального давления покоя. Средний возраст лиц контрольной группы 39 ± 10 (18–55) лет.

Трансторакальную ЭхоКГ выполняли на ультразвуковой системе экспертного класса Vivid E95 (GE Healthcare, США) с последующей обработкой полученных изображений на программном комплексе EchoPack. Все измерения проводились в соответствии с действующими рекомендациями [13, 19]. Систолическая функция ЛЖ оценивалась путем расчета ФВ ЛЖ биплановым способом [13]. Снижение сократительной способности ЛЖ отмечается при ФВ ЛЖ менее 52% у мужчин и менее 54% у женщин [13]. Для количественной оценки систолической функции ПЖ также использованы следующие абсолютные показатели: RIMP (в режиме тканевой импульсно-волновой доплерографии), TAPSE, ФИП ПЖ, скорость пика s' . Снижение систолической функции ПЖ характеризуется увеличением RIMP $>0,54$ [13], снижением TAPSE <17 мм [13], снижением ФИП ПЖ $<35\%$ [13], снижением скорости пика $s' <9,5$ см/с [19].

Для оценки продольной деформации ПЖ в режиме спекл-трекинг-ЭхоКГ использовали апикальный четырехкамерный доступ с ориентацией на ПЖ, оценивали глобальную продольную систолическую деформацию (ГПСД) ПЖ и продольную систолическую деформацию свободной стенки (ПСД СС) ПЖ (см. рисунок). Для анализа были использованы модули абсолютных значений (при описании статистических характеристик и проведении сравнений и ROC-анализа). Пороговое значение для ПСД СС ПЖ составляет $<20\%$ [13]; для ГПСД ПЖ значения $<15,5\%$ считаются ненормальными, значения от 15,5 до 17,3% – пограничными, значения $>17,4\%$ – нормальными [20].

ПЖАС при стандартной ЭхоКГ определяли как отношения TAPSE к СДЛА и ФИП ПЖ к СДЛА. СДЛА оценивали с помощью непрерывноволновой доплерографии потока трикуспидальной регургитации по модифицированному уравнению Бернулли: $СДЛА = 4V^2 + RA \text{ pressure}$, где V – пиковая скорость трикуспидальной регургитации, RA pressure – давление в ПП. Давление в правом предсердии (ПП) рассчитано путем измерения диаметра нижней полой вены и его изменения в зависимости от фаз дыхания [19]. Нормативные значения TAPSE/СДЛА находятся в пределах 0,8–1,8 мм/мм рт.ст. [8, 9]. Также ПЖАС оценивали при спекл-трекинг-ЭхоКГ, используя отношения ГПСД ПЖ к СДЛА и ПСД СС ПЖ к СДЛА.

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программ MedCalc (версия 22.005-64bit) (MedCalc Software Ltd., Бельгия). После проверки количественных данных на нормальность распределения ввиду разнородности полученных результатов (например, одни и те же показатели в контрольной группе и группе ТЭЛА

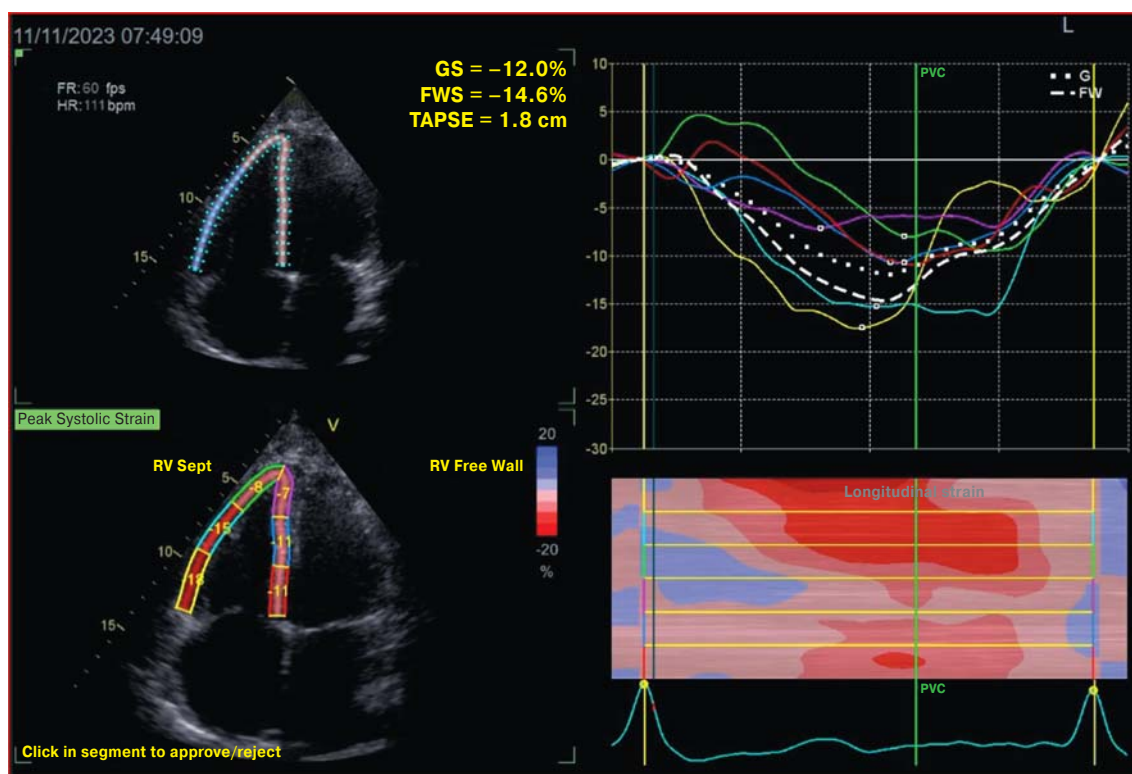
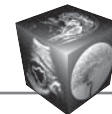


Рисунок. Оценка продольной деформации ПЖ.
Figure. Assessment of right ventricle strain.

характеризовались различным распределением) было принято решение представлять все количественные параметры в виде медианы, 25–75-го перцентилей (интерквартильный размах), среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), а также min–max. Достоверность различий между группами оценивали с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Различия считали достоверными при $p < 0,05$. Также в процессе работы использовали ROC-анализ с представлением пороговых значений, чувствительности и специфичности предлагаемых тестов, а также площади под кривой (area under the curve – AUC) с 95% ДИ.

Результаты

В контрольной группе показатели систолической функции ЛЖ были в пределах нормативных значений. В группе пациентов ТЭЛА снижение ФВ ЛЖ (47%) отмечено только у одного пациента с хронической фибрилляцией предсердий. Несмотря на это, при сравнении значений ФВ ЛЖ в контрольной группе и группе ТЭЛА определялись статистически достоверные различия (табл. 1).

Результаты оценки систолической функции ПЖ у исследуемых пациентов представлены в табл. 2. При сравнении всех параметров в двух группах

определялись статистически достоверные различия. Более детальный анализ показал, что в контрольной группе значения TAPSE, ФИП ПЖ, скорости пика s' , ГПСД ПЖ и ПСД СС ПЖ соответствовали опубликованным нормативным [14, 20]. Однако у 12 лиц контрольной группы (40,0%) значения RIMP оказались $>0,54$.

У пациентов в группе ТЭЛА значения ФИП ПЖ $<35\%$ отмечены только у 10 (29,4%) пациентов, скорости пика $s' <9,5$ см/с – у 8 (23,5%), TAPSE <17 мм – у 10 (29,4%), RIMP $>0,54$ – у 24 (70,6%) пациентов. Нарушение продольной деформации наблюдалось у большей части пациентов с острой ТЭЛА: снижение ПСД СС ПЖ $<20\%$ – у 17 (50,0%) пациентов, ГПСД ПЖ $<17,4\%$ – у 18 (52,9%) пациентов.

Результаты количественной оценки ПЖАС в исследуемых группах представлены в табл. 3. При сравнении всех параметров в двух группах определялись статистически достоверные различия. В контрольной группе значения TAPSE/СДЛА $<0,8$ мм/мм рт.ст. были у 5 (14,7%) пациентов, в группе ТЭЛА – у 100,0%.

Результаты ROC-анализа представлены в табл. 4. Наиболее информативными признаками в оценке систолической дисфункции ПЖ у пациен-

**Таблица 1.** ФВ ЛЖ в контрольной группе и группе ТЭЛА**Table 1.** Left ventricular ejection fraction in controls and patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатель Parameter	Контрольная группа Controls (n = 30)	Группа ТЭЛА Pulmonary embolism (n = 34)	p
ФВ ЛЖ, %	65.5	60.5	0.0028
LVEF, %	64.0–68.0	58.0–65.0	
	65.1 ± 4.3	60.9 ± 5.5	
	55.0–72.0	47.0–70.0	

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: количественные данные представлены в виде медианы (1-я строка ячейки), интерквартильного размаха (2-я строка ячейки), $M \pm SD$ (3-я строка ячейки) и min–max (4-я строка ячейки).

Note. Here and in tables 2, 3: values represent median (1st row), 25–75th percentiles (2nd row), mean $\pm$ SD (3rd row), and range (min–max) (4th row). LVEF, left ventricular ejection fraction.

Таблица 2. Показатели систолической функции ПЖ в контрольной группе и группе ТЭЛА**Table 2.** RV systolic function parameters in controls and patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатель Parameter	Контроль- ная группа Controls (n = 30)	Группа ТЭЛА Pulmonary embolism (n = 34)	p
RIMP	0.52 0.47–0.57 0.53 ± 0.11 0.37–0.91	0.64 0.53–1.05 0.80 ± 0.39 0.36–1.73	0.0011
TAPSE, мм TAPSE, mm	23.0 22.0–25.0 23.3 ± 2.4 19.0–30.0	19.5 16.0–21.0 18.6 ± 4.1 10.0–26.0	<0.0001
ФИП ПЖ, % RVFAC, %	50.0 45.0–54.0 50.1 ± 6.9 38.0–67.0	38.5 33.0–48.0 39.3 ± 10.3 17.0–55.0	<0.0001
Скорость пика s', см/с Pulsed tissue Doppler s wave, cm/sec	15.0 14.0–16.0 14.9 ± 2.3 10.0–22.0	13.0 10.0–14.0 12.0 ± 3.2 6.0–17.0	0.0004
ГПСД ПЖ, % RVGLS, %	23.5 21.9–26.4 24.0 ± 3.4 18.6–32.0	17.2 11.2–20.6 16.6 ± 4.7 8.3–23.7	<0.0001
ПСД СС ПЖ, % RVFWLS, %	25.1 22.6–30.2 26.5 ± 4.7 21.2–38.0	19.5 12.6–21.9 17.8 ± 5.8 8.6–29.7	<0.0001

Таблица 3. Показатели ПЖАС в контрольной группе и группе ТЭЛА**Table 3.** Right ventricular-arterial coupling parameters in controls and patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатель Parameter	Контроль- ная группа Controls (n = 30)	Группа ТЭЛА Pulmonary embolism (n = 34)	p
TAPSE/СДЛА, мм/мм рт.ст. TAPSE/PASP, mm/mm Hg	1.06 0.89–1.29 1.10 ± 0.29 0.63–1.65	0.35 0.27–0.54 0.40 ± 0.17 0.11–0.73	<0.0001
ФИП ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст. RVFAC/PASP, %/mm Hg	2.17 1.88–2.70 2.38 ± 0.74 1.32–4.42	0.74 0.50–1.22 0.86 ± 0.42 0.18–1.58	<0.0001
ГПСД ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст. RVGLS/PASP, %/mm Hg	1.03 0.87–1.32 1.14 ± 0.35 0.67–1.94	0.38 0.20–0.48 0.36 ± 0.18 0.08–0.78	<0.0001
ПСД СС ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст. RVFWLS/PASP, %/mm Hg	1.16 0.90–1.50 1.26 ± 0.40 0.71–2.21	0.40 0.20–0.50 0.39 ± 0.20 0.10–0.91	<0.0001



Таблица 4. Результаты ROC-анализа показателей систолической функции ПЖ и ПЖАС в оценке дисфункции ПЖ у пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА

Table 4. Receiver operating characteristic curve analysis of RV systolic function and right ventricular-arterial coupling parameters for RV dysfunction assessment in patients with acute submassive/massive pulmonary embolism

Показатели Parameters	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %	Пороговое значение Cut-off	AUC (95% ДИ) (95% CI)
RIMP	64.7	80.0	>0.57	0.738
	70.6	60.0	>0.54 [13]	(0.613–0.840)
TAPSE, мм	79.4	80.0	<21.0	0.849
TAPSE, mm	29.4	100.0	<17 [13]	(0.738–0.926)
ФИП ПЖ, %	52.9	96.7	<39.0	0.799
RVFAC, %	29.4	100	<35 [13]	(0.680–0.888)
Скорость пика s', см/с	61.8	76.7	<13.0	0.757
Pulsed tissue Doppler s wave, cm/sec	23.5	100.0	<9.5 [19]	(0.634–0.856)
ГПСД ПЖ, %	88.2	76.7	≤21.6	0.912
RVGLS, %	38.2	100.0	<15.5 [20]	(0.815–0.968)
	52.9	100.0	<17.4 [20]	
ПСД СС ПЖ, %	67.6	100.0	≤21.1	0.898
RVFWLS, %	50.0	100.0	<20.0 [13]	(0.796–0.959)
TAPSE/СДЛА, мм/мм рт.ст.	97.1	96.7	<0.71	0.995
TAPSE/PASP, mm/mm Hg	100.0	85.3	<0.8 [8, 9]	(0.934–1.000)
ФИП ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст.	97.1	96.7	<1.40	0.994
RVFAC/PASP, %/mm Hg				(0.932–1.000)
ГПСД ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст.	97.1	100.0	<0.66	0.997
RVGLS/PASP, %/mm Hg				(0.938–1.000)
ПСД СС ПЖ/СДЛА, %/мм рт.ст.	94.1	100.0	<0.65	0.991
RVFWLS/PASP, %/mm Hg				(0.928–1.000)

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее информативные показатели.

Note. Bold data indicates parameters with the most diagnostic accuracy. RV – right ventricle; AUC – area under the curve; CI – confidence interval; RIMP – RV index of myocardial performance; TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion; RVFAC – RV fractional area change; RVGLS – RV global longitudinal strain; RVFWLS – RV free wall longitudinal strain; RASP – pulmonary artery systolic pressure.

тов с острой ТЭЛА оказались все изучаемые параметры ПЖАС (ГПСД ПЖ/СДЛА, TAPSE/СДЛА, ФИП ПЖ/СДЛА, ПСД СС ПЖ/СДЛА). Практически сопоставимы с ними по информативности параметры продольной деформации (ГПСД ПЖ, ПСД СС ПЖ).

Обсуждение

Трансторакальная ЭхоКГ является наиболее доступным и воспроизводимым методом оценки функции ПЖ. Несмотря на то что ЭхоКГ не является прямым методом визуализации ТЭЛА, она позволяет неинвазивно оценить функцию ПЖ. При нормальном сопряжении между ПЖ и ЛА сократимость ПЖ и величина сосудистого сопротивления

в малом круге кровообращения согласованы друг с другом [8]. В нашем исследовании показано, что расширение спектра показателей систолической функции ПЖ при помощи спекл-трекинг-ЭхоКГ и показателей ПЖАС может способствовать своевременному выявлению дисфункции ПЖ у пациентов с острой ТЭЛА, что важно при выборе стратегии лечения и последующем мониторинге этой группы пациентов.

Полученные нами значения ГПСД ПЖ и ПСД СС ПЖ у здоровых лиц были сопоставимы с данными предыдущих исследований [13, 20]. У пациентов с ТЭЛА отмечено достоверное снижение этих показателей ($p < 0,0001$) (см. табл. 2). Но достовер-



ные различия между изучаемыми группами были получены и для стандартных показателей систолической функции ПЖ. Однако проведенный далее ROC-анализ выявил большую информативность тестов спекл-трекинг-ЭхоКГ по сравнению со стандартными тестами (см. табл. 4).

Наиболее часто применяющимся и изученным показателем ПЖАС является TAPSE/СДЛА. Мы сравнили данные метаанализа (здоровые лица), проведенного F. Ferrara и соавт. [9], с полученными нами значениями показателя TAPSE/СДЛА в контрольной группе. В нашем исследовании среднее значение TAPSE/СДЛА у здоровых лиц составило $1,10 \pm 0,29$ мм/мм рт.ст. ($0,63$ – $1,65$ мм/мм рт.ст.), в исследовании [9] – $1,2 \pm 0,4$ мм/мм рт.ст. ($0,5$ – $3,3$ мм/мм рт.ст.). Средний возраст лиц контрольной группы в нашем исследовании был 39 ± 10 (18–55) лет, в работе [9] – $45,4 \pm 15,6$ (16–92) года. Интересно, что в возрастных подгруппах значения TAPSE/СДЛА достоверно различаются ($p < 0,0001$) [9]: средние значения в группе лиц 16–29 лет – $1,28 \pm 0,4$ мм/мм рт.ст., в группе 30–39 лет – $1,30 \pm 0,5$ мм/мм рт.ст., в группе 40–49 лет – $1,26 \pm 0,5$ мм/мм рт.ст., в группе 50–59 лет – $1,24 \pm 0,5$ мм/мм рт.ст., в группе 60–92 года – $1,11 \pm 0,3$ мм/мм рт.ст. Также в метаанализе [9] были получены и достоверные различия значений TAPSE/СДЛА ($p < 0,0001$) между лицами мужского и женского пола: $1,3 \pm 0,51$ и $1,1 \pm 0,3$ мм/мм рт.ст. соответственно.

Помимо TAPSE/СДЛА, в изучаемых группах нами определялись и другие показатели ПЖАС, такие как ФИП ПЖ/СДЛА, ГПСД/СДЛА и ПСД СС ПЖ/СДЛА (см. табл. 3). При сравнении значений показателей ПЖАС в контрольной группе и группе ТЭЛА были получены достоверные различия ($p < 0,0001$) по всем четырем показателям (см. табл. 3). По данным ROC-анализа тесты, связанные с показателями ПЖАС, оказались наиболее информативными (AUC выше не только при сравнении с тестами, связанными со стандартными показателями, но и показателями спекл-трекинг-ЭхоКГ) (см. табл. 4).

В проведенном исследовании показано, что применение показателей продольной деформации ПЖ и показателей ПЖАС повышает точность диагностики дисфункции ПЖ при острой субмассивной/массивной ТЭЛА. Среди наиболее информативных тестов, помимо TAPSE/СДЛА, есть менее принятые в практике показатели ПЖАС, такие как ГПСД ПЖ/СДЛА, ФИП ПЖ/СДЛА и ПСД ПЖ/СДЛА. Учитывая небольшую выборку пациентов, целесообразно продолжить исследование в этом направлении.

Выводы

1. У пациентов контрольной группы и пациентов с острой субмассивной/массивной ТЭЛА все показатели, характеризующие систолическую функцию и ПЖАС, достоверно различаются (p от $0,0011$ до $<0,0001$).

2. Наибольшую информативность продемонстрировали показатели ПЖАС (AUC – $0,991$ – $0,997$), наименьшую – стандартные показатели систолической функции (AUC – $0,738$ – $0,849$). Показатели спекл-трекинг-ЭхоКГ по информативности следуют за показателями ПЖАС (AUC – $0,898$ – $0,912$).

3. Наиболее информативный тест для диагностики систолической дисфункции ПЖ при острой субмассивной/массивной ТЭЛА – ГПСД ПЖ/СДЛА $<0,66\%$ /мм рт.ст. (чувствительность – $94,1\%$, специфичность – $100,0\%$, AUC – $0,997$).

4. Показатели продольной деформации ПЖ и ПЖАС повышают выявляемость дисфункции ПЖ при острой субмассивной/массивной ТЭЛА.

Участие авторов

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

Рыбакова М.К. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Митькова М.Д. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Митьков В.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Kondrashova K.V. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, analysis and interpretation of the obtained



data, написание текста, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Rybakova M.K. – concept and design of the study, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Mitkova M.D. – collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Mitkov V.V. – concept and design of the study, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Sanz J., Sánchez-Quintana D., Bossone E. et al. Anatomy, function, and dysfunction of the right ventricle: JACC state-of-the-art review. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2019; 73 (12): 1463–1482. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.076>
2. Lahm T., Douglas I.S., Archer S.L. et al.; American Thoracic Society Assembly on Pulmonary Circulation. Assessment of right ventricular function in the research setting: knowledge gaps and pathways forward. An Official American Thoracic Society Research Statement. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2018; 198 (4): e15–e43. <https://doi.org/10.1164/rccm.201806-1160st>
3. Thandavarayan R.A., Chitturi K.R., Guha A. Pathophysiology of acute and chronic right heart failure. *Cardiol. Clin.* 2020; 38 (2): 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2020.01.009>
4. Bellofiore A., Chesler N.C. Methods for measuring right ventricular function and hemodynamic coupling with the pulmonary vasculature. *Ann. Biomed. Eng.* 2013; 41 (7): 1384–1398. <https://doi.org/10.1007/s10439-013-0752-3>
5. Sugiura E., Dohi K., Onishi K. et al. Reversible right ventricular regional non-uniformity quantified by speckle-tracking strain imaging in patients with acute pulmonary thromboembolism. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (12): 1353–1359. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.09.005>
6. Konstantinides S.V., Meyer G., Becattini C. et al.; ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur. Heart J.* 2020; 41 (4): 543–603. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz405>
7. Kasper W., Konstantinides S., Geibel A. et al. Prognostic significance of right ventricular afterload stress detected by echocardiography in patients with clinically suspected pulmonary embolism. *Heart.* 1997; 77 (4): 346–349. <https://doi.org/10.1136/hrt.77.4.346>
8. Нетьлько Ю.Э., Тетерина М.А., Писарюк А.С., Горева Л.А., Лукина О.И., Сафарова А.Ф., Мерай И., Кобалава Ж.Д. Прогностическое значение эхокардиографических параметров у пациентов с тромбоэмболией легочной артерии. *Клиническая фармакология и терапия.* 2021; 30 (3): 52–56. <https://doi.org/10.32756/0869-5490-2021-3-52-56>
9. Netylko J.E., Teterina M.A., Pisaryuk A.S. et al. Prognostic value of echocardiographic parameters in patients with pulmonary embolism. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya = Clin. Pharmacol. Ther.* 2021; 30 (3): 52–56. <https://doi.org/10.32756/0869-5490-2021-3-52-56> (In Russian)
10. Guazzi M., Bandera F., Pelissero G. et al. Tricuspid annular plane systolic excursion and pulmonary arterial systolic pressure relationship in heart failure: an index of right ventricular contractile function and prognosis. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2013; 305 (9): H1373–H1381. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00157.2013>
11. Ünlü S., Bézy S., Cvijic M. et al. Right ventricular strain related to pulmonary artery pressure predicts clinical outcome in patients with pulmonary arterial hypertension. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2023; 24 (5): 635–642. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeac136>
12. Brenner M.I., Lurz P., Hausleiter J. et al. Right ventricular-pulmonary arterial coupling and afterload reserve in patients undergoing transcatheter tricuspid valve repair. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2022; 79 (5): 448–461. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.11.031>
13. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (1): 1–39. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
14. Vijiñac A., Onciul S., Guzu C. et al. Forgotten no more – the role of right ventricular dysfunction in heart failure with reduced ejection fraction: an echocardiographic perspective. *Diagnostics (Basel).* 2021; 11 (3): 548. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030548>
15. Grau C.R.P.C. The challenge of echocardiography in the accurate assessment of the right ventricle and pulmonary insufficiency. *Arq. Bras. Cardiol.* 2021; 117 (4): 699–700. <https://doi.org/10.36660/abc.20210744>
16. Badano L.P., Kolas T.J., Muraru D. et al.; Industry representatives; Reviewers: This document was reviewed by members of the 2016–2018 EACVI Scientific Documents Committee. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (6): 591–600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu042>
17. Trivedi S.J., Terluk A.D., Kritharides L. et al. Right ventricular speckle tracking strain echocardiography in patients with acute pulmonary embolism. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2020; 36 (5): 865–872. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01779-8>



18. Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Валиева З.С., Азизов В.А., Акчурин Р.С., Аншелес А.А., Васильцева О.Я., Веселова Т.Н., Галявич А.С., Горбачевский С.В., Данилов Н.М., Едемский А.Г., Зелвеян П.А., Лазарева И.В., Матчин Ю.Г., Мершин К.В., Мукаров М.А., Наконечников С.Н., Саидова М.А., Сарыбаев А.Ш., Сергиенко В.Б., Стукалова О.В., Филиппов Е.В., Чернявский А.М., Чернявский М.А., Шалаев С.В., Шмальц А.А. Евразийские рекомендации по диагностике и лечению хронической тромбоэмболической легочной гипертензии (2020). *Евразийский кардиологический журнал*. 2021; 1: 6–43. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-6-43>
Chazova I.E., Martynyuk T.V., Valieva Z.S. et al. Eurasian Guidelines for the diagnosis and treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension (2020). *Eurasian Heart Journal*. 2021; 1: 6–43. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-6-43> (In Russian)
19. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J. et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23 (7): 685–713. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.05.010>
20. Wang T.K.M., Grimm R.A., Rodriguez L.L. et al. Defining the reference range for right ventricular systolic strain by echocardiography in healthy subjects: a meta-analysis. *PLoS One*. 2021; 16 (8): e0256547. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256547>

Для корреспонденции*: Кондрашова Ксения Владимировна – e-mail: xenijasv@yandex.ru

Кондрашова Ксения Владимировна – врач ультразвуковой диагностики, заведующая отделением ультразвуковой диагностики регионального сосудистого центра ГБУЗ КО “Калужская областная клиническая больница”, Калуга. <https://orcid.org/0009-0000-4672-2779>

Рыбакова Марина Константиновна – доктор мед. наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва.

Миткова Мина Даутовна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3870-6522>

Митков Владимир Вячеславович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1959-9618>

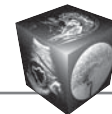
Contact*: Ksenia V. Kondrashova – e-mail: xenijasv@yandex.ru

Ksenia V. Kondrashova – MD, Head of Ultrasound Diagnostics Department, Regional Vascular Center, Kaluga Regional Clinical Hospital, Kaluga. <https://orcid.org/0009-0000-4672-2779>

Marina K. Rybakova – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow.

Mina D. Mitkova – M.D., Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3870-6522>

Vladimir V. Mitkov – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1959-9618>



Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1448>

Оценка интракардиальной гемодинамики у детей до 1 года с дефектом межпредсердной перегородки

© Соколов А.А., Егунов О.А.*, Сморгон А.В., Кожанов Р.С.

НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН; 634012 Томск, ул. Киевская, д. 111А, Российская Федерация

Цель исследования: оценить внутрисердечную гемодинамику и определить необходимость ранней коррекции дефекта межпредсердной перегородки (ДМПП) у детей первого года жизни.

Материал и методы. В исследование были включены пациенты, наблюдавшиеся с 2010 по 2021 г. 1-я группа была сформирована из детей в возрасте младше 12 мес с диагнозом ДМПП и наблюдавшихся следующие 4 года до его интервенционного или хирургического устранения. Во 2-ю группу (контроля) вошли здоровые дети соответствующего возраста. Всем пациентам выполнялось эхокардиографическое исследование с оценкой основных показателей гемодинамики и интракардиальных структур.

Результаты и обсуждение. В 1-ю группу включено 887 детей с ДМПП, в группу контроля вошло 887 здоровых детей. Возраст пациентов, включенных в исследование, составлял $6 \pm 2,6$ мес для 1-й группы и $6 \pm 2,5$ мес для 2-й. Было обнаружено, что у детей, имеющих ДМПП, первым проявлением гемодинамических сдвигов была дилатация правого желудочка, а затем дилатация правого предсердия, что сопровождалось повышением давления в малом круге кровообращения и дефицитом массы тела. У 11% пациентов происходило спонтанное закрытие ДМПП в течение первого года жизни. Почти 20% пациентов младше 6 мес имели клиничко-гемодинамические показания к хирургическому лечению ДМПП.

Выводы. Показания к закрытию ДМПП у детей до года необходимо определять с учетом клинических, анатомических и гемодинамических показателей.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца; дефект межпредсердной перегородки; хирургическое лечение межпредсердной перегородки; гемодинамика дефекта межпредсердной перегородки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Соколов А.А., Егунов О.А., Сморгон А.В., Кожанов Р.С. Оценка интракардиальной гемодинамики у детей до 1 года с дефектом межпредсердной перегородки. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 99–105. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1448>

Поступила в редакцию: 12.02.2024.

Принята к печати: 02.07.2024.

Опубликована online: 29.07.2024.

Evaluation of intracardial hemodynamics in children under 1 year of age with atrial septal defect

© Alexander A. Sokolov, Oleg A. Egunov*, Andrey V. Smorgon, Roman S. Kozhanov

Cardiology research Institute, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences; 111A, Kievskaya str., Tomsk 634012, Russian Federation

Aim: evaluation of the intracardiac hemodynamics and determination indications for early correction of the atrial septal defect in children before 1 year age.

Methods. The study included patients observed from 2010 to 2021. The first group was formed from children under the age of 12 months with ASD and were observed for the next 4 years until its interventional or surgical elimination. The second group included healthy children of the appropriate age. All patients underwent an echocardiographic (ECHO) study with assessment of the main parameters of hemodynamics and intracardial structures.

Results. The first group included 887 children with ASD, the control group included 887 healthy children. The age of the patients included in the study was 6 ± 2.6 months. for group I and 6 ± 2.5 months. for the second one.



It was found that in young children with ASD, the first manifestation of hemodynamic changes was dilatation of the right ventricle, then the right atrium and finally dilatation of the pulmonary trunk, which was accompanied by an increase in pressure in the pulmonary circulation and weight loss. In 11% of patients, spontaneous closure of the ASD occurs within the first year of life. Almost 20% of patients are younger than 6 months. have clinical and hemodynamic indications for surgical treatment of ASD.

Conclusions. Indications for the atrial septal defect closure should be determined taking into account clinical, anatomical and hemodynamic parameters.

Keywords: congenital heart defects; atrial septal defect; surgical treatment of the atrial septal defect; hemodynamics of the atrial septal defect

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

For citation: Sokolov A.A., Egunov O.A., Smorgon A.V., Kozhanov R.S. Evaluation of intracardial hemodynamics in children under 1 year of age with atrial septal defect. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 99–105. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1448>

Received: 12.02.2024.

Accepted for publication: 02.07.2024.

Published online: 29.07.2024.

Введение

Дефекты межпредсердной перегородки (ДМПП) составляют 10% от всех врожденных пороков сердца (ВПС) с частотой встречаемости, достигающей 3,89 на 1000 детей [1, 2]. В настоящее время коррекцию неосложненных ДМПП предпочтительно выполнять в возрасте 4–6 лет, когда возможно использовать эндоваскулярные методы. Исключениями, требующими ранней хирургической коррекции, являются случаи сочетания ДМПП с гемодинамически значимыми ВПС или их выраженное влияние на гемодинамику [3]. В то же время ранняя диагностика и коррекция порока позволяют избежать дальнейших осложнений, таких как развитие легочной гипертензии, аритмий, вследствие дилатации правых камер сердца и уменьшения левых [4, 5]. Несмотря на это, выбор в пользу более позднего, но эндоваскулярного лечения объясняется высокими рисками ранних хирургических вмешательств, особенно связанных с искусственным кровообращением, косметическим дефектом и потенциальной обратимостью структурных и гемодинамических изменений.

Цель исследования: оценить внутрисердечную гемодинамику и определить необходимость ранней коррекции ДМПП у детей первого года жизни.

Материал и методы

Был выполнен ретроспективный анализ базы данных ЭхоКГ-исследований ТНИМЦ НИИ кардиологии с 2010 по 2021 г. с формированием двух групп. В 1-ю группу (основную) были включены дети с ДМПП в возрасте до 12 мес, наблюдавшиеся в течение последующих 4 лет до хирургической или эндоваскулярной коррекции. В контрольную 2-ю группу вошли здоровые дети соответствующего возраста. Возраст самого младшего

пациента, включенного в исследование, составлял 27 дней.

Родители пациентов, включенных в исследование, подписывали согласие на участие в исследовании.

Все исследования выполнялись в соответствии с рекомендацией Американского общества эхокардиографистов ASE.

Диагноз ДМПП устанавливался при первичном исследовании на основании наличия лево-правого потока сброса по цветовому доплеровскому картированию перпендикулярно межпредсердной перегородке из субкисфоидальной позиции в двух проекциях при отсутствии ткани в месте сброса по серошкальному изображению [6]. Дополнительно определяли:

- Z-индексы: диаметра легочной артерии (ЛА); поперечника правого желудочка (ПЖ); объема правого предсердия (ПП);
- конечно-диастолический индекс левого желудочка (ЛЖ);
- повышение систолического давления в правом желудочке (ПЖ);
- Qp/Qs (рассчитывался стандартным способом с помощью интегрированных программ ультразвуковых систем);
- индекс массы тела (ИМТ) рассчитывали по стандартной формуле [7].

Основные позиции для визуализации и измерения исследуемых показателей представлены на рис. 1–3.

Оценка Z-индексов проводилась с помощью калькулятора нормативов ЭхоКГ у детей, разработанного в ТНИМЦ НИИ кардиологии <https://el.cardio-tomsk.ru/ChildCalc>.

Все исследования были выполнены одним специалистом с использованием ультразвуковых систем ie-33 X-matrix и Epiq 7 фирмы Philips (частота 1–5 и 3–8 МГц).

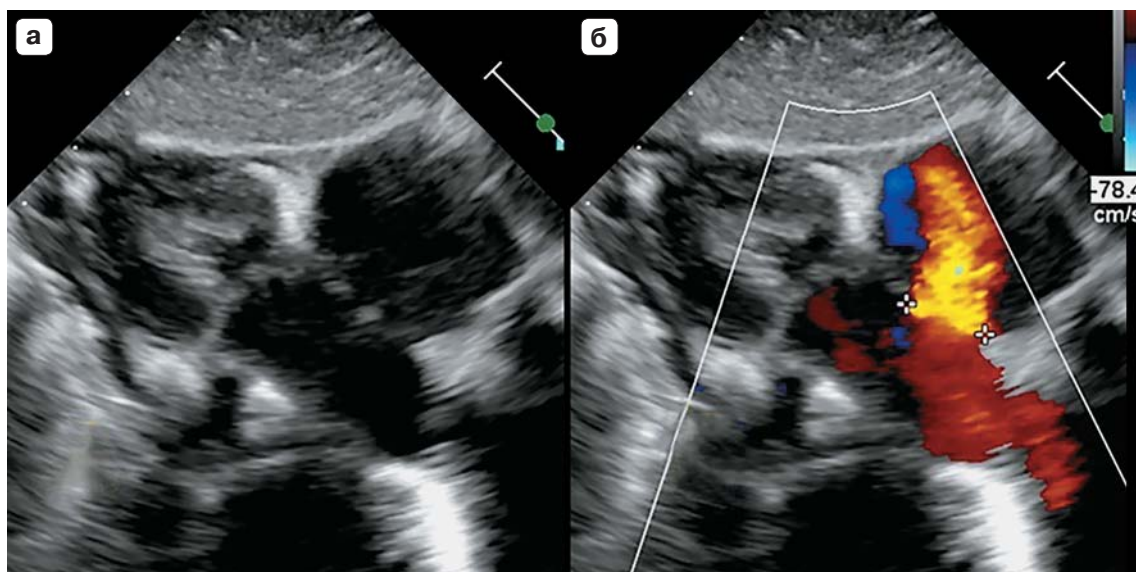
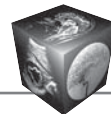


Рис. 1. Эхокардиографическая оценка дефекта межпредсердной перегородки. **а** – без доплерографии; **б** – с доплерографией.

Fig. 1. Echocardiographic assessment of atrial septal defect. **a** – without dopplerography; **б** – with dopplerography.

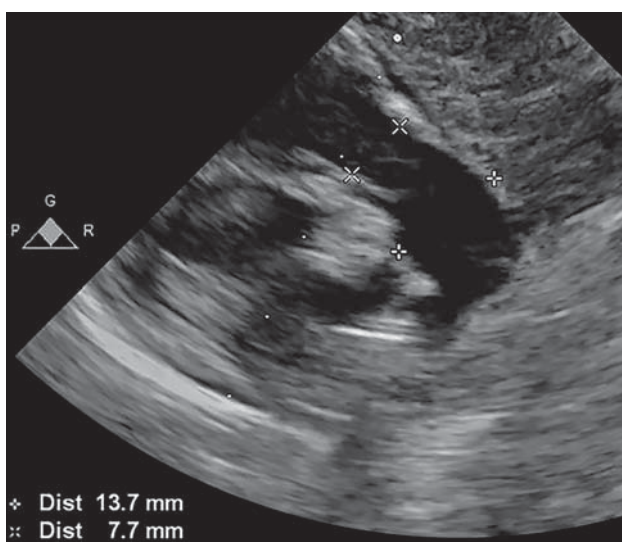


Рис. 2. Эхокардиографическое измерение размера ствола легочной артерии.

Fig. 2. Echocardiographic measurement of the size of the pulmonary artery trunk.

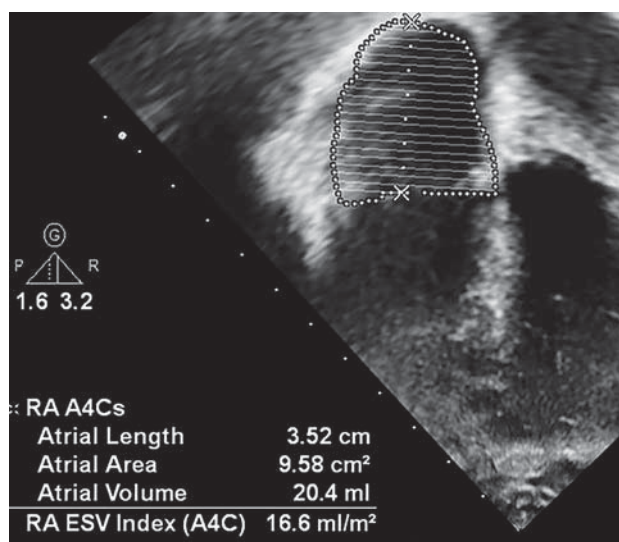


Рис. 3. Эхокардиографическое измерение объема правого предсердия по алгоритму площадь–длина.

Fig. 3. Echocardiographic measurement of right atrium volume using the area–length algorithm.

Статистический анализ

Статистическая обработка осуществлялась с использованием пакета прикладных программ Statistica V. 7 (StatSoft, США). Проверка групп на подчинение нормальному закону распределения проводилась с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для анализа качественных данных использовали

критерий χ^2 , для анализа количественных данных – либо t-критерий Стьюдента, либо критерий Манна–Уитни. Определение взаимосвязи проводилось с использованием коэффициента корреляции Пирсона. При сравнении групп статистически значимыми результаты считали при $p < 0,05$ [8].



Результаты

Демография

В исследование были включены 1000 детей с диагнозом ДМПП в возрасте $6 \pm 2,6$ мес, из которых у 113 (11%) при проведении повторной ЭхоКГ было отмечено самостоятельное закрытие ДМПП. Таким образом, исследуемую группу составляли 887 пациентов. Контрольная 2-я группа формировалась из 887 детей без ВПС и магистральных сосудов в возрасте $6 \pm 2,5$ мес.

Несмотря на отсутствие различий в возрасте, 95% детей 2-й группы имели ИМТ более 14. Это значение было принято за отрезную точку. В 1-й группе ИМТ менее 14 отмечался лишь в 20% случаев (табл. 1).

Отношение легочного к системному кровотоку (Qp/Qs)

При анализе соотношения легочного и системного кровотока было обнаружено, что в момент первичной постановки диагноза у 80% пациентов Qp/Qs превышало 1,5, составляя $1,93 \pm 0,6$, а к моменту коррекции порока у 100% пациентов соотношение пульмонального и системного кровотока превышало 1,5. При анализе размера ДМПП в 40% случаев размер дефекта не превышал 5 мм (табл. 2).

Z-индексы: диаметр легочной артерии, поперечник правого желудочка, объем правого предсердия

Во 2-й группе Z-индекс поперечника ПЖ, ПП и ЛА в 95–98% случаев не превышал +1,4, вследствие чего это значение было принято за отрезную точку (cut off point). Дилатация ПП обнаружилась у 85%, дилатация ПЖ – у 50%, дилатация ЛА – у 23%, депрессия ударного индекса ЛЖ – 22% пациентов с ДМПП (рис. 4).

Для оценки возраста, в котором отмечалась дилатация правых камер сердца, был выполнен внутригрупповой анализ пациентов с ДМПП с формированием двух подгрупп: младше 6 мес ($n = 413$), $Me \pm \sigma$: $3,5 \pm 1,3$ мес и старше 6 мес ($n = 474$), $Me \pm \sigma$: 8 ± 1 мес. Показано, что у пациентов первой подгруппы преимущественно дилатирован ПЖ, а у пациентов второй наибольшая дилатация отмечалась у ПП. Таким образом, у детей с ДМПП младше 6 мес среди структур правых отделов сердца наиболее выраженным изменением является дилатация ПЖ, в то время как среди пациентов старше 6 мес наибольшее увеличение характерно для ПП и встречается в 6 раз чаще, чем в возрасте до 6 мес (рис. 5).

Таблица 1. Демографические данные

Table 1. Demographic data

Показатель Parameter	ДМПП ASD	Контроль Control	p
Количество пациентов, n Number of patients, n	887	887	1.0
Возраст, мес Age, month	6 ± 2.6	6 ± 2.5	0.8
Мужской пол, n (%) Male, n (%)	587 (66)	590 (66)	0.9
Индекс массы тела, кг/м ² BMI, kg/m ²	15.8 ± 2.5	16.9 ± 2.6	0.03

Note. BMI – body mass index.

Таблица 2. Характеристика ДМПП

Table 2. Characteristics of ASD

Показатель Parameter	Пациенты, n (%) ASD, n (%)
Qp/Qs	
>1.5 (%)	709 (80)
<1.5 (%)	178 (20)
Размер ДМПП, мм ASD size, mm	
4–5	354 (40)
6–7	248 (28)
8–10	186 (21)
>10	97 (11)

Note. ASD – atrial septal defect.

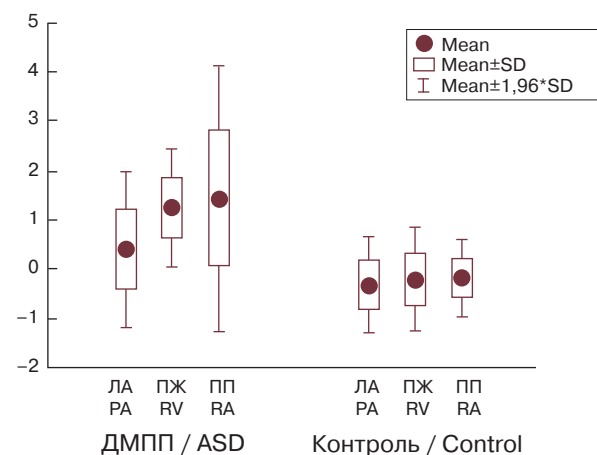


Рис. 4. Z-индексы структур правых отделов сердца в основной и контрольной группах.

Fig. 4. Z-score of the structures of the right heart in the main and control groups. PA – pulmonary artery, RV – right ventricle, RA – right atrium.

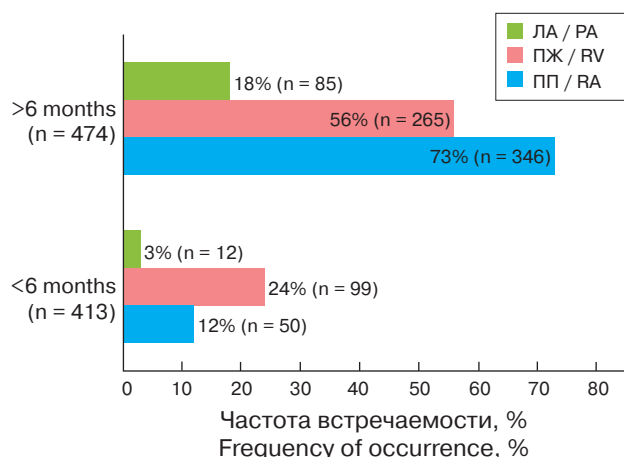
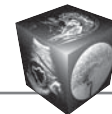


Рис. 5. Дилатация структур правых отделов сердца у детей младше и старше 6 мес.

Fig. 5. Dilation of the structures of the right heart in children before and after 6 months. PA – pulmonary artery, RV – right ventricle, RA – right atrium.

Таблица 3. Корреляция систолического давления в правом желудочке с ИМТ и рядом показателей ЭхоКГ

Table 3. Correlation of systolic pressure in the right ventricle with BMI and a number of echocardiography indicators

Показатель Parameter	R	p
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	0.3	0.01
КДИ ЛЖ EDI LV	–0.36	0.02
ППИ, мл/м ² RAI, ml/m ²	0.4	0.001
ПЖ, мм RV, mm	0.39	0.001
ЛА, мм PA, mm	0.27	0.01
Qp/Qs	0.5	0.01
Размер ДМПП Size of the ASD	0.51	0.001

Примечание. ДМПП – дефект межпредсердной перегородки; ИМТ – индекс массы тела; КДИ ЛЖ – индексированный объем левого желудочка в конце диастолы; ЛА – ствол легочной артерии; ПЖ – поперечник правого желудочка в диастолу; ППИ – индексированный объем правого предсердия; Qp/Qs – соотношение легочного и системного объемов кровотока.

Note. ASD – atrial septal defect; BMI – body mass index; EDI LV – end diastolic index of the left ventricle; PA – pulmonary artery; RAI – right atrial index; RV – right ventricle.

Конечно-диастолический индекс левого желудочка

Наличие сброса крови через ДМПП проявлялось закономерным уменьшением преднагрузки, конечно-диастолический индекс ЛЖ у детей с ДМПП был статистически значимо снижен по сравнению с контрольной группой – 28,7 [25,1; 32,9] против 34,8 [31,0; 38,4], $p = 0,04$.

Систолическое давление в правом желудочке

У 95% детей 2-й группы систолическое давление в правом желудочке (СДПЖ) было менее 23 мм рт.ст. Повышение СДПЖ имело прямую, статистически значимую корреляцию с рядом показателей у пациентов 1-й группы. Наиболее низкая корреляция давления в ПЖ была с диаметром легочной артерии, наиболее высокая – с объемом шунтирования крови (Qp/Qs) (табл. 3).

Пациенты до года с ДМПП имели один или несколько критериев гемодинамической значимости и необходимости коррекции ВПС, а изменение всех исследуемых показателей определялось у 18% обследованных детей.

Обсуждение

Дефект межпредсердной перегородки – распространенный ВПС у детей, который редко сопровождается легочной артериальной гипертензией и считается достаточно простым и изученным [9]. Разработаны многочисленные алгоритмы диагностики и коррекции, достаточно подробно описана физиология и патофизиология нарушений гемодинамики. Мировое сообщество сходит к мнению, что порок должен быть устранен в плановом порядке до достижения ребенком 4-летнего возраста. При этом возможно спонтанное закрытия вторичных ДМПП у детей до года, которое происходит с частотой от 32 до 64% случаев. Это явление объясняется либо недооценкой тонкой гипермобильной заслонки овального отверстия при первичном исследовании, либо наличием мигрирующих фибробластов [10–13]. В проведенном исследовании закрытие межпредсердного сообщения произошло лишь у 11% детей до года.

В настоящее время существует два способа закрытия ДМПП: хирургический и эндоваскулярный, каждый из которых имеет свои показания. Наиболее предпочтительным и активно развивающимся методом коррекции ДМПП является транскатетерная эндоваскулярная окклюзия ДМПП, одним из главных ограничений которой является масса тела ребенка. Согласно результатам много-



численных одноцентровых и мультицентровых исследований, минимальная масса тела детей, подвергшихся эндоваскулярной коррекции, варьировала от 15 до 20 кг. При этом только у 3% здоровых детей масса тела была 20 кг и более в этом возрасте. Если принять за минимальную массу тела, подходящую для эндоваскулярной коррекции, 15 кг, то 30% детей с ДМПП в возрасте 3–6 лет не подходят по массе тела для данной процедуры из-за большого количества осложнений. В отдельных клиниках практикуется транскатетерное закрытие ДМПП при минимальной массе тела 4–5 кг [14, 15].

Кроме низкой массы тела ребенка, противопоказаниями к эндоваскулярной коррекции являются множественные ДМПП, ДМПП с малым краем перегородки, ДМПП типа *sinus venosus*, а также первичные ДМПП. Все эти анатомические особенности, к сожалению, остаются неизменными по мере взросления ребенка и не зависят от его возраста и массы тела. В связи с этим в ряде случаев при выявлении ДМПП у детей младшего возраста необходимо четко оценивать перспективу эндоваскулярного лечения с учетом анатомических особенностей и риска изменений правых отделов сердца и их потенциальной обратимости.

В проведенном исследовании у 20% детей с ДМПП и значимой дилатацией правых отделов сердца обнаруживался дефицит массы тела, вероятно, обусловленный редукцией сердечного выброса и гиперволеимией малого круга кровообращения. Такая картина в сочетании с повышением давления в легочной артерии является прямым показанием к хирургической коррекции в связи с высокой вероятностью развития осложнений при отсрочивании вмешательства [16]. Кроме того, в нашем исследовании было показано, что в первую очередь у детей раннего возраста при ДМПП дилатируется правый желудочек, затем правое предсердие и, наконец, легочная артерия.

При анализе взаимосвязи повышенного систолического давления в правом желудочке с некоторыми показателями гемодинамики и антропометрии была обнаружена наибольшая корреляция между СДПЖ, объемом шунтирования и размером дефекта ($r = 0,50$ и $0,52$), а наименьшая – СДПЖ с диаметром легочного ствола и ИМТ.

Мы разделяем мнение исследователей о необходимости и важности ранней коррекции ДМПП у детей с ЭхоКГ-признаками легочной гипертензии, патологий легких и плохим набором массы тела, с отсутствием перспектив эндоваскулярной коррекции в дальнейшем [17, 18].

Выводы

1. У 11% детей до года ДМПП, диагностированный по ЭхоКГ-критериям, спонтанно закрывался к 11-месячному возрасту.

2. У 18% процентов детей до 1 года имеются клиничко-гемодинамические показания к коррекции порока, которые включают снижение ИМТ, ударного индекса ЛЖ, повышение СДПЖ, дилатацию ПП, ПЖ и ЛА и увеличение отношения Q_p/Q_s .

3. При наличии ДМПП первым проявлением гемодинамических сдвигов у детей до 1 года является дилатация ПЖ, затем ПП и, наконец, легочного ствола, что сопровождается повышением давления в малом круге кровообращения и дефицитом массы тела.

Участие авторов

Соколов А.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, ответственность за целостность всех частей статьи, анализ и интерпретация полученных данных.

Егунов О.А. – написание текста, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Сморгон А.В. – сбор и обработка данных, участие в научном дизайне, обзор публикаций по теме статьи.

Кожанов Р.С. – статистическая обработка данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Sokolov A.A. – concept and design of the study, conducting research, responsibility for the integrity of all parts of the article, analysis and interpretation of the obtained data.

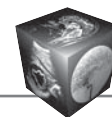
Egunov O.A. – writing text, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Smorgon A.V. – collection and analysis of data, participation in scientific design, review of publications.

Kozhanov R.S. – statistical analysis, preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

1. Бокерия Л.А., Ким А.И., Зеленикин М.М. и др. Дефект межпредсердной перегородки. Клинические рекомендации. 2023. *Российский кардиологический журнал*. 2023; 28 (8): 5588. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5588>
Bokeria L.A., Kim A.I., Zelenikin M.M. et al. Atrial septal defect. Clinical guidelines 2023. *Russian Journal of Cardiology*. 2023; 28 (8): 5588. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5588> (In Russian)
2. Silvestry F.E., Cohen M.S., Armsby L.B. et al.; American Society of Echocardiography; Society for Cardiac Angiography and Interventions. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of Atrial Septal Defect and Patent Foramen Ovale: From the American Society of Echocardiography and Society for Cardiac Angiography and Interventions. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28: 910–958. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2015.05.015>



3. Martin S.S., Shapiro E.P., Mukherjee M. Atrial septal defects – clinical manifestations, echo assessment, and intervention. *Clin. Med. Insights Cardiol.* 2015; 8 (Suppl. 1): 93–98. <http://doi.org/10.4137/CMC.S15715>
4. Lammers A., Hager A., Eicken A. et al. Need for closure of secundum atrial septal defect in infancy. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2005; 129 (6): 1353–1357. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2004.10.007>
5. Alkashkari W., Albugami S., Hijazi Z.M. Current practice in atrial septal defect occlusion in children and adults. *Expert Rev. Cardiovasc. Ther.* 2020; 18 (6): 315–329. <http://doi.org/10.1080/14779072.2020.1767595>
6. Ye Z., Li Z., Yi H. et al. Optimization of echo views for percutaneous device closure of pediatric atrial septal defect through the femoral vein guided by transthoracic echocardiography without radiation. *J. Interv. Cardiol.* 2020; 8242790. <http://doi.org/10.1155/2020/8242790>
7. Баранов А.А., Щепягина Л.А. Физиология роста и развития детей и подростков (теоретические и клинические вопросы). М.: ГЭОТАР-МЕД, 2006. 2 т. Baranov A.A., Shhepljagin L.A. Physiology of growth and development of children and adolescents (theoretical and clinical issues). M.: GOTAR-MED, 2006. 2 vol. (In Russian)
8. Жижин К.С. Медицинская статистика. Ростов-на-Дону: Изд-во Феникс, 2007. 160 с. Zhizhin K.S. Medical statistics. Rostov-na-Donu: Feniks, 2007. 160 p. (In Russian)
9. Chinawa J.M., Chinawa A.T., Ossai E.N., Duru C.O. Predictors of pulmonary hypertension among children with atrial septal defects (ASD). *Libyan J. Med.* 2022; 17 (1): 2007603. <http://doi.org/10.1080/19932820.2021.2007603>
10. Hanslik A., Pospisil U., Salzer-Muhar U. et al. Predictors of spontaneous closure of isolated secundum atrial septal defect in children: a longitudinal study. *Pediatrics.* 2006; 118 (4): 1560–1565. <http://doi.org/10.1542/peds.2005-3037>
11. Azhari N., Shihata M.S., Al-Fatani A. Spontaneous closure of atrial septal defects within the oval fossa. *Cardiol. Young.* 2004; 14 (2): 148–155. <http://doi.org/10.1017/S1047951104002069>
12. Ostermayer S.H., Srivastava S., Doucette J.T. et al. Malattached septum primum and deficient septal rim predict unsuccessful transcatheter closure of atrial communications. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2015; 86 (7): 1195–1203. <http://doi.org/10.1002/ccd.26102>
13. Wang S.Y., Welch T.D., Elfenbein A., Kaplan A.V. Spontaneous Closure of a Secundum Atrial Septal Defect. *Methodist Debaquey Cardiovasc J.* 2018; 14 (1): 60–62. <http://doi.org/10.14797/mdcj-14-1-60>
14. Butera G., De Rosa G., Chessa M. et al. Transcatheter closure of atrial septal defect in young children: results and follow-up. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2003; 42 (2): 241–245. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(03\)00589-8](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(03)00589-8)
15. Tanghøj G., Liuba P., Sjöberg G., Naumburg E. Predictors of the need for an atrial septal defect closure at very young age. *Front Cardiovasc Med.* 2020; 6: 185. <http://doi.org/10.3389/fcvm.2019.00185>
16. Chessa M., Carminati M., Butera G. et al. Early and late complications associated with transcatheter occlusion of secundum atrial septal defect. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 39 (6): 1061–1065. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(02\)01711-4](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(02)01711-4)
17. Dafni D., Bini R.M., Riley G. et al. Repair of isolated atrial septal defect in infants less than 12 months improves symptoms of chronic lung disease or shunt-related pulmonary hypertension. *Cardiol. Young.* 2020; 30 (4): 511–520. <http://doi.org/10.1017/S1047951120000463>
18. Tsuda T., Davies R.R., Radtke W. et al. Early surgical closure of atrial septal defect improves clinical status of symptomatic young children with underlying pulmonary abnormalities. *Pediatr. Cardiol.* 2020; 41 (6): 1115–1124. <http://doi.org/10.1007/s00246-020-02361-8>

Для корреспонденции*: Егунев Олег Анатольевич – e-mail: egunov_oleg@mail.ru

Соколов Александр Анатольевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий лабораторией ультразвуковых и функциональных методов исследования НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0513-9012>

Егунев Олег Анатольевич – канд. мед. наук, врач сердечно-сосудистый хирург, научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-4023-455X>

Сморгон Андрей Владимирович – младший научный сотрудник, сотрудник лаборатории ультразвуковых и функциональных методов исследований НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-6531-7223>

Кожанов Роман Сергеевич – врач сердечно-сосудистый хирург, аспирант отделения сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-0493-4762>

Contact*: Oleg A. Egunov – e-mail: egunov_oleg@mail.ru

Alexander A. Sokolov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Functional and Laboratory Diagnostics, Cardiology research Institute, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0513-9012>

Oleg A. Egunov – Cand. of Sci. (Med.), cardiovascular surgeon, researcher, Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology research Institute, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-4023-455X>

Andrey V. Smorgon – Junior Researcher, employee of the laboratory of ultrasound and functional research methods, Cardiology research Institute, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-6531-7223>

Roman S. Kozhanov – postgraduate student of the Department of Cardiovascular Surgery, cardiovascular surgeon, Cardiology research Institute, Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-0493-4762>



Показатель деформации миокарда левого предсердия, оцененный методом стрейн-эхокардиографии, как маркер фиброза у пациентов с ишемическим инсультом

© Хамидова Л.Т., Рыбалко Н.В., Иванников А.А.*,
Баширова Е.А., Рамазанов Г.Р., Каниболоцкий А.А.

ГБУЗ города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы»; 129090 Москва, Большая Сухаревская площадь, д. 3, Российская Федерация

Введение. Кардиоэмболический инсульт (КЭ) является одним из основных этиопатогенетических подтипов ишемического инсульта (ИИ) и составляет примерно 17% от всех пациентов с ИИ. В настоящее время ведется поиск широкодоступных методов лучевой диагностики, позволяющих с высокой точностью диагностировать дисфункцию левого предсердия (ЛП). К таким методам относят трансторакальную стрейн-эхокардиографию (ЭхоКГ), что дает дополнительное представление о мере деформации и изменении формы ЛП во время сердечного цикла. На сегодняшний день остается не изученной ассоциация между показателями стрейн-ЭхоКГ и выраженностью фибротических изменений ЛП у пациентов с ИИ.

Цель исследования: оценить взаимосвязь между показателями деформации миокарда ЛП и степени выраженности его фиброза у пациентов с ИИ, а также влияние изменения деформации миокарда ЛП на прогноз пациентов с ИИ.

Материал и методы. В проспективное поперечное исследование включено 132 пациента, проходивших обследование и лечение в отделении неотложной неврологии в ГБУЗ «НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы» в период с 2020 по 2022 г. В 1-ю группу включено 12 пациентов, умерших в ходе госпитализации, во 2-ю – 120 пациентов, выписанных из отделения после проведенного лечения.

Результаты. Умершие пациенты по сравнению с выжившими характеризовались наличием ремоделирования миокарда ЛП. В исследуемых группах были выявлены статистически значимые различия в показателях деформации миокарда ЛП. При проведении корреляционного анализа были выявлены статистически значимые взаимосвязи между показателями деформации миокарда ЛП с выраженностью фиброзных изменений. В многофакторной модели логистической регрессии статистически значимое влияние на прогноз пациентов оказывали такие показатели, как деформация миокарда ЛП в фазу проводника и деформация миокарда ЛП в сократительную фазу, повышавшие шансы летального исхода при каждом последующем увеличении показателя на 1% в 1,128 и 1,075 раза соответственно (ОШ 1,128, 95% ДИ 1,021–1,25, $p = 0,017$ и ОШ 1,075, 95% ДИ 1,009–1,15, $p = 0,025$).

Выводы. В ходе проведенного исследования было установлено, что показатель деформации миокарда ЛП сильно коррелирует с фиброзом ЛП и степенью фиброза ЛП. Показатели деформации миокарда ЛП могут быть использованы в стратификации риска развития летального исхода у пациентов с ИИ.

Ключевые слова: ишемический инсульт; предсердная кардиомиопатия; спекл-трекинг-эхокардиография; фиброз миокарда

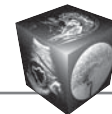
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Хамидова Л.Т., Рыбалко Н.В., Иванников А.А., Баширова Е.А., Рамазанов Г.Р., Каниболоцкий А.А. Показатель деформации миокарда левого предсердия, оцененный методом стрейн-эхокардиографии, как маркер фиброза у пациентов с ишемическим инсультом. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 106–116. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1417>

Поступила в редакцию: 27.10.2023.

Принята к печати: 23.05.2024.

Опубликована online: 08.07.2024.



Left atrial myocardial strain, assessed by the method of speckle-tracking echocardiography, as a marker of fibrosis in patients with ischemic stroke

© Layla T. Khamidova, Natalia V. Rybalko, Alexander A. Ivannikov*,
Eva A. Bashirova, Ganipa R. Ramazanov, Alexander A. Kanibolotsky

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

Introduction. Cardioembolic stroke (CE) is one of the main etiopathogenetic subtypes of ischemic stroke and accounts for approximately 17% of all patients with ischemic stroke. Currently, there is a search for widely accessible radiological diagnostic methods that allow for the accurate diagnosis of left atrial (LA) dysfunction. Among these methods is transthoracic strain echocardiography (EchoCG), which provides additional information about the degree of deformation and change in shape of the LA during the cardiac cycle. To date, the association between strain EchoCG parameters and the severity of fibrotic changes in the LA among patients with CE remains unstudied.

Objective. To evaluate the relationship between myocardial deformation parameters of the left atrium and the degree of fibrosis in patients with CE, as well as the impact of LA myocardial deformation changes on the prognosis of patients with CE.

Materials and Methods. A prospective cross-sectional study included 132 patients who underwent evaluation and treatment in the Department of Emergency Neurology at the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine from 2020 to 2022. Group 1 consisted of 12 patients who died during hospitalization, while Group 2 comprised 120 patients who were discharged from the department after receiving treatment.

Results. Deceased patients, compared to survivors, were characterized by the presence of LA myocardial remodeling. Statistically significant differences in LA myocardial deformation parameters were found between the study groups. Correlation analysis revealed statistically significant associations between LA myocardial deformation parameters and the severity of fibrotic changes. In the multifactorial logistic regression model, significant effects on the prognosis of patients were observed for LA strain peak systolic circumferential strain rate (LA-Scs) and LA strain peak systolic longitudinal strain rate (LA-Sls), with each 1% increase in the parameter associated with a 1.128-fold and 1.075-fold increase in the odds of a lethal outcome, respectively (OR: 1.128, 95% CI: 1.021–1.25, $p = 0.017$, and OR: 1.075, 95% CI: 1.009–1.15, $p = 0.025$).

Conclusions. The conducted study established a strong correlation between LA myocardial deformation and LA fibrosis and the degree of fibrosis in the LA. LA myocardial deformation parameters can be used in risk stratification for the development of a lethal outcome in patients with CE.

Keywords: ischemic stroke; atrial cardiomyopathy; speckle-tracking echocardiography; myocardial fibrosis

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

For citation: Khamidova L.T., Rybalko N.V., Ivannikov A.A., Bashirova E.A., Ramazanov G.R., Kanibolotskii A.A. Left atrial myocardial strain, assessed by the method of speckle-tracking echocardiography, as a marker of fibrosis in patients with ischemic stroke. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 106–116.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1417>

Received: 27.10.2023.

Accepted for publication: 23.05.2024.

Published online: 08.07.2024.

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания остаются значимой медико-социальной проблемой. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2019 г. сердечно-сосудистые заболевания были причиной смерти более 17,9 млн человек, что составляет 32% от общего числа смертей в мире [1].

В Российской Федерации патологии системы кровообращения головного мозга занимают второе место в числе всех сердечно-сосудистых заболеваний. Острое нарушение мозгового кровообращения составляет 21,4% от общей смертности [2].

Смертность от инфаркта мозга составляет 175 случаев на 100 тыс. жителей, а инвалидизация – 3,2 случая на 10 тыс. населения, что делает эту проблему одной из значимых [3]. По данным Американской ассоциации сердца, распространенность инсульта в Соединенных Штатах Америки в 2016 г. составляла 2,5%, став причиной смертей около 150 000 человек [4].

Кардиоэмболический инсульт (КЭ) является одним из основных этиопатогенетических подтипов ИИ и составляет примерно 17% от всех пациентов с ишемическим инсультом (ИИ) [5]. Одной из причин развития КЭ является дисфункция ле-



вого предсердия (ЛП), в основе которого лежит структурное ремоделирование, выраженное в увеличении его размеров и объема, а также развитии фибротических изменений миокарда [6].

Диагностика дисфункции ЛП является комплексной задачей, “золотым стандартом” лучевой диагностики фиброза ЛП является магнитно-резонансная томография сердца [7]. Данный метод обладает высокой чувствительностью и специфичностью, однако недостатками данного метода являются высокая стоимость и труднодоступность данного метода исследования. В настоящее время ведется поиск альтернативных методов лучевой диагностики, позволяющих с высокой точностью диагностировать дисфункцию ЛП. К таким методам относят трансторакальную стрейн-эхокардиографию (ЭхоКГ), суть которой заключается в отслеживании движения акустических маркеров, так называемых спеклов в миокарде, что дает дополнительное представление о мере деформации и изменении формы ЛП во время сердечного цик-

ла [8]. Ранее в исследованиях была доказана диагностическая и прогностическая значимость спеклтрекинг-ЭхоКГ при обследовании пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН), фибрилляцией предсердий (ФП) и гипертрофической кардиомиопатией [8, 9]. В исследовании S. Bouwmeester и соавт. (2022) было доказано, что показатель стрейна ЛП в фазу резервуара может быть предиктором сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с ХСН [9]. Было установлено, что показатель деформации ЛП коррелирует с наличием фиброза у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями [10]. Однако на сегодняшний день остается не изученной ассоциация между показателями стрейн-ЭхоКГ и выраженностью фибротических изменений ЛП у пациентов с ИИ.

Цель исследования: оценить взаимосвязь между показателями деформации миокарда ЛП и степени выраженности его фиброза у пациентов с ИИ, а также влияние изменения деформации миокарда ЛП на прогноз пациентов с ИИ.

Материал и методы

В проспективное когортное исследование включено 132 пациента, проходивших обследование и лечение в отделение неотложной неврологии НИИ СП имени Н.В. Склифосовского в период с 2020 по 2022 г. Клинико-демографическая характеристика пациентов, включенных в исследование, представлена в табл. 1.

Наиболее распространенным заболеванием явилась артериальная гипертензия (АГ), которая встречалась у 130 (98,4%) пациентов. Заболевания из группы ишемической болезни сердца (ИБС) и сахарный диабет 2 типа (СД 2 типа) диагностированы у 34 (25,8%) и 25 (18,9%) пациентов соответственно. Нарушения ритма сердца наблюдались у 31 (23,5%), в том числе постоянная форма ФП, выявленная у 19 (14,4%) пациентов.

Всем пациентам было выполнено ЭхоКГ-исследование по стандартному протоколу в соответствии с современными рекомендациями Американского общества эхокардиографии и Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации (ASE и EACVI) [11]. В ходе проведения ЭхоКГ была оценена степень деформации миокарда ЛП с помощью метода speckle-tracking. Speckle-tracking-ЭхоКГ (speckle – пятно, метка, tracking – отслеживание) представляет собой современный и эффективный метод, используемый для оценки глобальной и локальной кинетики, а также деформации миокарда. В отличие от традиционных методов ЭхоКГ, этот особый подход направлен на оценку сократительной функции миокарда с помощью векторного анализа дефор-

Таблица 1. Общая клиническая характеристика пациентов, включенных в исследование

Table 1. General clinical characteristics of patients included in the study

Показатель Clinical characteristic (n = 132)	
Возраст, годы, Me [Q1; Q3] Age, years, Me [Q1; Q3]	68.5 [60.0; 76.3]
ИМТ, кг/м ² , Me [Q1; Q3] BMI, kg/m ² , Me [Q1; Q3]	27.4 [25.0; 31.7]
ППТ, м ² , Me [Q1; Q3] BSA, m ² , Me [Q1; Q3]	1.94 [1.75; 2.15]
Длительность госпитализации, дни, Me [Q1; Q3] Hospitalization duration, days, Me [Q1; Q3]	15 [12; 25]
Артериальная гипертензия, n (%) Arterial hypertension, n (%)	130 (98.4%)
Ишемическая болезнь сердца, n (%) Ischemic heart disease, n (%)	34 (25.8%)
Сахарный диабет 2 типа, n (%) Type 2 diabetes mellitus, n (%)	25 (18.9%)
Постоянная форма ФП, n (%) Permanent form of AF, n (%)	19 (14.4%)
Нарушение ритма сердца, n (%) Cardiac arrhythmia, n (%)	31 (23.5%)

Примечание. Здесь и в табл. 2: ИМТ – индекс массы тела, ППТ – площадь поверхности тела, ФП – фибрилляция предсердий.

Note. AF – atrial fibrillation, BMI – body mass index, BSA – body surface area.

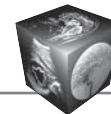


Рис. 1. Технология speckle-tracking-ЭхоКГ.

Fig. 1. Speckle-tracking echocardiography technology.

мации миокарда, что позволяет уменьшить ошибки, обычно связанные с тканевой доплеровской ЭхоКГ. Фундаментальная концепция speckle-tracking-ЭхоКГ с отслеживанием спеклов заключается в используемой технологии анализа двумерного изображения в виде объединения отдельных пикселей. Уникальное сочетание пикселей в градациях серого в каждом сегменте позволяет отслеживать движение в определенных областях структур миокарда на протяжении всего сердечного цикла. Система способна исследовать любые точки и сегменты миокарда, указанные оператором, на уровне эндокарда, миокарда или эпикарда. Затем данные, полученные в результате этого анализа после вычислительной обработки, визуально представляются с помощью различных средств, таких как кривые, цветовые шкалы, таблицы и векторы [12] (рис. 1).

С целью оценки прогностической значимости показателей стрейн-ЭхоКГ пациенты исследуемой выборки были разделены на 2 группы: 1-ю группу ($n = 12$) составили пациенты, скончавшиеся в ходе госпитализации, 2-ю группу ($n = 120$) – пациенты, выписанные после проведенного обследования и лечения.

Во всех 12 случаях смерти пациентов проведено патологоанатомическое вскрытие, исследован миокард ЛП, фрагменты которого фиксировали в 10% растворе забуференного формалина, парафиновые блоки микротомировали, срезы окрашивали гематоксилином и эозином, по Ван-Гизону для определения выраженности фиброза. Иссле-

дование морфологических изменений проводилось в проходящем свете с использованием микроскопа ZEISS Imager.Z2 с увеличением от 50 до 400 и масляной иммерсией с увеличением 1000, оценивали выраженность фиброза, используя полуколичественные методы оценки. Фотофиксация выявленных микроскопических изменений выполнена с использованием цифровой камеры AxioCam MRC 5. Выраженность фиброза миокарда ЛП оценивалась полуколичественно с использованием 4 степеней: выраженный, умеренно выраженный, слабо-выраженный фиброз и отсутствие фиброза.

Статистический анализ. Статистический анализ полученных данных проводился на персональном компьютере с операционной системой macOS версии 13.4 Ventura с использованием программного обеспечения jamovi версии 2.3.26 и языка программирования Python версии 3.9 с использованием библиотек pandas, numpy и seaborn. Количественные данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [Q1; Q3]). Категориальные данные представлены с указанием абсолютного показателя и процентного соотношения n (%). Сравнение количественных переменных проводилось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Для сравнения категориальных данных использовался критерий χ^2 Пирсона. Корреляционный анализ выполнен с помощью рангового критерия Спирмена. Для определения прогностической значимости переменных применен метод одно- и многофакторной логистической регрессии с расчетом отношения шансов (ОШ)

**Таблица 2.** Клинико-анамнестическая характеристика пациентов в исследуемых группах**Table 2.** Clinical and anamnestic characteristics of patients in the study groups

Клиническая характеристика Clinical characteristic	1-я группа Group 1 (n = 12)	2-я группа Group 2 (n = 120)	p-value
Возраст, годы, Me [Q1; Q3] Age, years, Me [Q1; Q3]	71 [67; 77]	67 [59; 75.5]	0.09
ИМТ, кг/м ² , Me [Q1; Q3] BMI, kg/m ² , Me [Q1; Q3]	24.5 [23.8; 25.9]	27.7 [24.8; 30.7]	0.009
ППТ, м ² , Me [Q1; Q3] BSA, m ² , Me [Q1; Q3]	1.78 [1.70; 1.91]	1.96 [1.81; 2.12]	0.004
Длительность госпитализации, дни, Me [Q1; Q3] Hospitalization duration, days, Me [Q1; Q3]	25 [10.0; 39.0]	14.5 [12.0; 23.3]	0.16
NIHSS при поступлении, баллы, Me [Q1; Q3] NIHSS at admission, score, Me [Q1; Q3]	12 [6; 26]	3 [1; 5]	0.003
Артериальная гипертензия, n (%) Arterial Hypertension, n (%)	13 (100%)	123 (99.19%)	0.745
Ишемическая болезнь сердца, в том числе постинфарктный кардиосклероз, n (%) Ischemic heart disease, incl. postinfarction cardiosclerosis, n (%)	7 (53.84%)	31 (25%)	0.027
Сахарный диабет 2 типа, n (%) Type 2 diabetes mellitus, n (%)	6 (46.15%)	21 (16.93%)	0.012
Постоянная форма ФП, n (%) Permanent form of AF, n (%)	4 (30.76%)	15 (12.09%)	0.064

Примечание. NIHSS – (NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH STROKE SCALE) – шкала инсульта Национального института здоровья.

Note. NIHSS – National Institutes of Health Stroke Scale.

и 95% доверительного интервала (95% ДИ). Пороговое значение логистической функции p , а также определение диагностической эффективности в полученной многофакторной модели было определено с помощью ROC-анализа и построения классификационной таблицы. Пороговый уровень критической значимости составил 95%, статистически значимыми различия признавались при $p < 0,05$.

Результаты

После формирования исследуемых групп была изучена клинико-анамнестическая характеристика пациентов, что представлено в табл. 2.

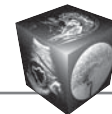
Пациенты в исследуемых группах были сопоставимы по возрасту. Медиана возраста пациентов 1-й группы составила 71 [67; 77] год, 2-й – 67 [59; 75,5] лет ($p = 0,09$). Длительность госпитализации между группами также не имела статистически значимых различий и составила 25 [10,0; 39,0] дней у пациентов 1-й группы и 14,5 [12,0; 23,3] дня у пациентов 2-й группы ($p = 0,16$).

Медиана индекса массы тела (ИМТ) у пациентов 1-й группы была статистически значимо ниже и составила 24,5 [23,8; 25,9] кг/м², в то время как у пациентов 2-й группы медиана ИМТ была 27,7 [24,8; 30,7] кг/м².

Умершие пациенты по сравнению с выжившими имели более высокий балл по шкале NIHSS при поступлении – 12 [6; 26] и 3 [1; 5] ($p = 0,003$) соответственно.

Пациенты в исследуемых группах значимо не различались по таким сопутствующим нозологиям, как АГ и постоянная форма ФП. АГ диагностирована у 12 (100%) пациентов 1-й группы и 123 (99,19%) пациентов 2-й группы ($p = 0,745$). Постоянная форма ФП встречалась у 4 (30,76%) и 15 (12,09%) пациентов 1-й и 2-й групп соответственно ($p = 0,064$).

В 1-й группе чаще встречались сопутствующие заболевания группы ИБС – 7 (53,84%) и 31 (25%) ($p = 0,027$) пациент и СД 2 типа – 6 (46,15%) и 21 (16,93%) ($p = 0,012$) пациент соответственно.

**Таблица 3.** Показатели анализа крови пациентов в исследуемых группах**Table 3.** Indicators of the blood test of patients in the study groups

Показатель	1-я группа Group 1 (n = 12)	2-я группа Group 2 (n = 120)	p-value
Глюкоза, ммоль/л, Me [Q1; Q3] Glucose, mmol/l, Me [Q1; Q3]	6.72 [6.23; 7.96]	6.57 [5.70; 7.87]	0.274
Холестерин, ммоль/л, Me [Q1; Q3] Cholesterol, mmol/l, Me [Q1; Q3]	4.06 [2.63; 5.92]	5.41 [3.93; 6.35]	0.199
Липопротеиды низкой плотности, ммоль/л, Me [Q1; Q3] Low density lipoproteins, mmol/l, Me [Q1; Q3]	2.70 [2.58; 3.69]	3.19 [2.30; 4.09]	0.614
Активированное частичное тромбопластиновое время, с, Me [Q1; Q3] Activated partial thromboplastin time, sec, Me [Q1; Q3]	23.7 [21.1; 26.3]	23.7 [22.1; 26.2]	0.66
Международное нормализованное отношение, с, Me [Q1; Q3] International normalized ratio, sec, Me [Q1; Q3]	1.23 [1.12; 1.46]	1.13 [1.08; 1.24]	0.10
Протромбиновое время, с, Me [Q1; Q3] Prothrombin time, sec, Me [Q1; Q3]	14.0 [13.2; 17.0]	13.2 [12.7; 14.4]	0.10
Протромбин, %, Me [Q1; Q3] Prothrombin, %, Me [Q1; Q3]	80.2 [64.8; 87.7]	84.6 [74.3; 90.3]	0.45
Фибриноген, г/л, Me [Q1; Q3] Fibrinogen, g/l, Me [Q1; Q3]	2.82 [2.43; 3.70]	3.23 [2.69; 3.88]	0.40
D-димер, нг/мл, Me [Q1; Q3] D-dimer, ng/ml, Me [Q1; Q3]	2.39 [0.96; 7.62]	0.67 [0.363; 2.0]	0.01

В ходе госпитализации у всех пациентов был выполнен забор крови из периферических вен с целью оценки показателей углеводного и липидного обмена, а также оценки состояния системы гемостаза (табл. 3).

Как видно из данных табл. 3, пациенты в исследуемых группах не различались по таким показателям анализа крови, как глюкоза, холестерин, липопротеиды низкой плотности, а также основным показателям коагулограммы. Однако пациенты 1-й группы имели более высокие значения показателя концентрации D-димера в плазме крови. Медиана концентрации D-димера в 1-й группе составила 2,39 [0,96; 7,62], во 2-й – 0,67 [0,363; 2,0] ($p = 0,01$).

В ходе госпитализации всем пациентам в исследуемых группах была проведена трансторакальная ЭхоКГ, результаты представлены в табл. 4.

Как видно из данных табл. 4, у пациентов в исследуемых группах не было статистически значимых отличий в таких показателях, как объем ЛП, толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП), задняя стенка левого желудочка (ЗСЛЖ), конечно-диастолический (КДР) и конечно-систолический размеры (КСР), конечно-диастолический (КДО) и конечно-систолический объемы (КСО).

Обращает на себя внимание, что у пациентов в исследуемых группах наблюдаются значения показателей ТМЖП и ЗСЛЖ выше нормы, что, по-видимому, является следствием высокой частоты встречаемости АГ и ИБС.

При анализе степени выраженности продольной деформации миокарда левого желудочка было установлено, что у пациентов 1-й группы имелось более выраженное нарушение сократительной функции миокарда, что подтверждается результатами стрейн-ЭхоКГ. Значение показателя глобального продольного стрейна ЛЖ в 1-й группе составило 9,25 [–18,0; –6,0]%, во 2-й – –20,4 [–23,1; –16,9] ($p = 0,029$). Показатели деформации миокарда ЛП в исследуемых группах также различались. Показатель деформации ЛП в фазу проводника (ЛПСпрКД) в 1-й группе составил 14,7 [12,2; 18,9]%, во 2-й – 27,0 [20,3; 36,8] ($p = 0,005$), а показатель деформации ЛП в сократительную фазу (ЛПСскрКД) –5,60 [–10,1; –3,30] и –13,2 [–17,9; –7,8] у пациентов 1-й и 2-й групп соответственно.

Диаметр ЛП в 1-й группе составил 39 [36,0; 40,5], во 2-й группе – 35,5 [33,0; 38,0] ($p = 0,012$). Индекс КСО ЛП составил 33,5 [28,3; 44,3] и 25,1 [21,9; 32,2] у пациентов 1-й и 2-й групп соответственно ($p = 0,012$).

**Таблица 4.** Результаты показателей трансторакальной ЭхоКГ в исследуемых группах**Table 4.** Results of transthoracic echocardiography in the study groups

Переменная	1-я группа Group 1 (n = 12)	2-я группа Group 2 (n = 120)	p-value
Диаметр ЛП, мм, Ме [Q1; Q3] LA diameter, mm, Me [Q1; Q3]	39 [36.0; 40.5]	35.5 [33.0; 38.0]	0.012
Объем ЛП, мл, Ме [Q1; Q3] LA volume, ml, Me [Q1; Q3]	62.0 [49; 78]	50.0 [41.8; 65.0]	0.054
ЛП КСО индекс, мл/м ² , Ме [Q1; Q3] LA ESV index, ml/m ² , Me [Q1; Q3]	33.5 [28.3; 44.3]	25.1 [21.9; 32.2]	0.012
ЛПСрКД, %, Ме [Q1; Q3] PALS, %, Me [Q1; Q3]	14.7 [12.2; 18.9]	27.0 [20.3; 36.8]	0.005
ЛПСпрКД, %, Ме [Q1; Q3] LACS, %, Me [Q1; Q3]	-10.4 [-12.8; -6.00]	-14.6 [-20.1; -8.57]	0.06
ЛПСскрКД, %, Ме [Q1; Q3] LACTs, %, Me [Q1; Q3]	-5.60 [-10.1; -3.30]	-13.2 [-17.9; -7.8]	0.008
GLS ЛЖ (средний) Ме [Q1; Q3] GLS LV (average), % Me [Q1; Q3]	-9.25 [-18.0; -6.0]	-20.4 [-23.1; -16.9]	0.029
ТМЖП, мм, Ме [Q1; Q3] VST, mm, Me [Q1; Q3]	12 [10.5; 14.5]	13 [12.0; 13.0]	0.637
ЗСЛЖ, мм, Ме [Q1; Q3] LV PW, mm, Me [Q1; Q3]	11 [10.0; 13.0]	12 [10.0; 12.0]	0.94
КДР, мм, Ме [Q1; Q3] EDS, mm, Me [Q1; Q3]	43 [38.0; 53.0]	45.0 [41.0; 48.0]	0.68
иКДР, мм/м ² , Ме [Q1; Q3] iEDS, mm/m ² , Me [Q1; Q3]	24.5 [21.9; 28.3]	22.6 [21.2; 24.2]	0.199
КСР, мм, Ме [Q1; Q3] ESS, mm, Me [Q1; Q3]	27 [25.5; 32.5]	31.0 [29.0; 33.0]	0.157
КДО, мл, Ме [Q1; Q3] EDV, ml, Me [Q1; Q3]	68 [60.0; 104]	89 [72.0; 106]	0.310
КСО, мл, Ме [Q1; Q3] ESV, ml, Me [Q1; Q3]	29 [26.0; 69.0]	35 [29.0; 42.0]	0.651
ФВ ЛЖ, %, Ме [Q1; Q3] LV EF, %, Me [Q1; Q3]	55 [45.0; 60.0]	58.0 [55.0; 62.0]	0.043
Скорость эвакуации, см/с, Ме [Q1; Q3] Evacuation speed, sm/sec. Me [Q1; Q3]	61.0 [48.5; 76.5]	40.0 [31.0; 74.0]	0.361

Примечание. ЗСЛЖ – задняя стенка левого желудочка, КДО – конечно-диастолический объем, КДР – конечно-диастолический размер, КСО – конечно-систолический объем, КСР – конечно-систолический размер, ЛП – левое предсердие, ЛПСпрКД – показатель деформации миокарда в фазу кондуита, ЛПСрКД – показатель деформации миокарда в фазу резервуара, ЛПСскрКД – показатель деформации миокарда в сократительную фазу, иКДР – индексированный КДР, ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, GLS (global longitudinal strain) – глобальная продольная деформация миокарда.

Note. EDS – end diastolic size, ESS – end systolic size, EDV – end diastolic volume, ESV – end systolic volume, iEDS – indexed end diastolic size, LA – left atrium, LACS – left atrial conduit strain, LACTs – peak atrial contraction strain, LV EF – left ventricle ejection fraction, LV PW – left ventricle posterior wall, PALS – Peak atrial longitudinal strain, VST – ventricular septal thickness.

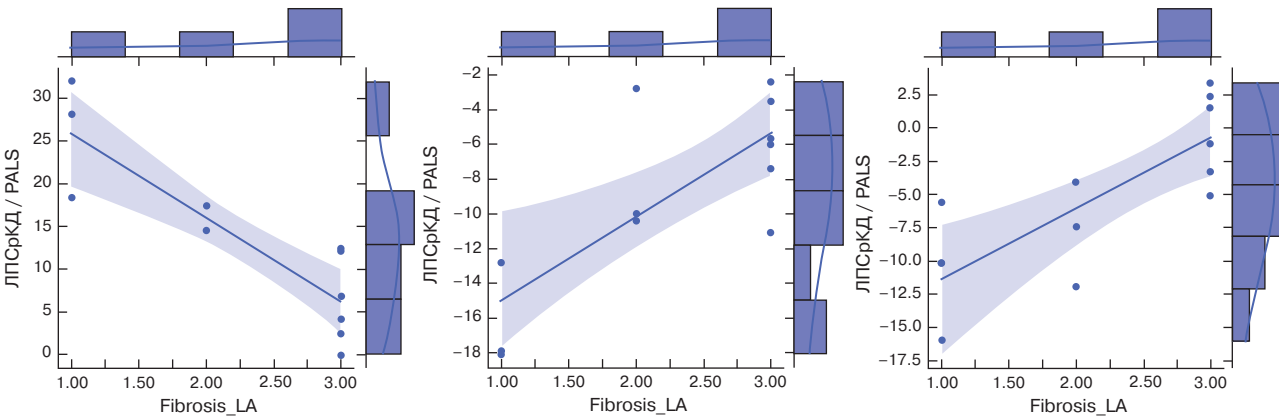


Рис. 2. Корреляционные взаимосвязи показателей деформации миокарда ЛП в разные фазы с выраженностью фиброза.
Fig. 2. Correlation of myocardial deformation parameters in different phases with the severity of fibrosis.

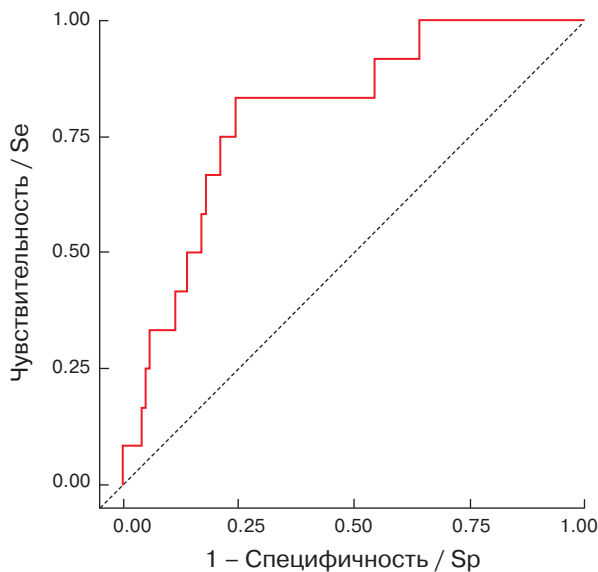
Фракция выброса (ФВ) ЛЖ у пациентов 1-й группы составила 55 [45,0; 60,0] и была статистически значимо ниже по сравнению с пациентами 2-й группы, где ФВ ЛЖ была 58,0 [55,0; 62,0] ($p = 0,043$).
С целью выявления ассоциации между показателями деформации миокарда ЛП и степенью выраженности фиброза в миокарде ЛП был проведен корреляционный анализ (рис. 2).
При проведении корреляционного анализа были выявлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи сильной степени между показателями деформации миокарда ЛП с выраженностью фиброза. Так, коэффициент корреляции между выраженностью фиброза и показателем ЛПСрКД составил $-0,922$ ($r = -0,922$, $p < 0,001$), показателем ЛПСпрКД $-0,683$ ($r = 0,683$, $p = 0,014$), показателем ЛПСскрКД $-0,819$ ($r = 0,819$, $p = 0,001$).

Следующим этапом исследования была разработка прогностической модели летального исхода пациентов с ИИ на основании комплексной оценки сердечно-сосудистой системы с привлечением данных стрейн-ЭхоКГ. С этой целью был проведен одно- и многофакторный регрессионный анализ, результаты которого представлены в табл. 5.
С помощью однофакторного регрессионного анализа было установлено, что каждое последующее увеличение показателя ЛПСрКД на 1% повышало шансы летального исхода в 1,05 раза (ОШ 0,944, 95% ДИ 0,906–0,982, $p = 0,004$), каждое последующее увеличение показателя ЛПСпрКД на 1% – в 1,15 раза (ОШ 1,15, 95% ДИ 1,034–1,28, $p = 0,009$) и каждое последующее увеличение показателя ЛПСскрКД на 1% – в 1,076 раза (ОШ 1,076, 95% ДИ 1,014–1,143, $p = 0,016$).

Таблица 5. Результаты регрессионного анализа
Table 5. Results of regression analysis

Показатель деформации ЛП LA deformation index	Однофакторный регрессионный анализ Univariate regression analysis			Многофакторный регрессионный анализ Multivariate regression analysis		
	ОШ OR	95% ДИ 95% CI	p-value	ОШ OR	95% ДИ 95% CI	p-value
ЛПСрКД, % PALS, %	0.944	0.906–0.982	0.004			
ЛПСпрКД, % LACS, %	1.15	1.034–1.28	0.009	1.128	1.021–1.25	0.017
ЛПСскрКД, % LACTS, %	1.076	1.014–1.143	0.016	1.075	1.009–1.15	0.025

Примечание. ДИ – доверительный интервал, ЛПСрКД – показатель деформации миокарда в фазу кондуита, ЛПСпрКД – показатель деформации миокарда в фазу резервуара, ЛПСскрКД – показатель деформации миокарда в сократительную фазу, ОШ – отношение шансов.
Note. CI – confidence interval, LACS – left atrial conduit strain, LACTS – peak atrial contraction strain, OR – odds ratio, PALS – Peak atrial longitudinal strain.

**Рис. 3.** Результат ROC-анализа.**Fig. 3.** ROC-analysis results.

В многофакторной модели статистически значимое влияние на прогноз оказывали такие показатели, как ЛПСпрКД и ЛПСскрКД, повышавшие шансы летального исхода при каждом последующем увеличении показателя на 1% в 1,128 и 1,075 раза соответственно (ОШ 1,128, 95% ДИ 1,021–1,25, $p = 0,017$ и ОШ 1,075, 95% ДИ 1,009–1,15, $p = 0,025$). Коэффициент детерминации Найджелера составил 20,8%, таким образом изменения в показателях ЛПСпрКД и ЛПСскрКД составляли 20,8% дисперсии вклада в развитие летального исхода у пациентов с ИИ. С целью оценки диагностической эффективности полученной модели нами был проведен ROC-анализ, результаты представлены на рис. 3 и в табл. 6.

При проведении ROC-анализа (см. рис. 3) было установлено пороговое значение логистической функции p , равное 10%. При $p > 10\%$ прогнозировался риск развития летального исхода. Чувствительность многофакторной модели логистической регрессии составила 75%, специфичность – 76,4%, диагностическая эффективность – 76,3%, площадь под ROC-кривой – 0,801.

Обсуждение

Как видно из результатов нашего исследования, группа умерших пациентов характеризовалась более выраженной частотой встречаемости сопутствующих заболеваний из группы ИБС и СД 2 типа. Данные заболевания характеризуются общностью патогенеза, который включает в себя гипергликемию, хроническое воспаление, эндотелиальную и митохондриальную дисфункцию [13]. Эти патологические процессы оказывают прямое воздействие на сердце, провоцируя развитие фиброзных изменений в миокарде, что впоследствии сказывается на сократительной функции. Так, согласно полученным результатам, ФВ ЛЖ у умерших пациентов составила 55 [45,0; 60,0]% и была статистически значимо ниже по сравнению с группой выживших пациентов, где медиана ФВ ЛЖ составила 58,0 [55,0; 62,0]% ($p = 0,043$).

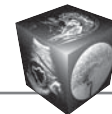
При анализе полученного материала установлено, что у умерших пациентов по данным трансторакальной ЭхоКГ регистрировались статистически значимо более высокие показатели размеров ЛП. Также было установлено, что каждое последующее увеличение диаметра ЛП на 1 мм увеличивало шансы летального исхода в 1,08 раза (ОШ 1,089, 95% ДИ 1,0 – 1,188, $p = 0,05$). Расширение размеров ЛП ведет к нарушениям внутрисердечной гемодинамики, приводя к развитию таких патологических состояний, как ХСН, ФП а также посткапиллярной легочной гипертензии, что значимо влияет на прогноз [14].

В ходе исследования нами были выявлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи между показателями деформации ЛП и степенью выраженности фибротических изменений миокарда у пациентов с ИИ. Ранее в исследованиях была доказана ассоциация между показателями стрейн-ЭхоКГ и фибротическими изменениями ЛП у пациентов с ФП, ожидающих криобаллонную абляцию [15].

Согласно полученным результатам, показатели speckle-tracking ЛП могут обладать определенной прогностической информацией в отношении развития летального исхода у пациентов с ИИ. В ходе однофакторного регрессионного анализа нами

Таблица 6. Классификационная таблица многофакторной модели**Table 6.** Classification table of the multifactorial model

Наблюдаемый Observable	Предсказанный / Predicted		% правильно диагностированных % correctly diagnosed
	Да / Yes	Нет / No	
Да	9	3	76.4
Нет	29	94	75.0



было установлено, что каждое последующее повышение показателя speckle-tracking ЛП в фазу резервуара увеличивало шансы развития летального исхода в 1,05 раза (ОШ 0,948, 95% ДИ 0,907–0,99, $p = 0,015$), а в контрактильную фазу – в 1,058 раза (ОШ 1,058, 95% ДИ 1,0003–1,118, $p = 0,048$).

Ранее в исследованиях была показана прогностическая роль определения деформации миокарда ЛП в определении риска развития летального исхода у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. По данным систематического обзора и метаанализа, выполненного F. Jia и соавт. (2022), было показано, что показатель продольной деформации ЛП у умерших в ходе наблюдения пациентов с ХСН был статистически значимо ниже по сравнению с выжившими (средневзвешанная разница 6,17, 95% ДИ 3,09–9,26, $p < 0,001$). Также было установлено, что каждое последующее увеличение показателя продольной деформации миокарда ЛП было независимо связано со снижением риска первичной конечной точки (относительный риск 0,96, 95% ДИ 0,94–0,98, $p < 0,001$) [16].

Таким образом, показатель деформации ЛП оказался полезным показателем для диагностики и прогнозирования летального исхода у пациентов с ИИ, а также предиктором наличия фиброза ЛП. Спекл-трекинг-ЭхоКГ может быть важным инструментом для оценки функции ЛП у пациентов с ИИ. Она может помочь выявить пациентов с риском возникновения ИИ и предсказать тяжесть инсульта. Кроме того, она может быть полезна для прогнозирования ФП после ИИ. Однако для полного понимания роли спекл-трекинг-ЭхоКГ в диагностике пациентов с ИИ требуются дальнейшие дополнительные исследования и анализ полученных результатов.

Выводы

1. Показатель деформации миокарда ЛП сильно коррелирует с фиброзом ЛП и степенью фиброза ЛП. Коэффициент корреляции между выраженностью фиброза и показателем ЛПСрКД составил $-0,922$ ($r = -0,922$, $p < 0,001$), показателем ЛПСпрКД – $0,683$ ($r = 0,683$, $p = 0,014$), показателем ЛПСскрКД – $0,819$ ($r = 0,819$, $p = 0,001$).

2. Показатели деформации миокарда ЛП могут быть использованы в стратификации риска развития летального исхода у пациентов с ИИ. В многофакторной модели статистически значимое влияние на прогноз оказывали такие показатели, как ЛПСпрКД и ЛПСскрКД. Чувствительность многофакторной модели логистической регрессии составила 75%, специфичность – 76,4%, диагностическая эффективность – 76,3%, площадь под ROC-кривой – 0,801.

Участие авторов

Хамидова Л.Т. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Рыбалко Н.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Иванников А.А. – статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Баширова Е.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста.

Рамазанов Г.Р. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Каниболоцкий А.А. – сбор и обработка данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Khamidova L.T. – concept and design of the study, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Rybalko N.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Ivannikov A.A. – statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, preparation and creation of the published work.

Bashirova E.A. – conducting research, collection and analysis of data, writing text.

Ramazanov G.R. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Kanibolotskii A.A. – collection and analysis of data, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Воеводина И.В., Майчук Е.Ю., Иванова О.С. Распространенность факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний и их структура среди здоровых женщин. Основные результаты проекта "Три возраста женщины". *Клиническая практика*. 2020; 11 (1): 73–80. doi: 10.17816/clinpract18967
Voevodina I.V., Maychuk E.Y., Ivanova O.S. The prevalence of cardiovascular risk factors and their structure among healthy women. The main results of the project "Three ages of women". *Journal of Clinical Practice*. 2020; 11 (1): 73–80. <https://doi.org/10.17816/clinpract18967> (In Russian)
2. Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танащян М.М. Инсульт: пошаговая инструкция. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. 272 с.
Piradov M.A., Maksimova M.Yu., Tanashyan M.M. Insult: poshagovaya instrukciya [Stroke: step-by-step instructions]. M.: GE'OTAR-Media, 2019. 272 p. (In Russian)
3. Козловский В.И., Занько С.Н., Крылов Ю.В. Фармакоэкономика в кардиологии, онкологии и акушерстве. Изд. 2-е. Витебск: ВГМУ, 2016. 285 с.
Kozlovskij V.I., Zan'ko S.N., Kry'lov Yu.V. Farmakoe'konomika v kardiologii, onkologii i akusherstve [Pharmacoeconomics in cardiology, oncology and obstetrics]. Izd. 2-e. Vitebsk: VGMU, 2016. 285 p. (In Russian)
4. Feske S.K. Ischemic stroke. *Am. J. Med.* 2021; 134 (12): 1457–1464. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2021.07.027>



5. Ntaios G. Embolic stroke of undetermined source: JACC review topic of the week. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020; 75 (3): 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.11.024>
6. Kawakami H., Inoue K., Nagai T. et al. Left atrial dysfunction still exists in patients who obtain normal left atrial volume after successful ablation of atrial fibrillation. *Eur. Heart J.* 42 (Suppl. 1): ehab724.0504. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab724.0504>
7. To A.C., Flamm S.D., Marwick T.H., Klein A.L. Clinical utility of multimodality LA imaging: assessment of size, function, and structure. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2011; 4 (7): 788–798. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.02.018>
8. Ancona R., Comenale Pinto S., Caso P. et al. Left atrium by echocardiography in clinical practice: from conventional methods to new echocardiographic techniques. *ScientificWorldJournal.* 2014; 2014:451042. <https://doi.org/10.1155/2014/451042>
9. Bouwmeester S., van der Stam J.A., van Loon S.L.M. et al. Left atrial reservoir strain as a predictor of cardiac outcome in patients with heart failure: the HaFaC cohort study. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2022; 22 (1): 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12872-022-02545-5>
10. Oike F., Usuku H., Yamamoto E. et al. Clinical significance of left atrial function estimated by two dimensional speckle tracking echocardiography for diagnosis of concomitant transthyretin amyloid cardiomyopathy in patients with aortic stenosis. *Circulation.* 2021; 144 (Suppl. 1): A10841–A10841. <https://doi.org/10.1002/ehf2.13909>
11. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. – Cardiovasc. Imaging.* 2015. 16 (3): 233–271. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
12. Медведев П.И., Алехин М.Н., Сидоренко Б.А. Диагностические возможности спекл-трекинг эхокардиографии у больных ишемической болезнью сердца. *Кардиология.* 2016; 56 (2): 79–84. <https://doi.org/10.18565/cardio.2016.2.79-84>
13. Ritchie R.H., Abel E.D. Basic mechanisms of diabetic heart disease. *Circ. Res.* 2020; 126 (11): 1501–1525. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.120.315913>
14. Zhang M.J., Norby F.L., Lutsey P.L. et al. Association of left atrial enlargement and atrial fibrillation with cognitive function and decline: the ARIC-NCS. *J. Am. Heart Assoc.* 2019; 8 (23): e013197. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.013197>
15. Dal Porto M., Dematte C., Maines M. et al. Left atrial functional remodeling assessed by echocardiography in patients undergoing ablation for atrial fibrillation: correlation with the presence of fibrosis and invasive atrial pressure. *Eur. Heart J.-Cardiovasc. Imaging.* 2022; 23 (Suppl.1): jeab289.103. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab289.103>
16. Jia F., Chen A., Zhang D. et al. Prognostic Value of Left Atrial Strain in Heart Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front. Cardiovasc. Med.* 2022; 9: 935103. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.935103>

Для корреспонденции*: Иванников Александр Александрович – email: ivannikov_a95@mail.ru

Хамидова Лайла Тимарбековна – доктор мед. наук, заведующая научным отделением лучевой диагностики, врач ультразвуковой диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9669-9164>

Рыбалко Наталья Владимировна – доктор мед. наук, заведующая отделением функциональной диагностики, врач функциональной диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6973-4430>

Иванников Александр Александрович – младший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9738-1801>

Баширова Ева Аликовна – врач функциональной диагностики ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0009-3850-2683>

Рамазанов Ганипа Рамазанович – канд. мед. наук, заведующий региональным сосудистым центром, врач-невролог ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6824-4114>

Каниболоцкий Александр Алексеевич – канд. мед. наук, заведующий отделением патологической анатомии ГБУЗ “НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6118-1405>

Contact*: Alexander A. Ivannikov – email: ivannikov_a95@mail.ru

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

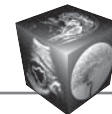
Natalia V. Rybalko – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Functional Diagnostics, Doctor of Functional Diagnostics of Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6973-4430>

Alexander A. Ivannikov – Junior Researcher, Department of Radiation Diagnostics of Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9738-1801>

Eva A. Bashirova – Doctor of Functional Diagnostics of Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-3850-2683>

Ganipa R. Ramazanov – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Regional Vascular Center, neurologist of Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6824-4114>

Alexander A. Kanibolotsky – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Pathological Anatomy of Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6118-1405>



Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1426>

Вариабельность ультразвуковых показателей ретробульбарного кровотока у детей с сахарным диабетом 1 типа

© Фомина С.В. *, Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Завадовская В.Д., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; 634050 Томск, Московский тракт, д. 2, Российская Федерация

Ранняя диагностика нарушений кровоснабжения глаз у пациентов с сахарным диабетом 1 типа в детском возрасте является актуальной задачей. Определение ультразвуковых изменений гемодинамики ретробульбарных сосудов при влиянии факторов риска благоприятно отразится на динамическом наблюдении детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа.

Цель исследования: оценить вариабельность ультразвуковых показателей ретробульбарного кровотока у пациентов с сахарным диабетом 1 типа в детском и подростковом возрасте в зависимости от длительности заболевания, показателей липидного обмена и уровня гликированного гемоглобина.

Материал и методы. Исследование включало данные 186 детей в возрасте от 5 до 17 лет, из них 148 с сахарным диабетом 1 типа и 38 детей контрольной группы. При анализе учитывались длительность заболевания сахарным диабетом 1 типа, лабораторные показатели, ультразвуковые показатели и данные офтальмологического обследования.

Результаты. Полученные результаты исследования подтверждают наличие изменений гемодинамики ретробульбарных сосудов при сахарном диабете 1 типа у детей в ответ на влияние факторов риска и создают условия для использования ультразвуковых исследований в оценке нарушений кровоснабжения глаза.

Ключевые слова: сахарный диабет; диабетическая ретинопатия; ретробульбарный кровоток; ультразвуковое исследование; доплерография; скорость кровотока; индекс периферического сопротивления; дети; подростки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Завадовская В.Д., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. Вариабельность ультразвуковых показателей ретробульбарного кровотока у детей с сахарным диабетом 1 типа. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 117–126.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1426>

Поступила в редакцию: 29.12.2023. Принята к печати: 22.06.2024. Опубликовано online: 25.07.2024.

Variability of ultrasound indicators of retrobulbar blood flow in children with type 1 diabetes mellitus

© Svetlana V. Fomina*, Iuliia G. Samoilova, Marina V. Koshmeleva, Vera D. Zavadovskaya, Dmitriy A. Kachanov, Ekaterina I. Trifonova, Maxim A. Zorkaltsev, Vera E. Yun

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

Early diagnosis of eye blood supply disorders in patients with type 1 diabetes mellitus in childhood is an urgent task. Determination of ultrasound changes in the hemodynamics of retrobulbar vessels under the influence of risk factors will have a beneficial effect on the dynamic monitoring of children and adolescents with type 1 diabetes mellitus.



Purpose of the study: to evaluate the variability of ultrasound indicators of retrobulbar blood flow in patients with type 1 diabetes mellitus in childhood and adolescence, depending on the duration of the disease, indicators of lipid metabolism and the level of glycated hemoglobin.

Material and methods. The study included data from 186 children aged 5–17 years, of which 148 had type 1 diabetes and 38 children in the control group. The analysis took into account the duration of type 1 diabetes mellitus, laboratory, ultrasound indicators and ophthalmological examination data.

Results. The results of the study confirm the presence of changes in the hemodynamics of retrobulbar vessels in type 1 diabetes mellitus in children in response to the influence of risk factors, and create conditions for the use of ultrasound studies in the assessment of disorders of the blood supply to the eye.

Keywords: diabetes mellitus; diabetic retinopathy; retrobulbar blood flow; ultrasound; dopplerography; blood flow velocity; peripheral resistance index; children; adolescents

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

For citation: Fomina S.V., Samoylova Yu.G., Koshmeleva M.V., Zavadovskaya V.D., Trifonova E.I., Kachanov D.A., Zorkaltsev M.A., Yun V.E. Variability of ultrasound indicators of retrobulbar blood flow in children with type 1 diabetes mellitus. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 117–126. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1426>

Received: 29.12.2023.

Accepted for publication: 22.06.2024.

Published online: 25.07.2024.

Введение

Диагностика осложнений сахарного диабета (СД) 1 типа в детском возрасте является актуальной задачей здравоохранения [1, 2]. Одним из наиболее часто встречаемых осложнений является диабетическая ретинопатия (ДР) [2, 3]. Хроническая гипергликемия вызывает ряд патологических сосудистых изменений с развитием ишемии сетчатки, макулярным отеком, пролиферативными изменениями с нарастающим риском отслойки сетчатки и потери зрения [4, 5].

Диагностический алгоритм ДР включает офтальмологическое обследование с использованием методов визиометрии, биомикроскопии глазного дна, офтальмоскопии с использованием фундус-камеры. Точность методов определяется прозрачностью светопреломляющих сред, хрусталика, стекловидного тела [3, 5].

Ультразвуковая диагностика широко используется в офтальмологии как быстрый, безопасный, высокоточный метод, позволяющий определить изменения передних отделов глаза, прозрачность стекловидного тела, оценить структуру оболочек глаза, исключить новообразования. Допплерография ретробульбарных сосудов включает оценку спектра кровотока и измерение гемодинамических показателей глазной артерии (ГА), центральной артерии сетчатки (ЦАС), центральной вены сетчатки (ЦВС), задних коротких цилиарных артерий (ЗКЦА), верхней глазной вены (ВГВ) независимо от прозрачности стекловидного тела [4, 6–8].

По данным литературы, отмечается регистрация ультразвуковых изменений ретробульбарного кровотока у пациентов с СД, наиболее часто при СД 2 типа [9–13]. Большинство авторов сообщают о снижении скоростных показателей и повышении периферического сопротивления по ЦАС, ГА,

ЗКЦА у пациентов с СД 2 типа с разными стадиями ДР [4, 9, 10]. Интересные, но часто разнонаправленные данные свидетельствуют об изменениях ретробульбарного кровотока в ранний период ДР, до регистрации сосудистых изменений на глазном дне [8, 9, 12].

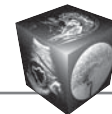
Малое количество данных представлено об изменениях гемодинамики ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1 типа под влиянием наиболее значимых факторов риска ДР, к которым относятся длительность СД, уровень гликированного гемоглобина и нарушения липидного обмена [5, 10, 12].

Установка закономерностей изменений ретробульбарного кровотока в зависимости от длительности СД, значений гликированного гемоглобина и показателей липидного обмена позволит лучше понять механизм патологических изменений кровоснабжения глаза и орбиты, что благоприятно отразится на динамическом наблюдении пациентов с СД 1 типа в детском возрасте, позволит снизить риски развития ДР.

Цель исследования: оценить вариабельность ультразвуковых показателей ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1 типа в детском и подростковом возрасте в зависимости от длительности заболевания, показателей липидного обмена и уровня гликированного гемоглобина.

Материал и методы

В исследование были включены данные 186 детей в возрасте от 5 до 17 лет. Контрольную группу здоровых пациентов составили 38 человек. В основную группу включено 148 пациентов с СД 1 типа. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (заключение № 9518 от 28.08.2023). В зави-



симости от длительности СД было выделено 3 подгруппы: с длительностью до 5 лет подгруппа 1 включала 87 детей, подгруппа 2 со стажем заболевания от 5 до 10 лет – 44 ребенка, подгруппа 3 с длительностью заболевания более 10 лет – 17 детей.

Изменения на глазном дне, характерные для ДР, у обследуемых пациентов оценивались при офтальмологическом обследовании с использованием офтальмоскопии с фундус-камерой.

Ультразвуковое исследование (УЗИ) глазных яблок и ретробульбарной области было проведено с учетом правил безопасности применения ультразвука в офтальмологии [7, 8]. Исследования проводилось на ультразвуковом аппарате экспертного класса Canon Aplio i 700 линейным датчиком 9–17 МГц одним врачом ультразвуковой диагностики с опытом работы более 10 лет для стандартизации проводимых измерений. Каждый показатель ультразвуковой доплерографии измерялся несколько раз, в результате заносилось истинное, повторяющееся значение. Исследования выполнялись билатерально, с регистрацией значений с обеих сторон.

УЗИ глазных яблок и орбит были выполнены в положении пациента лежа на спине, через закрытое веко и включали В-режим и режим доплерографии. При нативном УЗИ оценивались следующие параметры: эхоструктура глазного яблока, стекловидного тела, оболочек глаза, зрительного нерва, ретробульбарной клетчатки и прямых мышц глаза. При доплерографии проводилась оценка линейной скорости кровотока (ЛСК), индекса резистентности (RI), спектра кровотока по ГА, ЦАС, ЦВС, ЗКЦА, ВГВ.

Статистический анализ был выполнен с помощью программного обеспечения Statistica версия 13.3. Для описания количественных данных использованы медиана и 25–75-й процентиль. Качественные данные описаны абсолютными и относительными частотами. Для сравнения двух независимых групп был использован непараметрический критерий Манна–Уитни. Сравнение качественных данных выполнены с использованием критерия χ^2 . Оценка корреляционной зависимости между показателями проведена непараметрическим критерием Спирмена. Уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

Осмотр глазного дна у пациентов с СД 1 типа при офтальмологическом исследовании не выявил наличие микроаневризм, кровоизлияний в сетчатку, участков неоваскуляризации, кровоизлияний в стекловидное тело, тракционную от-

слойку сетчатки, макулярный отек, что характерно для ДР.

УЗИ глазных яблок и ретробульбарной области не выявило изменений структуры. Оболочки глазных яблок не изменены, без признаков отслоения сетчатки. Прозрачность переднего отрезка глазных яблок и стекловидного тела без помутнений. Прямые мышцы глазных яблок не утолщены, с хорошей дифференцировкой от ретробульбарной клетчатки, типичной структуры.

Ультразвуковая доплерография ретробульбарных сосудов выявила статистически значимые изменения ЛСК и RI при сравнении группы с СД 1 типа с контрольной группой. Снижение скорости кровотока в группе с СД 1 типа было получено по ЦАС, ЗКЦА, повышение скорости кровотока – по ГА, ВГВ. Оценка RI не показала устойчивых различий в исследуемых группах (табл. 1).

Учитывая полученные различия в исследуемых группах, был проведен анализ ультразвуковых изменений гемодинамики по ГА, ЗКЦА и ЦАС при различной длительности СД 1 типа у детей с выделением дополнительных подгрупп (табл. 2).

При оценке гемодинамики ГА в подгруппу “есть изменения” были включены пациенты с повышением периферического сопротивления ($RI > 0,80$) и/или увеличением ЛСК (>45 см/с), в подгруппу “нет изменений” включены пациенты с отсутствием гемодинамических изменений. Применительно к гемодинамике ЗКЦА подгруппу “есть изменения” составляли больные с повышением периферического сопротивления ($RI > 0,65$) и / или снижением ЛСК (<12 см/с), подгруппу “нет изменений” – дети и подростки с отсутствием изменений гемодинамики. При анализе гемодинамики ЦАС в подгруппу “есть изменения” добавлены пациенты с сниженной ЛСК ($< 10,5$ см/с), в подгруппу “нет изменений” – пациенты с отсутствием гемодинамических изменений. Нормативные показатели гемодинамики ретробульбарных сосудов определялись согласно общепринятым данным [8].

Результаты анализа изменений гемодинамики по ретробульбарным сосудам при различной длительности СД 1 типа представлены в табл. 2.

Анализ изменений ретробульбарного кровотока при различной длительности СД 1 типа показал наличие статистически значимых изменений гемодинамики по ЦАС и тенденцию к изменениям гемодинамики по ЗКЦА (см. табл. 2).

С целью наглядного представления вклада исследуемых сосудов (ГА, ЗКЦА, ЦАС) в нарушение гемодинамики ретробульбарного кровотока в разные сроки СД 1 типа была построена диаграмма “изменений”, основанная на данных подгруппы “есть изменения” (см. табл. 2). Диаграмма отра-



Таблица 1. Сравнение ультразвуковых показателей кровотока в ретробульбарных сосудах у пациентов с СД 1 типа и контрольной группы (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 1. Comparison of ultrasound indicators of blood flow in retrobulbar vessels in patients with type 1 diabetes and the control group (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Сахарный диабет 1 типа Diabetes mellitus type 1 n = 148			Контроль Control (n = 38)			p
	медиана median	процентиля percentiles		медиана median	процентиля percentiles		
		25-й	75-й		25-й	75-й	
ГА, см/с (OD) OA (OD), cm/s	42	36.3	47.9	42	37.3	44.7	0.50
ГА, RI (OD) OA (OD), RI	0.77	0.73	0.81	0.75	0.74	0.78	0.17
ГА, см/с (OS) OA (OS), cm/s	42	35.4	46	37.6	33.2	43.7	0.02
ГА, RI (OS) OA (OS), RI	0.76	0.73	0.81	0.77	0.74	0.79	0.75
ЦАС, см/с (OD) CRA (OD), cm/s	11	9.6	12	11.65	11.1	12.8	0.00
ЦАС, RI (OD) CRA (OD), RI	0.65	0.62	0.69	0.66	0.63	0.69	0.42
ЦАС, см/с (OS) CRA (OS), cm/s	11.6	10.2	12.6	12.2	11	13	0.00
ЦАС, RI (OS) CRA (OS), RI]	0.65	0.62	0.68	0.66	0.62	0.69	0.44
ЦВС, см/с (OD) CRV (OD), cm/s	5	4.6	5.5	5.0	4.9	5.7	0.40
ЦВС, см/с (OS) CRV (OS), cm/s	5.1	4.6	5.6	5.1	4.9	5.9	0.29
ЗКЦА, см/с (OD) PSCA (OD), cm/s	13.5	12.3	14.7	14.0	13.0	14.4	0.02
ЗКЦА, RI (OD) PSCA (OD), RI	0.62	0.59	0.64	0.59	0.56	0.64	0.01
ЗКЦА, см/с (OS) PSCA (OS), cm/s	13.4	12.6	15.0	14.1	13.5	15.0	0.03
ЗКЦА, RI (OS) PSCA (OS), RI	0.61	0.59	0.64	0.61	0.55	0.65	0.09
ВГВ, см/с (OD) SOV (OD), cm/s	7.6	7.0	8.4	7.1	6.0	7.3	0.00
ВГВ, см/с (OS) SOV (OS), cm/s	7.6	7.1	8.3	7.2	6.8	7.7	0.00

Примечание. Здесь и в табл. 2, 4: OD – правая орбита, OS – левая орбита, ГА – глазная артерия, ЦАС – центральная артерия сетчатки, ЦВС – центральная вена сетчатки, ЗКЦА – задние короткие цилиарные артерии, ВГВ – верхняя глазная вена, RI – индекс резистентности.

Note. Here and in the table. 2, 4: OD – dextra orbit, OS – sinistra orbit, ON – Optic nerve, OA – ophthalmic artery, CRA – central retinal artery, CRV – central retinal vein, PSCA – posterior short ciliary arteries, SOV – superior ophthalmic vein, RI – resistance index.



Таблица 2. Сравнение изменений гемодинамики по ретробульбарным сосудам при разной длительности СД 1 типа у детей и подростков (критерий χ^2 , уровень значимости $p < 0,05$)

Table 2. Comparison of changes in hemodynamics in retrobulbar vessels with different durations of type 1 diabetes mellitus in children and adolescents (χ^2 test, significance level $p < 0.05$)

		Стаж до 5 лет Experience up to 5 years (n = 87)	Стаж 5–10 лет Experience 5–10 years (n = 44)	Стаж более 10 лет More than 10 years of experience (n = 17)	p
ГА OA	Есть изменения There are changes	55/87 (63%)	25/44 (57%)	10/17 (59%)	0.76
	Нет изменений No changes	32/87 (36%)	19/44 (43%)	7/17 (41%)	
ЗКЦА PSCA	Есть изменения There are changes	44/87 (51%)	30/44 (68%)	10 /17 (59%)	0.15
	Нет изменений No changes	43/87 (49%)	14/44 (32%)	7/17 (41%)	
ЦАС CRA	Есть изменения There are changes	32/87 (37%)	25/44 (57%)	12/17 (71%)	0.01
	Нет изменений No changes	55/87 (63%)	19/44 (43%)	5/17 (39%)	

жает частоту встречаемости изменений кровотока в артериях при разной длительности СД 1 типа (рис. 1).

Анализ диаграммы показал, что в первые 5 лет СД 1 типа наибольшее количество изменений регистрировалось по ГА, при длительности 5–10 лет – по ЗКЦА и при стаже заболевания

более 10 лет – по ЦАС. Обращает на себя внимание нарастающее увеличение количества пациентов с изменениями по ЦАС с увеличением длительности СД 1 типа (см. рис. 1). Изменения гемодинамики по ЦАС наиболее устойчиво отражают изменения ретробульбарного кровотока при разных сроках СД 1 типа в детском возрасте.

Для проверки влияния липидного обмена и гликированного гемоглобина на ретробульбарный кровоток при СД 1 типа в детском и подростковом возрасте было проведено сравнение значений этих показателей в двух группах. Первую группу с “нормальным кровотоком по центральной артерии сетчатки” составляли 79 пациентов с СД 1 типа, вторую группу со “сниженным кровотоком по центральной артерии сетчатки” – 69 пациентов (табл. 3). На рис. 2, 3 приведены примеры ультразвуковой доплерографии неизмененного и сниженного кровотока по ЦАС и ЦВС у детей с СД 1 типа.

Данные табл. 3 свидетельствуют о наличии значимого повышения уровня триглицеридов и гликированного гемоглобина у пациентов с СД 1 типа с сниженным кровотоком по ЦАС.

Для оценки взаимосвязи между показателями липидного обмена, гликированного гемоглобина и показателями ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1 типа в детском возрасте был выполнен корреляционный анализ Спирмена с уровнем значимости $p < 0,05$, представленный в табл. 4.

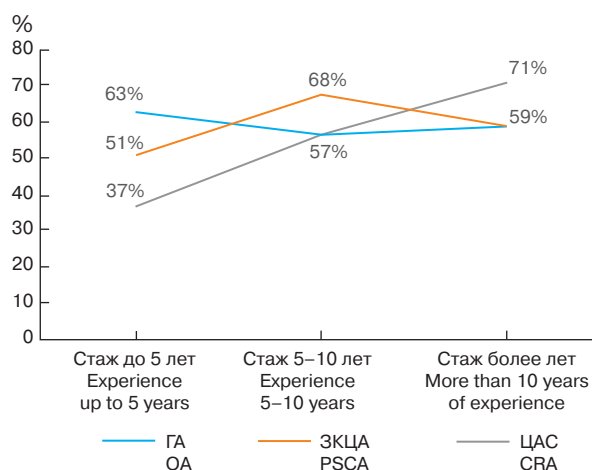


Рис. 1. Диаграмма “изменений” параметров кровотока ретробульбарных артерий при разной длительности сахарного диабета 1 типа у детей.

Fig. 1. Diagram of “Changes” in the blood flow parameters of the retrobulbar arteries with different durations of type 1 diabetes in children.



Таблица 3. Сравнение показателей липидного обмена и гликированного гемоглобина у пациентов с “нормальным кровотоком по центральной артерии сетчатки” и “сниженным кровотоком по центральной артерии сетчатки” (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 3. Comparison of lipid metabolism and glycated hemoglobin indices in patients with “normal blood flow through the central retinal artery” and “reduced blood flow through the central retinal artery” (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Сахарный диабет 1 типа Diabetes mellitus type 1 n = 148			Контроль Control (n = 38)			p
	медиана median	процентиля percentiles		медиана median	процентиля percentiles		
		25-й	75-й		25-й	75-й	
Холестерин Cholesterol	4.97	4.34	5.6	5.03	4.3	5.79	0.99
Триглицериды Triglycerides	0.70	0.57	1.06	0.86	0.70	1.21	0.00
ХС-ЛПНП LDL-C	2.7	2.0	3.3	2.6	2.0	3.4	0.94
ХС-ЛПВП HDL-C	1.96	1.5	2.23	1.96	1.4	2.2	0.62
HbA _{1c}	8.4	7.5	9.5	9.0	7.8	10.6	0.04

Примечание. Здесь и в табл. 4: ХС-ЛПНП – холестерин липопротеинов низкой плотности, ХС-ЛПВП – холестерин липопротеинов высокой плотности, HbA_{1c} – гликированный гемоглобин.

Note. Here and in the Table. 4: LDL-C – low-density lipoprotein cholesterol, HDL-C – high-density lipoprotein cholesterol, HbA_{1c} – glycated hemoglobin.

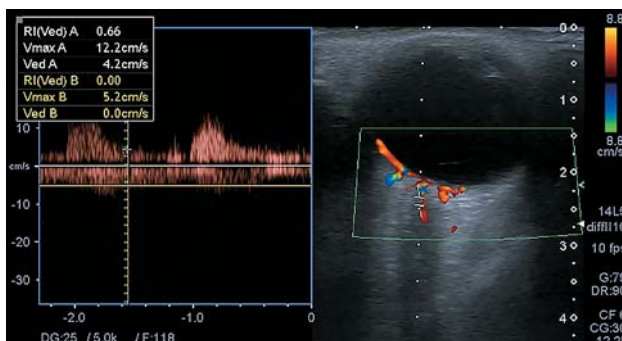


Рис. 2. Ультразвуковая доплерография неизменного кровотока центральной артерии сетчатки и центральной вены сетчатки у детей с сахарным диабетом 1 типа. ЛСК = 12,2 см/с, RI = 0,66; ЦВС ЛСК = 5,2 см/с.

Fig. 2. Doppler ultrasound of constant blood flow of the central retinal artery and central retinal vein in children with type 1 diabetes mellitus. LSC = 12.2 cm/sec, RI = 0.66; CVS LSK = 5.2 cm/sec.

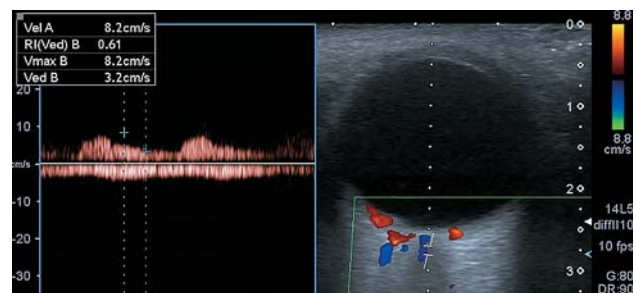


Рис. 3. Ультразвуковая доплерография сниженного кровотока центральной артерии сетчатки и центральной вены сетчатки у детей с сахарным диабетом 1 типа. ЛСК = 8,2 см/с, RI = 0,61; ЦВС ЛСК = 3,2 см/с.

Fig. 3. Doppler ultrasound of reduced central retinal artery and central retinal vein blood flow in children with type 1 diabetes mellitus. LSC = 8.2 cm/sec, RI = 0.61; CVS LSK = 3.2 cm/sec.



Таблица 4. Анализ взаимосвязи между показателями липидного обмена, гликированного гемоглобина и показателями ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1 типа в детском возрасте (критерий Спирмена, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 4. Analysis of the relationship between indicators of lipid metabolism, glycated hemoglobin and indicators of retrobulbar blood flow in patients with type 1 diabetes in childhood (Spearman test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	ГА, см/с OA, cm/s	ГА, RI OA, RI	ЦАС, см/с CRA, cm/s	ЦАС, RI CRA, RI	ЦВС, см/с CRV, cm/s	ЗКЦА, см/с PSCA, cm/s	ЗКЦА, RI PSCA, RI	ВГВ, см/с SOV, cm/s
Холестерин Cholesterol	0.05	0.11	-0.04	-0.01	0.07	-0.10	-0.12	0.03
Триглицериды Triglycerides	0.26*	0.02	-0.17*	-0.08	-0.13	0.10	-0.09	0.02
ХС-ЛПНП LDL-C	0.13	0.04	0.08	-0.04	-0.01	-0.18*	-0.15	0.05
ХС-ЛПВП HDL-C	0.00	0.18*	0.04	0.22*	0.16*	0.02	0.16*	-0.09
HbA _{1c}	0.06	0.05	-0.41*	-0.06	0.06	-0.21*	-0.10	0.15

* – взаимосвязи показателей с уровнем значимости $p < 0.05$.

* – correlation of indicators with significance level $p < 0.05$.

Результаты анализа, представленные в табл. 4, показывают наличие слабой связи между отдельными показателями липидного обмена и ретробульбарного кровотока. Уровень триглицеридов имеет положительную прямо пропорциональную связь с скоростью кровотока по ГА и обратно пропорциональную связь с скоростью по ЦАС, следовательно, его повышение сопровождается увеличением скорости по ГА и снижением скорости по ЦАС. Холестерин липопротеинов низкой плотности имеет обратно пропорциональную зависимость со скоростью по ЗКЦА, его увеличение сопровождается снижением скорости кровотока по ЗКЦА. Холестерин липопротеинов высокой плотности имеет прямо пропорциональную зависимость с индексами периферического сопротивления ГА, ЗКЦА, ЦАС и скоростью кровотока по ЦВС, следовательно, его увеличение сопровождается повышением зависимых показателей. Гликированный гемоглобин имеет обратно пропорциональную зависимость с скоростью кровотока по ЦАС и ЗКЦА, его увеличение сопровождается снижением скорости кровотока по данным сосудам.

Спектр кровотока ретробульбарных сосудов у всех пациентов вне зависимости от сроков заболевания сохранялся магистральным, симметричным, изменений выявлено не было.

Обсуждение

Выявленное устойчивое снижение скорости кровотока по ЦАС, ЗКЦА у пациентов с СД 1 типа в детском возрасте без изменений на глазном дне согласуются с библиографическими данными ряда авторов [4, 9, 11]. Авторы считают, что выяв-

ленные изменения характерны для ишемии внутреннего слоя сетчатки, внутреннего слоя сосудистой оболочки, а также части диска зрительного нерва в ответ на длительную гипергликемию. Многие исследователи утверждают, что изменения гемодинамики ретробульбарных сосудов возникают раньше сосудистых изменений на глазном дне по ретинальным сосудам [4, 9, 11].

Полученные нами данные о преобладании зарегистрированных изменений гемодинамики ГА в первые 5 лет СД 1 типа в виде слабовыраженного увеличения скорости кровотока и периферического сопротивления свидетельствуют о высокой чувствительности показателей к первичным изменениям сосудистой стенки, включающим утолщение базальной мембраны, отложение гиалина и снижение эластичности стенки в ответ на гипергликемию. Несмотря на отсутствие в результатах проведенного исследования устойчивых статистически значимых различий скорости кровотока и периферического сопротивления в группах с СД 1 типа и контрольной группой, мы считаем, что изменения кровотока ГА необходимо учитывать при анализе нарушений кровоснабжения глаз у пациентов с СД 1 типа. Принимая во внимание результаты исследовательских работ в данной области, повышение периферического сопротивления и снижение скорости кровотока по ГА можно использовать в качестве прогностического показателя развития тяжелой формы ДР [9, 12].

Увеличение количества изменений в сосудах малого диаметра, а именно ЗКЦА и ЦАС, со стажем СД 1 типа 5–10 лет и более 10 лет соответствует прогрессированию изменений сосудистой



стенки в виде уменьшения просвета сосудов, повышения периферического сопротивления, снижения скорости кровотока и развития ишемии. Наши данные по этому вопросу согласуются с литературными данными [9, 10]. Наряду с указанными результатами при исследовании кровотока по ЗКЦА при длительности СД 1 типа более 10 лет у достаточного количества пациентов наблюдалась противоположная картина, а именно: снижение частоты встречаемости нарушений кровотока по данному сосуду. Данный факт, выявленный в нашем исследовании, а также опубликованный в библиографических источниках, трактуется как результат активации анастомозов при увеличении ретинального кровотока, развивающегося при длительном течении СД [9].

Нарастающее увеличение количества наблюдений с изменениями кровотока в ЦАС, а именно: снижение скорости кровотока при увеличении длительности СД 1 типа более 10 лет, характеризует устойчивую тенденцию к ишемии внутреннего слоя сетчатки. Принимая во внимание статистически значимое снижение скорости по ЦАС в группе с СД 1 типа при сравнении с контрольной группой, ультразвуковую оценку кровотока по ЦАС можно отнести к надежным показателям для динамического наблюдения изменений гемодинамики глаз у детей и подростков с СД 1 типа (см. рис. 1).

Влияние факторов риска, дислипидемии и гипергликемии на кровоток по ЦАС, представленное в табл. 3, согласуется с данными литературы, указывающими на отрицательное влияние сочетания этих факторов на ретинальный кровоток, сопровождающееся микрососудистыми повреждениями сетчатки с прогрессированием диабетического макулярного отека и ростом риска развития ДР [5, 9–11, 14, 15]. Установленная значимая корреляция уровня триглицеридов, отрицательная со скоростью кровотока ЦАС и положительная со скоростью ГА, согласуется с утверждением о вкладе дислипидемии в развитие нарушений ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1 типа в детском и подростковом возрасте (см. табл. 4). Отрицательная корреляция гликированного гемоглобина со скоростью кровотока по ЦАС и ЗКЦА соответствует данным литературы об отрицательном влиянии хронической гипергликемии на кровоснабжение глаза и повышении рисков развития ДР [3, 5, 8, 10, 15, 16].

Полученные результаты исследования подтверждают наличие изменений гемодинамики ретробульбарных сосудов при СД 1 типа у детей в ответ на влияние факторов риска и создают условия для использования УЗИ в оценке нарушений кровоснабжения глаза.

Выводы

1. Ультразвуковые изменения гемодинамики у пациентов с сахарным диабетом 1 типа в детском и подростковом возрасте регистрируются до появления сосудистых изменений на глазном дне.

2. Длительность заболевания, дислипидемия, гипергликемия приводят к ультразвуковым изменениям ретробульбарного кровотока у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа.

3. Ультразвуковую скорость кровотока по центральной артерии сетчатки можно использовать для динамического наблюдения изменений кровоснабжения ретробульбарного кровотока при сахарном диабете 1 типа у детей и подростков.

Участие авторов

Фомина С.В. – написание статьи, сбор данных, анализ и интерпретация данных, оформление рукописи.

Самойлова Ю.Г., Завадовская В.Д. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Кошмелева М.В., Трифонова Е.И., Качанов Д.А., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. – сбор данных, поиск литературы, проверка интеллектуального содержания.

Authors' participation

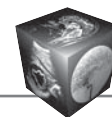
Fomina S.V. – article writing, data collection, data analysis and interpretation, manuscript preparation.

Samoilova I.G., Zavadovskaya V.D. – development of the concept and design of the publication, verification of intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Koshmeleva M.V., Trifonova E.I., Kachanov D.A., Zorkaltsev M.A., Yun V.E. – data collection, literature search, intellectual content check.

Список литературы

1. Билецкая В.А., Липатов Д.В., Саяпина И.Ю., Фролов М.А., Сургуч В.К. Маркеры пролиферативной диабетической ретинопатии. *Офтальмология*. 2022; 19 (3): 557–564. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-557-564>
2. Дедов И.И., Шестакова М. В., Викулова О.К., Железнякова А.В., Исаков М.А., Серков А.А., Мокрышева Н.Г. Динамика эпидемиологических показателей сахарного диабета в Российской Федерации за период 2017–2021 гг.: Сборник тезисов IX (XXVIII) Национального диабетологического конгресса с международным участием “Сахарный диабет и ожирение – неинфекционные междисциплинарные пандемии XXI века”, 05–08 сентября 2022 г. М., 2022.
3. Демидова Т.Ю., Кожевников А.А. Диабетическая ретинопатия: история, современные подходы к ведению, перспективные взгляды на профилактику и лечение. *Сахарный диабет*. 2020; 23 (1): 95–105. <https://doi.org/10.14341/DM10273>



4. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Рамазанова К.А., Луговкина К.В. Возможности цветного дуплексного сканирования в диагностике сосудистой патологии глаза. *Российский офтальмологический журнал*. 2018; 11 (3): 84–94. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-84-94>
5. Кошмелева М.В., Самойлова Ю.Г., Фомина С.В., Трифонова Е.И., Качанов Д.А., Юн В.Э., Гаун М.С., Кудлай Д.А., Кошкарлова М.А., Погосян Л.А., Новоселова Е.Г. Индексы вариабельности гликемии как основа построения прогностической модели развития диабетических осложнений. *Молекулярная медицина*. 2023; 21 (6): 13–19. <https://doi.org/10.29296/24999490-2023-06-02>
6. Скрининг на диабетическую ретинопатию: Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда: Краткое руководство. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2021. Лицензия: CCBY-NC-SA3.0IGO.
7. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Луговкина К.В. Вопросы безопасности диагностического ультразвука в офтальмологии. *Офтальмология*. 2018; 15 (4): 447–454. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-4-447-454>
8. Ультразвуковое исследование в офтальмологии: Руководство для врачей / Под ред. В.В. Нероева и Т.Н. Киселевой. 1-е изд. М.: Изд-во ИКАР, 2019. 324 с.
9. Divya K., Kanagaraju V., Devanand B. et al. Evaluation of retrobulbar circulation in type 2 diabetic patients using color Doppler imaging. *Indian J. Ophthalmol.* 2020; 68 (6): 1108–1114. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1398_19
10. Khatri M., Saxena S., Kumar M. et al. Resistive index of central retinal artery is a bioimaging biomarker for severity of diabetic retinopathy. *Int. J. Retina Vitreous*. 2019; 5: 38. <https://doi.org/10.1186/s40942-019-0189-4>
11. Madhpuriya G., Gokhale S., Agrawal A. et al. Evaluation of Hemodynamic Changes in Retrobulbar Blood Vessels Using Color Doppler Imaging in Diabetic Patients. *Life (Basel)*. 2022; 12 (5): 629. <https://doi.org/10.3390/life12050629>
12. Ozates S., Derinkuyu B.E., Elgin U. et al. Early Ophthalmic Artery Blood Flow Parameter Changes in Patients with Type 1 Diabetes Mellitus. *Beyoglu Eye J.* 2020; 5 (1): 17–21. <https://doi.org/10.14744/bej.2020.15238>
13. Wang Q., Zeng N., Tang H. et al. Diabetic retinopathy risk prediction in patients with type 2 diabetes mellitus using a nomogram model. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022; 13: 993423. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.993423>
14. Rao H., Jalali J.A., Johnston T.P., Koulen P. Emerging Roles of Dyslipidemia and Hyperglycemia in Diabetic Retinopathy: Molecular Mechanisms and Clinical Perspectives. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2021; 12: 620045. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.620045>
15. Clinical Predictors of Diabetic Retinopathy Progression; A Systematic Review. Ghamdi AHA. *Curr. Diabetes Rev.* 2020; 16 (3): 242–247. <https://doi.org/10.2174/1573399815666190215120435>
16. Hainsworth D.P., Bebu I., Aiello L.P. Risk factors for retinopathy in type 1 diabetes: the DCCT/EDIC study. *Diabetes Care*. 2019; 42: 875–882. <https://doi.org/10.2337/dc18-2308>

References

1. Biletskaya V.A., Lipatov D.V., Sayapina I.Yu. et al. Markers of proliferative diabetic retinopathy. *Ophthalmology*. 2022; 19 (3): 557–564. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-557-564> (In Russian)
2. Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. et al. Dynamics of epidemiological indicators of diabetes mellitus in the Russian Federation for the period 2017–2021: Collection of abstracts IX (XXVIII) National Diabetology Congress with international participation “Diabetes mellitus and obesity – non-infectious interdisciplinary pandemics of the 21st century”, September 05–08, 2022. Moscow, 2022. (In Russian)
3. Demidova T.Yu., Kozhevnikov A.A. Diabetic retinopathy: history, modern approaches to management, promising views on prevention and treatment. *Diabetes Mellitus*. 2020; 23 (1): 95–105. <https://doi.org/10.14341/DM10273> (In Russian)
4. Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Ramazanov K.A., Lugovkina K.V. Possibilities of color duplex scanning in the diagnosis of vascular pathology of the eye. *Russian Ophthalmological Journal*. 2018; 11 (3): 84–94. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-84-94> (In Russian)
5. Koshmeleva M.V., Samoilova Yu.G., Fomina S.V. et al. Glycemic variability indices as the basis for constructing a prognostic model for the development of diabetic complications. *Molecular Medicine*. 2023; 21 (6): 13–19. <https://doi.org/10.29296/24999490-2023-06-02> (In Russian)
6. Screening for diabetic retinopathy: Improving effectiveness, maximizing benefit, and minimizing harm: Quick guide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2021. License: CCBY-NC-SA3.0IGO (In Russian)
7. Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Lugovkina K.V. Safety issues of diagnostic ultrasound in ophthalmology. *Ophthalmology*. 2018; 15 (4): 447–454. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-4-447-454> (In Russian)
8. Ultrasound examination in ophthalmology: A guide for doctors / Eds V.V. Nerov and T.N. Kiseleva. 1st ed. Moscow: ICAR; 2019. 324 p. (In Russian)
9. Divya K., Kanagaraju V., Devanand B. et al. Evaluation of retrobulbar circulation in type 2 diabetic patients using color Doppler imaging. *Indian J. Ophthalmol.* 2020; 68 (6): 1108–1114. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1398_19
10. Khatri M., Saxena S., Kumar M. et al. Resistive index of central retinal artery is a bioimaging biomarker for severity of diabetic retinopathy. *Int. J. Retina Vitreous*. 2019; 5: 38. <https://doi.org/10.1186/s40942-019-0189-4>
11. Madhpuriya G., Gokhale S., Agrawal A. et al. Evaluation of Hemodynamic Changes in Retrobulbar Blood Vessels Using Color Doppler Imaging in Diabetic Patients. *Life (Basel)*. 2022; 12 (5): 629. <https://doi.org/10.3390/life12050629>
12. Ozates S., Derinkuyu B.E., Elgin U. et al. Early Ophthalmic Artery Blood Flow Parameter Changes in Patients with Type 1 Diabetes Mellitus. *Beyoglu Eye J.* 2020; 5 (1): 17–21. <https://doi.org/10.14744/bej.2020.15238>
13. Wang Q., Zeng N., Tang H. et al. Diabetic retinopathy risk prediction in patients with type 2 diabetes mellitus using



- a nomogram model. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022; 13: 993423. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.993423>
14. Rao H., Jalali J.A., Johnston T.P., Koulen P. Emerging Roles of Dyslipidemia and Hyperglycemia in Diabetic Retinopathy: Molecular Mechanisms and Clinical Perspectives. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2021; 12: 620045. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.620045>
15. Clinical Predictors of Diabetic Retinopathy Progression; A Systematic Review. Ghamdi AHA. *Curr. Diabetes Rev.* 2020; 16 (3): 242–247. <https://doi.org/10.2174/1573399815666190215120435>
16. Hainsworth D.P., Bebu I., Aiello L.P. Risk factors for retinopathy in type 1 diabetes: the DCCT/EDIC study. *Diabetes Care*. 2019; 42: 875–882. <https://doi.org/10.2337/dc18-2308>

Для корреспонденции*: Фомина Светлана Викторовна – e-mail: statfom@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>

Самойлова Юлия Геннадьевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Кошмелева Марина Владиславовна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

Завадовская Вера Дмитриевна – доктор мед. наук, профессор, и.о. зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>

Трифоновна Екатерина Ивановна – ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Качанов Дмитрий Андреевич – лаборант-исследователь кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Зоркальцев Максим Александрович – доктор мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>

Юн Вера Эдуардовна – ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-9127-8619>

Contact*: Svetlana V. Fomina – e-mail: statfom@mail.ru

Svetlana V. Fomina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the 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>

Iuliia G. Samoilova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Marina V. Koshmeleva – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

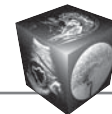
Vera D. Zavadovskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>

Ekaterina I. Trifonova – Assistant of the department of pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Dmitriy A. Kachanov – Laboratory researcher at the Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Maxim A. Zorkaltsev – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>

Vera E. Yun – Assistant of the department of pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-9127-8619>



Грудная клетка | Thorax

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1444>

Лучевая диагностика одиночной гемангиоэндотелиомы легкого в сочетании с атипичным карциноидом: обзор литературы и клиническое наблюдение

© Котляров П.М.^{1*}, Солдатов Д.Г.², Сергеев Н.И.^{1, 2},
Лагкуева И.Д.¹, Рагимов В.А.¹, Егорова Е.В.¹, Солодкий В.А.¹

¹ ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

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

Представлено клиническое наблюдение эпителиоидной гемангиоэндотелиомы (ЭГЭЛ) в сочетании с атипичным карциноидом легкого. По данным компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной томографии в нижней доле правого легкого выявлено образование солидно-жидкостного характера, связанное с нижнедолевой артерией, незначительно накапливающее при ПЭТ ¹⁸F-ФДГ. КТ- и ПЭТ-мониторинг на протяжении 6 лет не выявлял отрицательной динамики очага. После перенесенной COVID-19-ассоциированной пневмонии у пациентки появились эпизоды кровохарканья, одышка. КТ и ПЭТ выявили увеличение размеров очагового образования в С6 правого легкого, значительный рост метаболической активности, накопление радионуклида в лимфатических узлах средостения, остистом отростке тела Th₁₁-позвонка. При нижней билобэктомии была выявлена ЭГЭЛ и прилежащий к ней ранее не распознанный атипичный карциноид с метастазами в бифуркационные лимфатические узлы.

Ключевые слова: эндотелиальная гемангиоэндотелиома легких; атипичный карциноид; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; ПЭТ/КТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Котляров П.М., Солдатов Д.Г., Сергеев Н.И., Лагкуева И.Д., Рагимов В.А., Егорова Е.В., Солодкий В.А. Лучевая диагностика одиночной гемангиоэндотелиомы легкого в сочетании с атипичным карциноидом: обзор литературы и клиническое наблюдение. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 127–135. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1444>

Поступила в редакцию: 07.02.2024. **Принята к печати:** 19.03.2024. **Опубликована online:** 10.07.2024.

Radiation diagnosis of single lung hemangioendothelioma in combination with atypical carcinoid – literature review and clinical observation

© Petr M. Kotlyarov^{1*}, Dmitry G. Soldatov², Nikolay I. Sergeev^{1, 2}, Irina D. Lagkueva¹,
Vadim A. Ragimov¹, Ekaterina V. Egorova¹, Vladimir A. Solodkiy¹

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

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



A clinical case of epithelioid hemangioendothelioma (EHEL) in combination with atypical lung carcinoid (AC) is presented. According to computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI) in the lower lobe of the right, a solid-fluid formation was easily identified, associated with the lower lobe artery, slightly accumulating ^{18}F -FDG. CT and PET monitoring for 6 years did not reveal any negative dynamics of the lesion. After suffering from COVID-19 associated pneumonia, the patient developed episodes of hemoptysis and shortness of breath. CT and PET scans revealed an increase in the size of a focal formation in C6 of the right lung, a significant increase in metabolic activity, and accumulation of radionuclide in the mediastinal lymph nodes and the spinous process of the Th11 vertebral body. Lower bilobectomy revealed EHEL and a previously unrecognized atypical carcinoid with metastases to the bifurcation lymph nodes.

Keywords: pulmonary endothelial hemangioendothelioma; atypical carcinoid; computed tomography; magnetic resonance imaging; PET/CT

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

For citation: Kotlyarov P.M., Soldatov D.G., Sergeev N.I., Lagkueva I.D., Ragimov V.A., Egorova E.V., Solodkiy V.A. Radiation diagnosis of single lung hemangioendothelioma in combination with atypical carcinoid – literature review and clinical observation. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 127–135. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1444>

Received: 07.02.2024.

Accepted for publication: 19.03.2024.

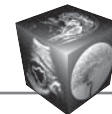
Published online: 10.07.2024.

Введение

Эпителиоидная гемангиоэндотелиома легких (ЭГЭЛ) относится к числу редко встречающихся опухолей. Частота встречаемости не превышает 1 случай на 1 млн населения в год. ЭГЭЛ, по мнению ряда авторов, представляет собой редкую опухоль низкой и средней степени злокачественности, которая происходит из эндотелиальных клеток сосудов [1]. Впервые ЭГЭЛ была описана в 1975 г. как внутрисосудистая бронхоальвеолярная опухоль легкого [2], в 1982 г. был введен термин “эпителиоидная гемангиоэндотелиома” [3]. К 2004 г. в литературе было описано не более 50 случаев поражения легких ЭГЭ, на сегодняшний день во всем мире зарегистрировано около 160 случаев ЭГЭЛ [4–6]. У большинства пациентов ЭГЭЛ протекает бессимптомно, случайно обнаруживается при диспансерном наблюдении и длительное время протекает без отрицательной динамики, опухоль чаще всего возникает у женщин. В случаях увеличения, роста опухоли появляются боль в груди, кашель, потеря массы тела, кровохарканье, одышка. К осложнениям ЭГЭЛ относятся плевральный выпот, метастазы различной локализации [7, 8]. По данным компьютерно-томографического исследования описано 3 варианта макроструктурных изменений в легких при ЭГЭЛ: множественные мелкоочаговые образования, очаги по типу “матового стекла”, уплотнения плевры диффузного характера [9–11]. В большинстве случаев наблюдаются многоочаговые поражения [12, 13]. Типичными рентгенологическими признаками ЭГЭЛ считаются множественные очажки небольшого размера (диаметром <2 см), неправильной формы, с точечной кальцификацией и реакцией плевры [14]. Описаны единичные случаи ЭГЭЛ в виде одиночного узла диаметром до 5 см [15].

Карциноиды – нейроэндокринные опухоли (НЭО) – представляют собой редкую гетерогенную группу злокачественных новообразований, которые возникают из нейроэндокринных клеток по всему организму, наиболее часто поражаются легкие и желудочно-кишечный тракт. Атипичные карциноиды легкого (АКЛ) – редкое образование легкого, составляют 0,2–2 пациента на 100 000 населения [16, 17]. Различают высокодифференцированные и среднедифференцированные типы НЭО легких (типичные и атипичные карциноиды) [18]. КТ является основным методом диагностики карциноидов, позволяющая выявить объемное образование легкого, прилежащее к бронху, определить его границы, наличие ателектаза или пневмонического инфильтрата в результате бронхиальной обструкции, выявить наличие лимфаденопатии. Магнитно-резонансная томография (МРТ) менее чувствительна, чем КТ, для обнаружения небольших поражений легких [19, 20]. ПЭТ/КТ рекомендуется проводить до операции, чтобы определить, можно ли использовать метод для послеоперационного наблюдения, определения стадии заболевания. ПЭТ с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой (ФДГ) не всегда позволяет выявить карциноид, так как карциноиды часто имеют низкое поглощение радионуклида, чем при раке легкого [21, 22].

В доступной литературе нами не найдено работ о сочетанной локализации ЭГЭЛ и АКЛ в одном очаговом поражении легкого. Представляем редкое клиническое наблюдение пациентки с одиночным очагом ЭГЭЛ и прилежавшим к ней атипичным карциноидом нижней доли правого легкого. Пациентка находилась под динамическим наблюдением на протяжении 7 лет до появления отрицательной динамики – увеличения размеров и метаболической активности очага, клиниче-



ских проявлений в виде кровохарканья и одышки, появившихся после перенесенной COVID-19-ассоциированной пневмонии.

Клиническое наблюдение

Пациентка В., 1949 года рождения, жалоб со стороны легких не предъявляла, при диспансеризации при КТ грудной клетки (без контрастного усиления) от 29.05.2016 в 6 сегменте нижней доли правого легкого было выявлено образование, локализирующееся у ствола нижнедолевой легочной артерии, размерами 15×10 мм, прилежащее к междолевой плевре, с четкими контурами, однородной макроструктуры. Данных об увеличении лимфатических узлов области исследования, других очаговых изменений получено не было (рис. 1а, б).

По данным ПЭТ/КТ от 30.11.2016 было подтверждено наличие данного образования с накоплением в нем ^{18}F -ФДГ $\text{SUV}_{\text{max}} 3,8$ (рис. 1в). Размеры очагового образования по сравнению с данными КТ от 29.05.2016 – без существенной динамики. 13.03.2018 выполнена контрольная ПЭТ/КТ – по сравнению с данными ПЭТ/КТ от 30.11.2016 – без убедительной отрицательной динамики, размеры очага $15 \times 10 \times 15$ мм с накоплением контрастного вещества (в нативной фазе 47 HU, в артериальной фазе 50 HU, венозной фазе 67 HU), накопление радионуклида в образовании составляло $\text{SUV}_{\text{max}} 3,0-4,0$. Лимфатические узлы зоны исследования без признаков патологических изменений. 19.03.2018 попытка верификации образования под контролем видеобронхоскопии не удалась из-за тотального бронхоспазма у пациентки. Трансторакальная биопсия под контролем КТ не проводилась из-за прилегания очага к легочной артерии и опасности кровотечения. 03.04.2018 для уточнения внутренней макроструктуры образования выполнена МРТ органов грудной клетки с внутривенным введением парамагнетика в T1, T2ВИ, T2 с подавлением

сигнала от жировой ткани, диффузионно-взвешенные изображения. В 6 сегменте правой доли легкого определялось гиперинтенсивное образование в T2ВИ и T2-fatsat с наличием гипоинтенсивных мягкотканых и перегородочных структур. Образование накапливало парамагнетик, прилежало к нижнедолевой ветви правой легочной артерии, с которой было связано структурами типа “ножек”. **Заключение:** образование легкого сосудистого генеза, гемангиома (?) (рис. 2а, б).

Динамический КТ-мониторинг органов грудной клетки 04.2019, 03.2020, 05.2021 не выявлял отрицательной динамики размеров образования, появления новых очагов в других отделах легких. В мае–июне 2022 г. пациентка перенесла COVID-19-ассоциированную пневмонию средней степени тяжести, подтвержденную методом ПЦР с поражением по данным рентгенографии нижних долей легких. В декабре 2022 г. – январе 2023 г. у пациентки появились эпизоды кровохарканья, одышка при физической нагрузке. 15.02.2023 была выполнена КТ органов грудной клетки, при которой определялась отрицательная динамика: увеличение образования до 26×19 мм (ранее 10×15 мм), появление инфильтрации междолевой плевры. Кроме того, в С6 появились зона “матового стекла”, фиброзные тяжи, прилежащие к образованию, которые были расценены как последствия перенесенной пациенткой вирусной пневмонии (рис. 3а–в).

Определялась двусторонняя лимфаденопатия бронхопультмональных, бифуркационных, нижних паратрахеальных лимфатических узлов до 8–10 мм. 15.02.2023 была выполнена ПЭТ/КТ, подтвердившая отрицательную динамику развития патологического очага в С6 – накопления в нем ^{18}F -ФДГ SUV_{max} до 8,26 (ранее $\text{SUV}_{\text{max}} 3,8-4,0$), лимфатических узлах $\text{SUV}_{\text{max}} 9,8$ (ранее не определялось). Также был выявлен очаг гиперфиксации радионуклида в остистом отростке тела Th_{II} грудного отдела позвоночника (рис. 4а, б, в). **Заключение:** отри-



Рис. 1. КТ грудной клетки от 17.11.2016 с контрастным усилением. **а** – аксиальный срез: определяется образование в С6 правого легкого, прилежащее к нижнедолевому бронху, междолевой плевре; **б** – артериальная фаза: образование накапливает контрастное вещество; **в** – ПЭТ/КТ от 30.11.2016: – накопление ^{18}F -ФДГ в очаге $\text{SUV}_{\text{max}} 3,8-4,0$.

Fig. 1. CT scan of the chest dated 17.11.2016 with contrast enhancement. **а** – axial section: a formation is determined in С6 of the right lung, adjacent to lower lobe bronchi, interlobar pleura; **б** – arterial phase: the formation accumulates contrast agent; **в** – PET/CT from 30.11.2016: accumulation of ^{18}F -FDG in the lesion $\text{SUV}_{\text{max}} 3.8-4.0$.



цательная динамика – увеличение метаболической активности образования правого легкого, появление метаболической активности внутригрудных лимфатических узлов, гиперметаболического очага в остистом отростке тела Th_{II}-позвонка. Выполнена МРТ грудного отдела позвоночника с парамагнетиком, при которой в остистом отростке тела Th_{II}-позвонка подтвердилось очаговое образование – гиперинтенсивность в T2-fatsat и накопление в очаге парамагнетика (рис. 5а, б). 21.03.2023 под КТ-навигацией произведена пункция очагового образования в правом легком, полученный материал направлен на морфологическое исследование. **Заключение:** морфологическая картина и иммуно-

фенотип эпителиоидной гемангиоэндотелиомы легкого (рис. 6а, б). Пациентке была выполнена видеоторакоскопия справа, ревизия плевральной полости, произведены нижняя билобэктомия, лимфаденэктомия средостения, дренирование плевральной полости. На разрезе в нижней доле легкого определялся узел размерами 16 × 9 × 15 мм, плотноэластической консистенции, связанный со стенкой легочной артерии, в виде пролиферации из атипичных клеток эпителиоидного вида, без признаков инвазии. На расстоянии менее 1 мм от основного узла выявлено второе узловое образование до 2 мм диаметре, расположенный в стенке бронха, с перинеуральной, лимфоваскулярной и венозной ин-

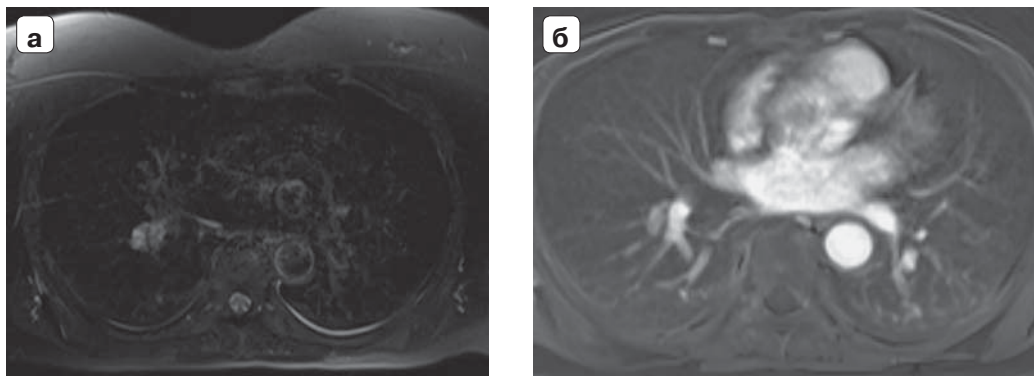


Рис. 2. МРТ грудной клетки с парамагнетиком. **а** – T2-fatsat: в С6 правого легкого определяется гиперинтенсивное образование с гипоинтенсивными перегородками и солидными структурами; **б** – T1-fatsat с парамагнетиком: образование накапливает контрастное вещество и связано с нижнедолевой легочной артерией.

Fig. 2. MRI of the chest with a paramagnetic. **a** – T2-fatsat: in C6 of the right lung a hyperintense formation with hypointense septa and solid structures is determined; **б** – T1fatsat with a paramagnetic: the formation accumulates a contrast agent associated with the lower lobe pulmonary artery.

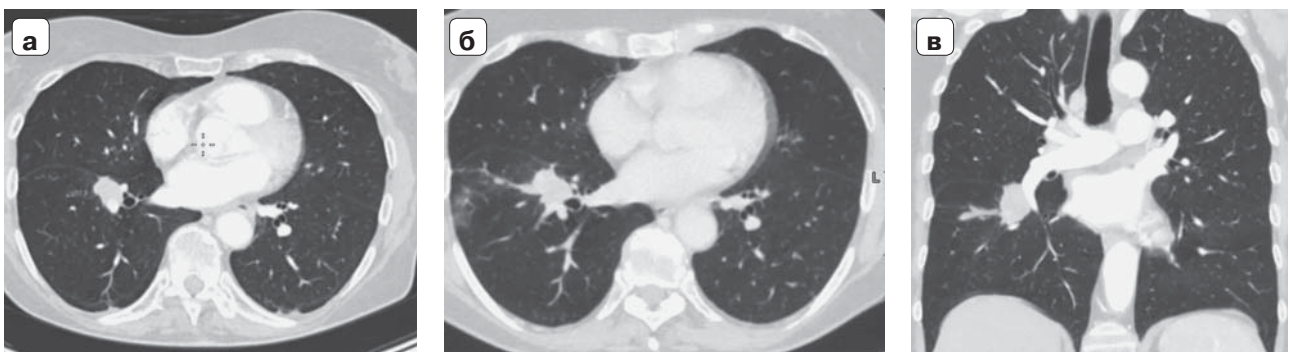


Рис. 3. КТ грудной клетки от 15.02.2023 с контрастным усилением. **а** – аксиальный срез: определяется увеличение образования в С6 правого легкого до 26 × 19 мм, инфильтрация междолевой плевры; **б** – постковидные изменения в нижней доле: зона “матового стекла”, фиброзные тяжи; **в** – фронтальная реконструкция: прилежание образования к нижнедолевой легочной артерии, фиброзный тяж к очагу.

Fig. 3. CT scan of the chest from 15.02.2023 with contrast enhancement. **a** – axial section: an increase in the formation in C6 of the right lung to 26 × 19 mm is determined, infiltration of the interlobar pleura; **б** – postcovid changes in the lower lobe: ground glass zone, fibrous cords; **в** – frontal reconstruction: adhesion of the formation to the lower lobe pulmonary artery, fibrous cord to the lesion.

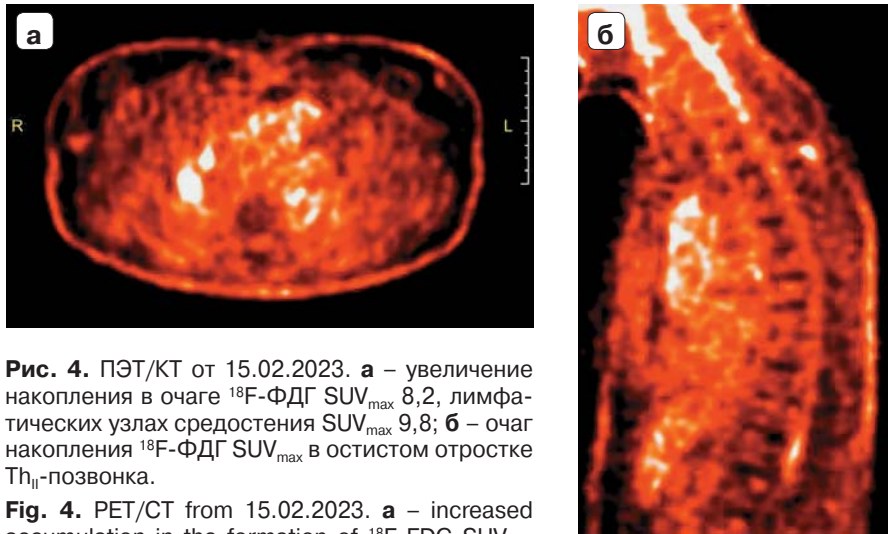


Рис. 4. ПЭТ/КТ от 15.02.2023. **а** – увеличение накопления в очаге ^{18}F -ФДГ SUV_{max} 8,2, лимфатических узлах средостения SUV_{max} 9,8; **б** – очаг накопления ^{18}F -ФДГ SUV_{max} в остистом отростке Th_{11} -позвонка.

Fig. 4. PET/CT from 15.02.2023. **a** – increased accumulation in the formation of ^{18}F -FDG SUV_{max} 8.2, mediastinal lymph nodes SUV_{max} 9.8; **б** – focus of accumulation of ^{18}F -FDG SUV_{max} in the spinous process of the Th_{11} vertebra.

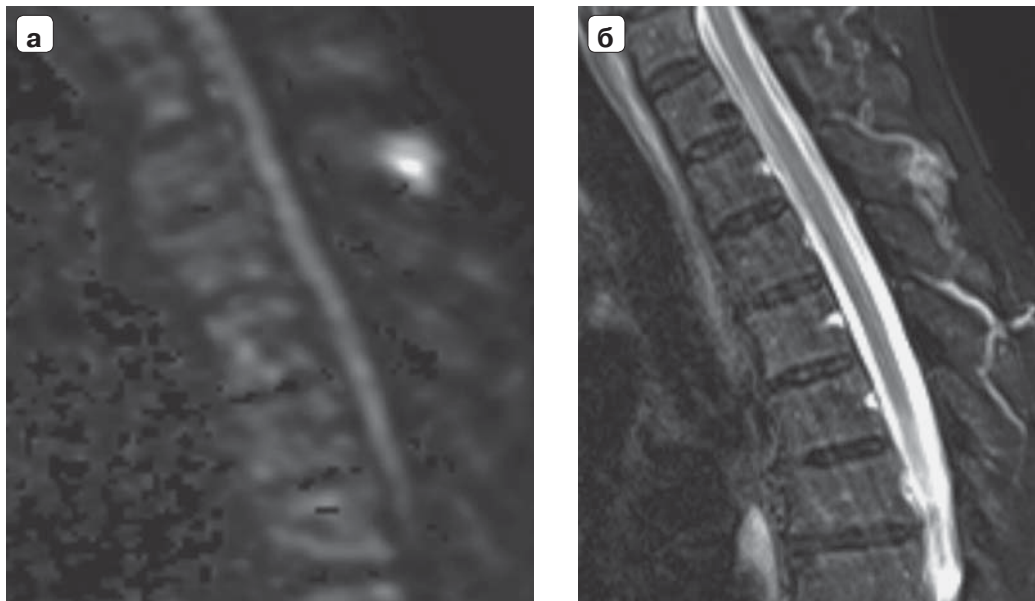


Рис. 5. МРТ грудного отдела позвоночника с парамагнетиком. **а** – T2-fatsat: гиперинтенсивный очаг в остистом отростке Th_{11} ; **б** – T1-fatsat с парамагнетиком: очаговое накопление парамагнетика в остистом отростке Th_{11} .

Fig. 5. MRI of the thoracic spine with a paramagnetic. **a** – T2-fatsat: hyperintense focus in the spinous process of Th_{11} ; **б** – T1-fatsat with paramagnetic: focal accumulation of paramagnetic in the spinous process of Th_{11} .

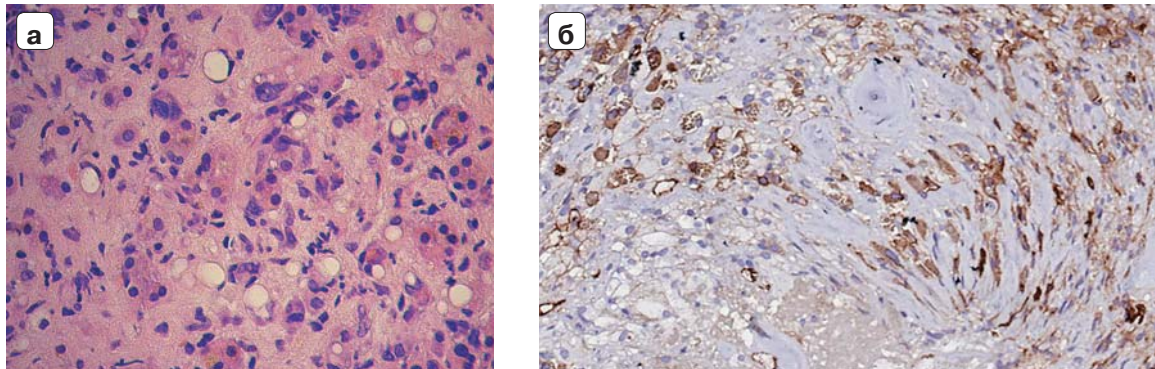


Рис. 6. Мезенхимальный компонент опухоли легкого (ЭГЭЛ). **а** – окрашивание гематоксилином и эозином. $\times 100$. Клетки с эозинофильной цитоплазмой и овальными гиперхромными ядрами. Вакуолизация цитоплазмы части клеток гемангиоэндотелиомы. Очаги некроза не обнаружены. Митозы в клетках опухоли 4 mf/10 HPF. Степень злокачественности опухоли – 1 (по системе FNCLCC); **б** – иммуногистохимическое исследование. $\times 200$. Окрашивание клеток эпителиоидной гемангиоэндотелиомы моноклональными антителами к CD34; детекция – пероксидаза.

Fig. 6. Mesenchymal component of a lung tumor (EHEL). **a** – staining with hematoxylin and eosin. $\times 100$. Cells with eosinophilic cytoplasm and oval hyperchromatic nuclei. Vacuolization of the cytoplasm of some hemangioendothelioma cells. No foci of necrosis were found. Mitoses in tumor cells are 4 mf/10 HPF. The degree of malignancy of the tumor is 1 (according to the FNCLCC system); **b** – immunohistochemical study. $\times 200$. Staining of epithelioid hemangioendothelioma cells with monoclonal antibodies to CD34; detection – peroxidase.

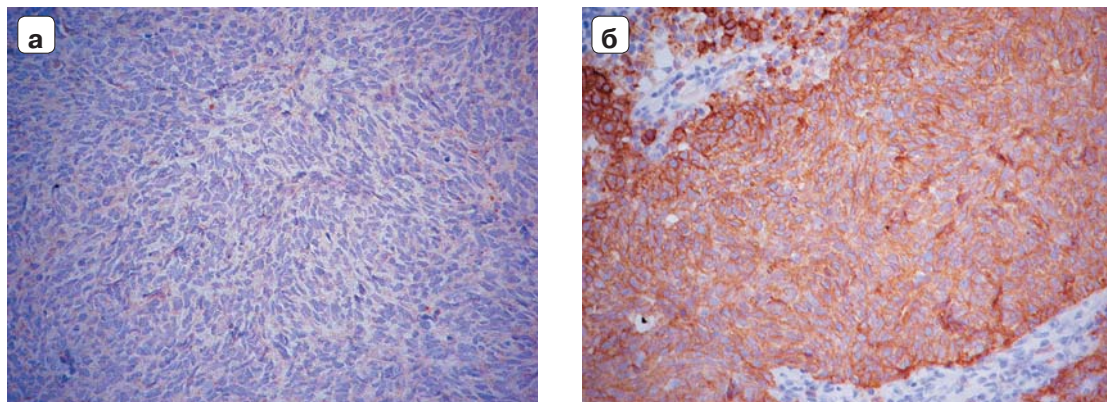
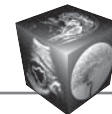


Рис. 7. Нейроэндокринный компонент опухоли (атипичный карциноид), обнаруженный при оперативном вмешательстве. **а** – окрашивание гематоксилином и эозином. $\times 100$. Мелкие клетки с компактной цитоплазмой и гиперхромными круглыми ядрами. Строма опухоли не сформирована. Очаг некроза (менее 5% ткани опухоли). Митозы в клетках опухоли 6 mf/10 HPF. Гистологическая степень злокачественности – WHO grade 2, соответствует атипичному карциноиду легкого; **б** – иммуногистохимическое исследование. $\times 100$. Окрашивание клеток карциноида моноклональными антителами к синаптофизину; детекция – пероксидаза.

Fig. 7. Neuroendocrine component of the tumor (AC) detected during surgery. **a** – hematoxylin and eosin staining. $\times 100$. Small cells with compact cytoplasm and hyperchromatic round nuclei. The tumor stroma is not formed. Focus of necrosis (less than 5% of tumor tissue). Mitoses in tumor cells are 6 mf/10 HPF. Histological grade of malignancy – WHO Grade 2, corresponds to AC of the lung; **b** – immunohistochemical study. $\times 100$. Staining of carcinoid cells with monoclonal antibodies to synaptophysin; detection – peroxidase.



вазией, инвазией в перибронхиальный лимфатический узел, также были обнаружены метастазы опухоли в бифуркационный лимфатический узел. При изучении материала морфология ЭГЭЛ соответствовала ранее описанной картине. Обнаруженное во время операции прилежащее к ЭГЭЛ очаговое образование имело морфологическую картину и иммунофенотип АКЛ (рис. 7а, б).

При исследовании бифуркационного лимфатического узла легкого было выявлено метастатическое поражение тканью атипичного карциноида. **Заключение:** морфологическая картина и иммунофенотип АКЛ, grade 2, ЭГЭЛ low-grade – злокачественное образование легкого и бронхов. Метастаз в бифуркационный лимфатический узел легкого. Постооперационный период прошел без осложнений, пациентка выписана для дальнейшего лечения у онкологов.

Обсуждение

Необычность представленного наблюдения заключается в сочетании одиночного образования ЭГЭЛ и атипичного карциноида в одном очаге, длительное время – на протяжении 6 лет – ЭГЭЛ не проявляла признаков отрицательной динамики, прилегание к нижнедолевой легочной артерии затрудняло пункцию и получение морфологического материала. Наиболее близко к диагнозу было заключение по данным МРТ, которая определила образование как сосудистую структуру, связанную с легочной артерией, наличием мягкотканного компонента и перегородчатых структур. В исследованиях ПЭТ/КТ накопление ^{18}F -ФДГ широко варьирует и может быть низким в случаях небольших очажков или медленным ростом ЭГЭЛ, атипичным карциноидом [21, 22]. Мнения морфологов о злокачественности ЭГЭЛ расходятся – от категоричного указания на абсолютную злокачественность [23] до утверждения ее абсолютной доброкачественности [24]. Между этими двумя разнополярными точками зрения существует промежуточная, что ЭГЭЛ представляет собой редкую опухоль низкой и средней степени злокачественности [12, 25]. В доступной литературе нами не было найдено сообщений о сочетанном росте практически в одном очаге атипичного карциноида и ЭГЭЛ. Атипичные карциноиды являются промежуточной опухолью между типичным невысокой степени злокачественности карциноидом и мелкоклеточной высокой степени злокачественной карциномой, которая была выявлена в нашем наблюдении. Оба карциноида относятся к нейроэндокринным бронхолегочным опухолям [15, 16]. Мониторинг выявленного при диспансеризации очагового образования правого легкого (КТ, МРТ, ПЭТ/КТ) не регистрировал отрицательной динамики на протяжении 6 лет. Возможности лучевой диагностики

и, в частности, ПЭТ/КТ ограничены в постановке морфологического диагноза [26, 27]. На 6-м году наблюдения пациентка перенесла Covid-19-ассоциированную пневмонию, за которой последовала отрицательная динамика процесса в виде увеличения образования, реакции плевры, появлении лимфаденопатии. Наблюдалось увеличение метаболической активности образования, накопление радионуклида в лимфатических узлах, появление метастаза в остистом отростке тела грудного позвонка, появление одышки и эпизодов кровохарканья. Как показало морфологическое исследование, метастазы в лимфатические узлы были обусловлены атипичным карциноидом, развитие которого привело, наиболее вероятно, к увеличению метаболической активности очага в легком. Ряд исследователей указывают на роль Covid-19-ассоциированной пневмонии в модуляции целого ряда заболеваний легких, нельзя исключить, что появление атипичного карциноида и увеличение ЭГЭЛ связано с перенесенной пациенткой вирусной пневмонией [28, 29].

Заключение

Клиническое наблюдение демонстрирует сложность определения по данным лучевых методов исследования ЭГЭЛ, ее сочетание с атипичным карциноидом. МРТ с парамагнетиком вносит существенный вклад в понимание сосудистого генеза очаговых изменений в легких. Динамический мониторинг методами лучевой диагностики – увеличения размеров очага, его метаболической активности позволяет установить озлокачествление ранее выявленных изменений, необходимость морфологической верификации и лечебных мероприятий.

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 – П.М. Котляров, Д.Г. Солдатов; сбор и анализ данных – И.Д. Лагуева, В.А. Рагимов, Е.В. Егорова; подготовка рукописи – П.М. Котляров, Д.Г. Солдатов, В.А. Солодкий.

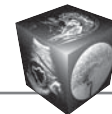
Authors' contributions

All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: concept and research plan – P.M. Kotlyarov, D.G. Soldatov; data collection and analysis – I.D. Lagkueva, V.A. Ragimov, E.V. Egorova; preparation of the manuscript – P.M. Kotlyarov, D.G. Soldatov, V.A. Solodkiy.



Список литературы [References]

1. Должанский О.В., Пальцева Е.М., Морозова М.М., Базаров Д.В., Боранов Э.В., Фёдоров Д.Н. Солитарная эпителиоидная гемангиоэндотелиома в сочетании с нодулярным паренхиматозным амилоидозом легкого и болезнью Розаи–Дорфмана. *Архив патологии.* 2018; 80 (2): 52–59. <https://doi.org/10.17116/patol201880252-59>
2. Dolzhansky O.V., Pal'tseva E.M., Morozova M.M. et al. Solitary epithelioid hemangioendothelioma concurrent with nodular parenchymal amyloidosis of the lung and Rosai–Dorfman disease. *Arkhir Patologii.* 2018; 80 (2): 52–59. <https://doi.org/10.17116/patol201880252-59> (In Russian)
3. Dail D.H., Liebow A.A. Intravascular bronchioalveolar tumor. *Am. J. Pathol.* 1975; 78: 6–7.
4. Weiss S.W., Enzinger F.M. Epithelioid hemangioendothelioma: a vascular tumor often mistaken for a carcinoma. *Cancer.* 1982; 50: 970–981. [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(19820901\)50:5<970::AID-CNCR2820500527>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/1097-0142(19820901)50:5<970::AID-CNCR2820500527>3.0.CO;2-Z)
5. Lau K., Massad M., Pollak C. et al. Clinical patterns and outcome in epithelioid hemangioendothelioma with or without pulmonary involvement: insights from an internet registry in the study of a rare cancer. *Chest.* 2011; 140 (5): 1312–1318. <https://doi.org/10.1378/chest.11-0039>
6. Павлов К.А., Дубова Е.А., Щеголев А.И., Пикунев М.Ю. Эпителиоидная гемангиоэндотелиома легких. *Пульмонология.* 2007; 3: 122–125. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2007-0-3-122-125>
7. Pavlov K.A., Dubova E.A., Shchegolev A.I., Pikunov M.Yu. Pulmonary epithelioid hemangioepithelioma. *Pulmonologiya.* 2007; 3: 122–125. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2007-0-3-122-125> (In Russian)
8. Xiong W., Wang Y., Ma X., Ding X. Multiple bilateral pulmonary epithelioid hemangioendothelioma mimicking metastatic lung cancer: case report and literature review. *J. Int. Med. Res.* 2020; 48 (4): 300060520913148. <https://doi.org/10.1177/0300060520913148>
9. Kitaichi M., Nagai S., Nishimura K. et al. Pulmonary epithelioid haemangioendothelioma in 21 patients, including three with partial spontaneous regression. *Eur. Respir. J.* 1998; 12 (1): 89–96. <https://doi.org/10.1183/09031936.98.12010089>
10. Amin R.M., Hiroshima K., Kokubo T. et al. Risk factors and independent predictors of survival in patients with pulmonary epithelioid haemangioendothelioma. Review of the literature and a case report. *Respirology.* 2006; 11 (6): 818–825. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2006.00923.x>
11. Kim E.Y., Kim T.S., Han J. et al. Thoracic epithelioid hemangioendothelioma: imaging and pathologic features. *Acta Radiol.* 2011; 52: 161–166. <https://doi.org/10.1258/ar.2010.100292>
12. Sakamoto N., Adachi S., Monzawa S. et al. High resolution CT findings of pulmonary epithelioid hemangioendothelioma: unusual manifestations in 2 cases. *J. Thorac. Imaging.* 2005; 20 (3): 236–238. <https://doi.org/10.1097/01.rti.0000158403.40711.e8>
13. Mesquita R.D., Sousa M., Trinidad C., Badiolaet I.A. New insights about pulmonary epithelioid hemangioendothelioma: review of the literature and two case reports. *Case Rep. Radiol.* 2017; 2017: 5972940. <https://doi.org/10.1155/2017/5972940>
14. Frota L.M., Packard A.T., Broski S.M. Epithelioid hemangioendothelioma: evaluation by ¹⁸F-FDG PET/CT. *Am. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2021; 11 (2): 77–86. eCollection 2021
15. Akizawa T., Nishizawa T., Yamada S. et al. Successful surgical treatment of epithelioid hemangioendothelioma involving multiple liver lesions and bilateral lung nodules. *Respir. Med. Case Rep.* 2022; 40: 101769. <https://doi.org/10.1016/j.rmcr.2022.101769>
16. Liu K., Xie P., Peng W., Zhou Z. The computed tomographic findings of pulmonary epithelioid hemangioendothelioma. *Radiol. Med.* 2014; 119 (9): 705–713. <https://doi.org/10.1007/s11547-013-0376-6>
17. Gong J., Tian F., Wang Q. et al. Case report: Rare epithelioid hemangioendothelioma occurs in both main bronchus and lung. *Front. Med. (Lausanne).* 2022; 9: 1066870. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.1066870>
18. Caplin M.E., Baudin E., Ferolla P. et al. Pulmonary neuroendocrine (carcinoid) tumors: European Neuroendocrine Tumor Society expert consensus and recommendations for best practice for typical and atypical pulmonary carcinoids. *Ann. Oncol.* 2015; 26 (8): 1604–1620. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdv041>
19. Hauso O., Gustafsson B.I., Kidd M. et al. Neuroendocrine tumor epidemiology: contrasting Norway and North America. *Cancer.* 113 (2008): 2655–2664. <https://doi.org/10.1002/cncr.23883>
20. Metovic J., Barella M., Bianchi F. et al. Morphologic and molecular classification of lung neuroendocrine neoplasms. *Virchows Arch.* 2021; 478: 5–19. <https://doi.org/10.1007/s00428-020-03015-z>
21. Meisinger Q.C., Klein J.S., Butnor K.J. et al. CT features of peripheral pulmonary carcinoid tumors. *Am. J. Roentgenol.* 2011; 197: 1073–1080. <https://doi.org/10.2214/AJR.10.5954>
22. Vinicius E., Adams K.A., Daniel R., et al. Lobar versus sublobar resection for atypical lung carcinoid: An analysis from the National Cancer Database. *Cancer.* 2023; 129 (6): 860–866. <https://doi.org/10.1002/cncr.34614>
23. Caplin M.E., Baudin E., Ferolla P. et al. Pulmonary neuroendocrine (carcinoid) tumors: European Neuroendocrine Tumor Society expert consensus and recommendations for best practice for typical and atypical pulmonary carcinoids. *Ann. Oncol.* 2015; 26: 1604–1620. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdv041>
24. Chong S., Lee K.S., Kim B.-T. et al. Integrated PET/CT of pulmonary neuroendocrine tumors: Diagnostic and prognostic implications. *Am. J. Roentgenol.* 2007; 188: 1223–1231. <https://doi.org/10.2214/AJR.06.0503>
25. Lavacchi D., Voltolini L., Comin C.E. et al. Primary pleural epithelioid hemangioendothelioma: case report and review of the literature. *Anticancer Drugs.* 2021; 32 (10): 1131–1137. <https://doi.org/10.1097/CAD.0000000000001122>
26. Харченко В.П., Галил-Оглы Г.А., Кузьмин И.В. Онкоморфология легких. М.: 1994. 186 с.
27. Kharchenko V.P., Galil-Ogly G.A., Kuzmin I.V. Oncomorphology of the lungs. Moscow, 1994. 186 p. (In Russian)
28. Двораковская И.В., Бугров С.Н., Новикова Л.Н., Скрыбин С.А., Ариэль Б.М. Эпителиоидная гемангиоэндотелиома легких. *Архив патологии.* 2022; 84 (2): 29–35.
29. Dvorakovskaya I.V., Bugrov S.N., Novikova L.N. et al. Pulmonary epithelioid hemangioendothelioma. *Arkhir Patologii.* 2022; 84 (2): 29–35. <https://doi.org/10.17116/patol20228402129> (In Russian)



26. Черниченко Н.В., Лагуева И.Д., Мурзин Я.Ю., Котляров П.М., Близнюков О.П., Солодкий В.А. Сложности дифференциальной диагностики первичной диффузной В-крупноклеточной неходжкинской лимфомы легкого. *Пульмонология*. 2021; 31 (3): 384–390. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2021-31-3-384-390>
Chernichenko N.V., Lagkueva I.D., Murzin Y.Yu. et al. Challenges in the differential diagnosis of primary diffuse large B-cell non-Hodgkin's lymphoma of the lung. *Pulmonologiya*. 2021;31(3):384–390. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2021-31-3-384-390> (In Russian)
27. Котляров П.М. Постпроцессинговая обработка данных мультиспиральной компьютерной томографии в уточненной диагностике патологических изменений при диффузных заболеваниях легких *Пульмонология*. 2017; 27 (4): 472–477. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477>
Kotlyarov P.M. Multispiral computed tomography post-processing for refining diagnosis of diffuse lung diseases. *Pulmonologiya*. 2017; 27 (4): 472–477. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477> (In Russian)
28. Биличенко Т.Н. Постковидный синдром: факторы риска, патогенез, диагностика и лечение пациентов с поражением органов дыхания после COVID-19 (обзор исследований). *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2022; 6 (7): 367–375. <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-7-367-375>
Tatyana N. Bilichenko Post-Covid Syndrome: Risk Factors, Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment of Patients with Respiratory Injury after COVID-19 (Review). *Russian Medical Inquiry*. 2022; 6 (7): 367–375. <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-7-367-375> (In Russian)
29. Золотницкая В.П., Сперанская А.А., Кузубова Н.А., Титова О.Н., Амосова О.В. Долгосрочные последствия COVID-19 у пациентов по данным функционально-лучевых исследований легких. *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2022; 6 (7): 360–366. <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-7-360-366>
Zolotnitskaya V.P., Speranskaya A.A., Kuzubova N.A. et al. Long-term effects of COVID-19 in patients according to the functional lung imaging in radiation therapy. *Russian Medical Inquiry*. 2022; 6 (7): 360–366. <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-7-360-366> (In Russian)

Для корреспонденции*: Котляров Петр Михайлович – e-mail: marnad@list.ru

Котляров Петр Михайлович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории рентгенодиагностики ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>

e-mail: marnad@list.ru

Солдатов Дмитрий Германович – канд. мед. наук, доцент кафедры госпитальной терапии педиатрического факультета ФGAOY BO PНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5618-5671>

Сергеев Николай Иванович – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рентгенодиагностики научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры рентгенодиагностики ФДПО ФGAOY BO PНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>

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

Рагимов Вадим Абдурагимович – младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела хирургии и хирургических технологий в онкологии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва.

Егорова Екатерина Владимировна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории рентгенодиагностики ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва.

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, профессор, заслуженный врач РФ, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Contact*: Petr M. Kotlyarov – e-mail: marnad@list.ru

Petr M. Kotlyarov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher Laboratory of X-Ray Radiology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>

Dmitry G. Soldatov – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Hospital Therapy, Pediatric Faculty, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5618-5671>

Nikolay I. Sergeev – Doct. of Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Roentgenoradiology for Comprehensive Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department of Radiology, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>

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

Vadim A. Ragimov – junior researcher of the Research Department of Surgery and Surgical Technologies in Oncology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow.

Ekaterina V. Egorova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of X-ray Diagnostics with X-ray and Magnetic Resonance Computed Tomography Rooms of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow.

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



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1419>

Бесконтрастная ASL-перфузия в алгоритме ведения пациентов с диффузными заболеваниями печени: новые критерии диагностики

Телеш А.А.^{1,3*}, Морозова Т.Г.^{1,2}

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

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

³ ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; 105094 Москва, Госпитальная пл., д. 3, Российская Федерация

Цель исследования: определить новые возможности применения бесконтрастной ASL-перфузии в алгоритме ведения пациентов с диффузными заболеваниями печени (ДЗП).

Материал и методы. У группы пациентов с ДЗП различной этиологии ($n = 152$) были проанализированы результаты клинично-лабораторного обследования, данных МРТ органов брюшной полости с режимом бесконтрастной ASL-перфузии печени (томограф Vantage Titan 1,5 Тл) за 3 года динамического наблюдения.

Результаты. В статье описаны возможности и результаты применения ASL-перфузии печени у пациентов с ДЗП различной этиологии и степени тяжести, в том числе при осложненном течении заболевания. Установлено, что методика ASL-перфузии печени позволяет проводить дифференциальную диагностику таких клинических форм ДЗП, как гепатит и цирроз ($p < 0,01$), выявлять риск неблагоприятного течения ДЗП ($p < 0,01$), а также в ряде случаев развития осложнений (печеночной энцефалопатии, сиалоаденитов). Была разработана тактика включения бесконтрастной ASL-перфузии в алгоритм ведения пациентов с ДЗП.

Заключение. ASL-перфузии печени является перспективным для изучения и применения методом диагностики и динамического наблюдения пациентов с ДЗП различной этиологии.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; бесконтрастная ASL-перфузия печени; диффузные заболевания печени; диагностический алгоритм

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Телеш А.А., Морозова Т.Г. Бесконтрастная ASL-перфузия в алгоритме ведения пациентов с диффузными заболеваниями печени: новые критерии диагностики. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 136–145. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1419>

Поступила в редакцию: 14.11.2023.

Принята к печати: 07.02.2024.

Опубликована online: 15.05.2024.

Liver non-contrast perfusion in diffuse liver diseases diagnostic algorithm: the new diagnostic criteria

Arina A. Telesh^{1,3*}, Tat'jana G. Morozova^{1,2}

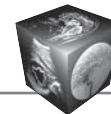
¹ Smolensk State Medical University; 28, Krupskoy str., Smolensk 214019, Russian Federation

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

³ Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko Russian Defense Ministry; 3, Gospitalnaya sq., Moscow 105094, Russian Federation

Purpose: to define the optimal criteria for contrast-free ASL perfusion using for the management of diffuse liver diseases (DLD).

Material and methods. Clinical and laboratory data, results of MRI with non-contrast MR perfusion (ASL-perfusion) of the liver (MRI machine Vantage Titan 1,5T) were estimated in a group of patients with different types of DLD ($n = 152$, three-year research).



Results. Potentials liver ASL perfusion using for patients with DLD (including complicated cases) are described in the article. It was established that ASL liver perfusion is useful for DLD clinical forms differential diagnosis (hepatitis/cirrhosis, $p < 0.01$), assess the risk of of DLD aggravation ($p < 0.01$), as well as, in some cases, the development of complications (hepatic encephalopathy, sialoadenitis). The strategy of contrast-free MR perfusion using in patients with DLD management algorithm was developed.

Conclusion. Liver ASL perfusion is a promising for the study and application method for the management of patients with different types of DLD.

Keywords: magnetic resonance imaging; non-contrast magnetic resonance perfusion of the liver; diffuse liver diseases; diagnostic algorithm

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

For citation: Telesh A.A., Morozova T.G. Liver non-contrast perfusion in diffuse liver diseases diagnostic algorithm: the new diagnostic criteria. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 136–145. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1419>

Received: 14.11.2023.

Accepted for publication: 07.02.2024.

Published online: 15.05.2024.

Введение

Диффузные заболевания печени (ДЗП) представляют собой достаточно широкий спектр патологических состояний, различающихся по этиологии, клинической форме, степени тяжести, наличию осложнений. Вместе с тем лучевое обследование является необходимой частью диагностического процесса как при постановке диагноза ДЗП, так и при дальнейшем динамическом наблюдении пациента [1, 2].

Бесконтрастная ASL-перфузия является одной из методик магнитно-резонансной томографии (МРТ), которая в настоящий период времени активно изучается, в том числе в контексте возможностей ее применения у пациентов с ДЗП [3–5]. Опубликованные работы свидетельствуют об эффективности ASL-перфузии печени в прогнозировании осложненного течения вирусных гепатитов [3]. Необходимо учитывать, что ASL-перфузия обладает рядом преимуществ: отсутствие лучевой нагрузки, необходимости внутривенного введения контрастного вещества [3–5]. Существуют, однако, некоторые особенности подготовки пациентов к исследованию, невыполнение которых может

привести к искажению полученных результатов [3–5]. Возможности методики в визуализации перфузионных нарушений печени обуславливают необходимость разработки рекомендаций по включению ASL-перфузии в диагностический алгоритм обследования пациентов с ДЗП различной этиологии в зависимости от клинической формы и особенностей течения.

Цель исследования: определить эффективные критерии применения бесконтрастной ASL-перфузии в алгоритме ведения пациентов с ДЗП.

Материал и методы

Был проведен анализ результатов трехлетнего опыта применения метода бесконтрастной ASL-перфузии у пациентов с ДЗП, находившихся на лечении в инфекционном, гепатологическом и гастроэнтерологическом отделениях на базе ОГБУЗ “Клиническая больница №1” Смоленска ($n = 152$). Пациенты с ДЗП были распределены по этиологическим формам, остроте процесса, степени тяжести и активности заболевания. Распределение пациентов по этиологическим формам и особенностям течения ДЗП представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение пациентов по этиологическим формам и особенностям течения ДЗП

Table 1. Patients distribution according to etiological forms and features of the course of DLD

Вариант течения DLD type	Этиологическая форма ДЗП, абс. (%) Etiology of DLD, n (%)					
	алкогольная alcohol (n = 28)	вирусная viral (n = 36)	лекарственная drug (n = 9)	аутоиммунная autoimmune (n = 5)	смешанная mixed (n = 20)	ДЗП + НКВИ DLD + COVID-19 (n = 54)
Острое Acute (n = 26)	4 (2,6%)	6 (4%)	4 (2,6%)	1 (0,7%)	3 (2%)	8 (5,2%)
Хроническое Chronic (n = 126)	24 (16%)	30 (20%)	5 (3,2%)	4 (2,6%)	17 (11,1%)	46 (30%)



Хронические формы ДЗП были у 126 (82,9%) пациентов исследуемой группы; в группу вошло 102 (67%) мужчины и 50 (33%) женщин. В обязательный диагностический минимум обследования пациентов входили: ультразвуковое исследование (УЗИ) органов брюшной полости (аппарат VINNO 8), MPT (Vantage Titan 1,5 Тл) органов брюшной полости с включением в МР-протокол бесконтрастной ASL-перфузии печени.

Карты печеночного кровотока были получены при обработке данных последовательности 3D-ASL, которая проводилась со следующими параметрами: толщина среза 5 мм, межсрезовый интервал 3 мм, количество срезов 26–30, FOV 24–43 см, TR 6,2 м/с, TE 2,4 м/с, матрица 64 × 64. Длительность сканирования составляла в среднем 15 мин. Алгоритм оценки результатов бесконтрастной ASL-перфузии включал количественную оценку показателя объемного печеночного кровотока (Hepatic blood flow – HBF, мл/100 г/мин), качественную оценку перфузионной карты.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения Jamovi 2.3.21. Для корреляционного анализа использовался коэффициент корреляции Спирмена, групповое сравнение проводилось с использованием метода Манна–Уитни, χ^2 .

Результаты

На первом этапе возник вопрос о разработке показаний к первичному назначению ASL-перфузии печени пациентам с ДЗП. Необходимо было изучить возможности метода в дифференциальной диагностике этиологических и клинических форм ДЗП. Для каждой изучаемой клинической формы ДЗП различной этиологии были сопоставлены результаты количественной (HBF, мл/100 г/мин) и качественной оценки бесконтрастной ASL-перфузии печени при поступлении или в течение первых трех дней пребывания в стационаре (табл. 2).

На основании анализа результатов бесконтрастной ASL-перфузии у пациентов с различными формами ДЗП, а также у здоровых добровольцев для унификации были приняты следующие обозначения для ASL-карт печени: карты мозаичного и зеленого характера – нормоперфузия, “синего” паттерна – гипоперфузия, “красного” – гиперперфузия. Необходимо отметить, что наличие у пациента перфузионной карты того или иного типа как изолированный факт не отражает наличие или отсутствие нарушений кровотока печени, а лишь позволяет в определенной степени судить о преобладающей тенденции в перфузии органа. Так, карты “нормоперфузии” встречаются у паци-

ентов с гепатитами (в 32% наших наблюдений) и с циррозами (7% наблюдений). Однако разделение по преобладающему типу картирования показало себя удобным в практической работе для первичной визуальной оценки перфузионной карты печени (рис. 1).

В клинической практике важным является прогнозирование трансформации гепатита в цирроз печени, так как данная форма сопряжена с риском развития большого числа осложнений и существенного ухудшения качества жизни пациента. С целью оценки статистической значимости различий HBF в группах пациентов со стеатозом, стеатогепатитом, гепатитом и циррозом был проведен анализ с использованием непараметрических методов (тест Манна–Уитни). Результаты анализа показали, что отмечаются статистически значимые различия показателей HBF у группы пациентов со стеатозом/стеатогепатитом и гепатитом по сравнению со значениями HBF в группе пациентов с циррозом вне зависимости от его этиологии ($p < 0,01$). Анализ показал, что ASL-перфузия печени демонстрирует высокую чувствительность в определении цирроза печени у пациентов с ДЗП: AUROC = 0,964 (рис. 2).

Статистически значимых различий в качественных и количественных результатах ASL-перфузии печени среди различных этиологических форм гепатитов и циррозов не выявлено ($p > 0,05$), отмечается пересечение значений HBF (медиан, квартилей Q1 и Q3) между группами с различной этиологией ДЗП (как стеатогепатитов/гепатитов, так и циррозов) (см. табл. 2). Следовательно, на данный момент рекомендовать ASL-перфузию в качестве возможного метода определения этиологии ДЗП не представляется целесообразным.

Пациенты наблюдались до трех лет, однако необходимо подчеркнуть, что при динамическом наблюдении количество пациентов составляло от 107 (через 3 мес) до 65 (через 24 мес) человек, так как не все из них являлись на повторные исследования. На третьем году наблюдения количество пациентов составило 38 человек. На первом этапе наблюдения у 58 пациентов по данным ASL были зафиксированы признаки гиперперфузии печени, что коррелировало с высокой активностью процесса (изменениями в биохимическом анализе крови) в 72% случаев, причем у 13 из 58 пациентов признаки гиперперфузии были зафиксированы за один месяц до проявления изменений со стороны лабораторных показателей. Динамическое наблюдение за пациентами с ДЗП позволило разработать следующие рекомендации в алгоритме их ведения: при гиперперфузионной ASL-карте требуются коррекция лечебного алгоритма, проведение

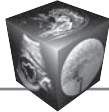
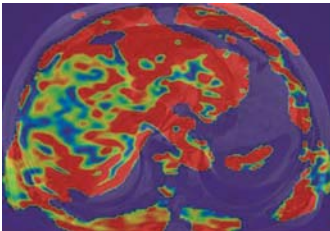
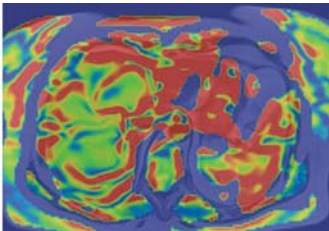
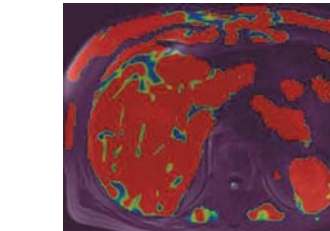
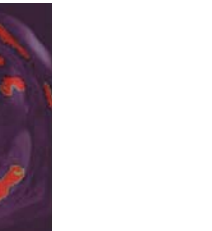


Таблица 2. Результаты количественной и качественной оценки ASL-перфузии печени при первичной MPT (n = 152)

Table 2. Results of quantitative and qualitative assessment of liver ASL perfusion (n=152)

Клиническая форма ДЗП DLD type	Этиологическая форма ДЗП / Etiology of DLD					
	алкогольная alcohol	вирусная viral	лекарст- венная drug	аутоиммунная autoimmune	смешанная mixed	ДЗП + НКВИ DLD + COVID-19
	HBF (мл/100 г/мин) ((Me [Q1; Q3])) HBF (ml/100 g/min) ((Me [Q1; Q3]))					
Стеатоз Steatosis (n = 18)	162 [149; 166]	–	–	–	151 [144; 162]	185 [171; 193]
Стеатогепатит Steatohepatitis (n = 26)	–	–	141 [138; 145]	157 [153; 160]	148 [141; 160]	189 [173; 194]
Гепатит Hepatitis (n = 53)	157 [149; 162]	144 [138; 157]	164 [160; 166]	142 [140; 147]	152,9 [143; 161]	179,6 [169; 191]
Цирроз Cirrhosis (n = 55)	116 [102; 131]	119 [98; 135]	–	–	110,2 [100; 124]	158,4 [144; 168]

Клиническая форма ДЗП DLD type	Этиологическая форма ДЗП / Etiology of DLD					
	алкоголь- ная alcohol	вирусная viral	лекарст- венная drug	ауто- иммунная autoimmune	смешанная mixed	ДЗП + НКВИ DLD + COVID-19
	Качественная оценка перфузии печени (преобладающие типы) Qualitative assessment of liver ASL perfusion (predominant types)					
Стеатоз Steatosis (n = 18)						
Стеатогепатит Steatohepatitis (n = 26)						
Гепатит Hepatitis (n = 53)						
Цирроз Cirrhosis (n = 55)						

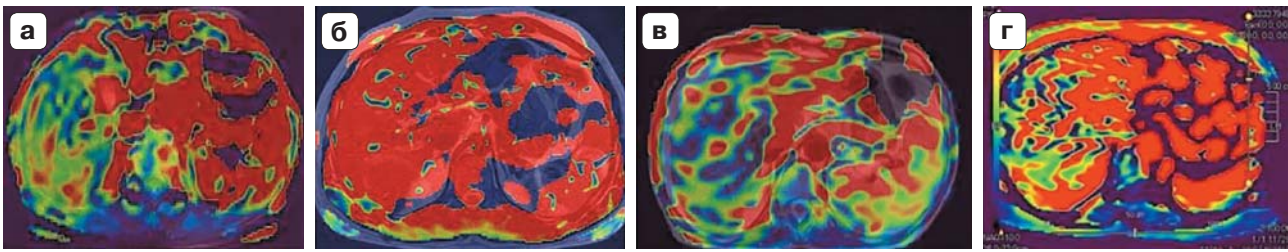
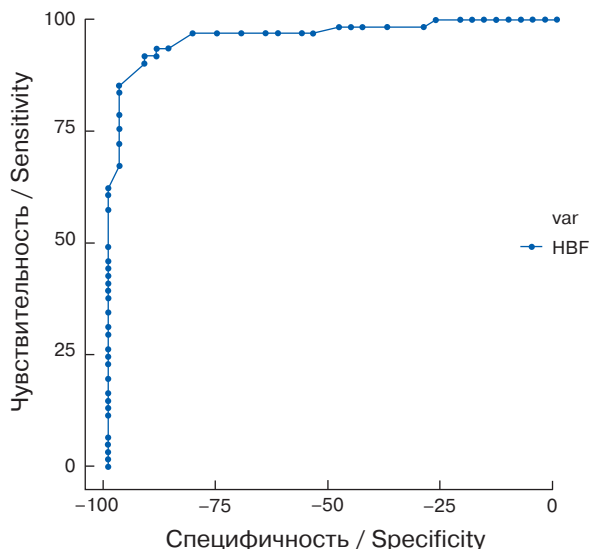


Рис. 1. Типы перфузионных карт печени (качественная оценка). **а** – пациент с хроническим гепатитом В минимальной активности. Зеленый тип картирования; **б** – пациент с алкогольной болезнью печени, хронический гепатит выраженной степени активности. Красный тип картирования; **в** – пациент с циррозом печени смешанной этиологии, класс Б по Чайлд–Пью. Синий тип картирования; **г** – пациент с хроническим гепатитом С умеренной активности. Мозаичный тип картирования.

Fig. 1. Liver perfusion maps types (qualitative assessment). **a** – patient with chronic hepatitis B, minimally active. Green map type; **б** – patient with alcoholic liver disease, chronic hepatitis, severely active. Red map type; **в** – patient with liver cirrhosis of mixed etiology, Child–Pugh Class B. Blue map type; **г** – patient with chronic hepatitis C, moderately active. Mixed map type.



Результаты / Results Table

Scale: HBF

Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %	ППЗ, % PPV, %	ОПЗ, % NPV, %	Индекс Юдена Youden's index	AUC	Метрическая оценка Metric Score
93.44	86.49	91.94	88.89	0.799	0.964	1.80

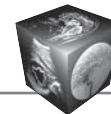
Рис. 2. ROC-кривая и таблица результатов оценки информативности метода бесконтрастной ASL-перфузии печени в дифференциальной диагностике цирроза печени и других клинических форм ДЗП.

Fig. 2. ROC-curve and results table of informative value evaluation of the contrast-free liver MR perfusion in the differential diagnosis of liver cirrhosis and other clinical forms of DLD.

профилактических мероприятий, препятствующих прогрессированию ДЗП, контрольное МР-исследование через 1 мес.

Особую группу представляли пациенты с циррозом печени ($n = 12$) и признаками гиперперфузии. По данным нашего исследования, ASL-карта такого типа у них была ассоциирована с риском развития кровотечения и прогрессированием портальной гипертензии ($r = 0,814$), появление же при динамическом наблюдении карты гипоперфузионного характера коррелировало с положительной динамикой (либо ее отсутствием) ($r = 0,903$). Однако небольшое количество пациентов в выборке делает целесообразным дальнейшие исследования в этом направлении для получения более достоверных результатов.

Одним из осложнений, существенно снижающих качество жизни пациентов с ДЗП, является печеночная энцефалопатия (ПЭ). Среди пациентов с признаками ПЭ в исследуемой группе были как те, у которых клинические симптомы дебютировали относительно недавно – до нескольких месяцев ($n = 15$), так и те, кто имел жалобы со стороны нервной системы на протяжении долгого времени – от нескольких лет до десятилетий ($n = 29$). При анализе результатов ASL у этих пациентов было отмечено, что у группы пациентов с дебютом признаков ПЭ в 87% случаев определялись признаки гиперперфузии печени. Более того, при динамическом наблюдении у большинства (66%) этих пациентов отмечалось стойкое сохранение признаков гиперперфузии печени на фоне



Критерии оценки значимости различий исходов в зависимости от воздействия факторов риска
Criteria for assessing the significance of differences in outcomes depending on the impact of risk factors

Наименование критерия Criteria	Значение критерия Value	Уровень значимости Statistical significance p
Критерий χ^2	30.062	<0.01

Критерии оценки силы связи между фактором риска и исходом
Criteria for assessing the strength of the relationship between risk factor and outcome

Наименование критерия Criteria	Значение критерия Value	Сила связи Strength of association
Критерий V Крамера Cramer's V Criteria	0.554	Относительно сильная Moderate

Рис. 3. Результаты непараметрической оценки взаимосвязи между наличием гиперперфузии печени по данным ASL (фактор риска) и развитием сиалоаденита (исход). Критерий χ^2 с оценкой величины эффекта показывает наличие значимой взаимосвязи с уровнем значимости $p < 0,01$.

Fig. 3. The nonparametric assessment of the association between liver hyperperfusion (risk factor) and the development of sialoadenitis (outcome). χ^2 test with an assessment of the magnitude of the effect shows that the variables are related to each other with the significance level $p < 0.01$.

лечения. Был проведен статистический анализ с целью выявления взаимосвязи факта наличия недавнего (до нескольких месяцев) дебюта ПЭ с типом перфузионной карты. Результаты непараметрической оценки взаимосвязи между изучаемыми переменными (критерий χ^2) показали наличие значимой взаимосвязи со значением $p < 0,05$ между наличием гиперперфузии печени и дебютом ПЭ. Категория пациентов с признаками гиперперфузии печени, таким образом, представляет группу риска по развитию дебюта ПЭ, что требует коррекции лечения, совместного ведения пациентов с врачами-неврологами. Выявлено также, что у пациентов с ДЗП и признаками минимальной ПЭ увеличение показателя HBF по данным ASL-перфузии более чем в 1,5 раза за один месяц коррелирует с развитием клинически манифестной ПЭ ($r = 0,939$). У пациентов с длительным наличием ПЭ значимого преобладания того или иного типа перфузионной карты не отмечено ($p > 0,05$). Не было также выявлено статистически значимой корреляции между результатами ASL-перфузии печени и стадией клинически манифестной ПЭ ($p > 0,05$).

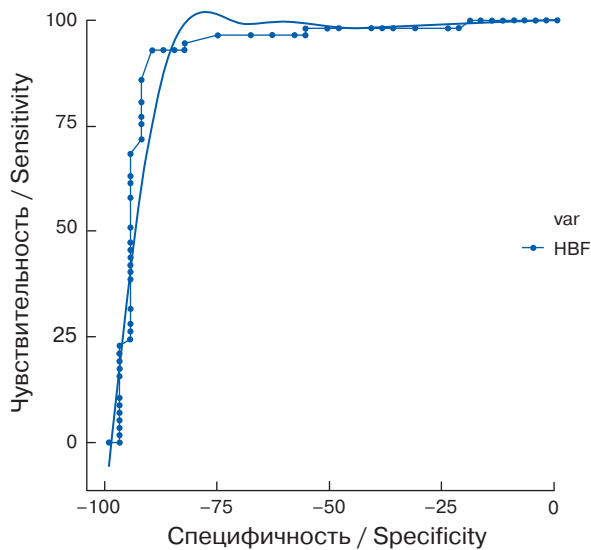
У 21 (14%) пациента из исследуемой группы обнаруживалось увеличение больших слюнных желез, что патогенетически при алкогольной этиологии ДЗП объясняется формированием циркулирующих иммунных комплексов, а при вирусной природе – тропностью вируса гепатита к тканям слюнных желез. При оценке данных ASL-перфузии печени у данных пациентов было выявлено, что в 81% случаев перфузионная карта печени на момент возникновения симптомов сиалоаденита де-

монстрировала признаки гиперперфузии. Был проведен статистический анализ с целью выявления взаимосвязи возникновения сиалоаденита с типом перфузионной карты. Результаты непараметрической оценки взаимосвязи между изучаемыми переменными (критерий χ^2) показали наличие значимой взаимосвязи со значением $p < 0,01$ между наличием признаков гиперперфузии печени по данным ASL и развитием сиалоаденита (рис. 3).

Данные показатели позволили лечащему врачу дополнительно рекомендовать для этих пациентов консультацию стоматолога и оториноларинголога. Признаки гиперперфузии печени могут встречаться в разных клинических ситуациях, соответственно, специфичность этого симптома невысока, однако этот признак позволяет выявить среди пациентов с ДЗП тех, у кого имеется риск развития ПЭ и ассоциированного с ДЗП сиалоаденита в сомнительных клинических ситуациях.

Было установлено, что у 13 (24%) пациентов с гепатитами различной этиологии в течение первого года наблюдения диагностирован цирроз печени, через 12 мес – у 4 (7%) больных, через 1,5 года у 4 (7%) исследуемых определена цирротическая трансформация. У большинства (более 80%) пациентов с прогрессированием гепатита в цирроз и/или прогрессированием цирротической трансформации печени (в течение трехлетнего срока наблюдения) показатель HBF имел значение менее 130 мл/100 г/мин (рис. 4).

Результаты анализа показывают, что показатель HBF менее 130 мл/100 г/мин является критерием риска неблагоприятного течения гепатитов и циррозов различной этиологии ($p < 0,01$).



Результаты / Results Table

Scale: HBF

Cutpoint	Чувствительность (%) Sensitivity (%)	Специфичность (%) Specificity (%)	ППЗ (%) PPV (%)	ОПЗ (%) NPV (%)	Индекс Юдена Youden's index	AUC
130	92.98%	90.24%	92.98%	90.24%	0.832	0.926

Рис. 4. ROC-кривая и таблица результатов оценки информативности метода бесконтрастной ASL-перфузии печени в диагностике риска неблагоприятного течения ДЗП (на протяжении первых трех лет наблюдения).

Fig. 4. ROC-curve and results table of informative value evaluation of the contrast-free liver MR perfusion in the diagnosis of the risk of DLD aggravation (during the first three years).

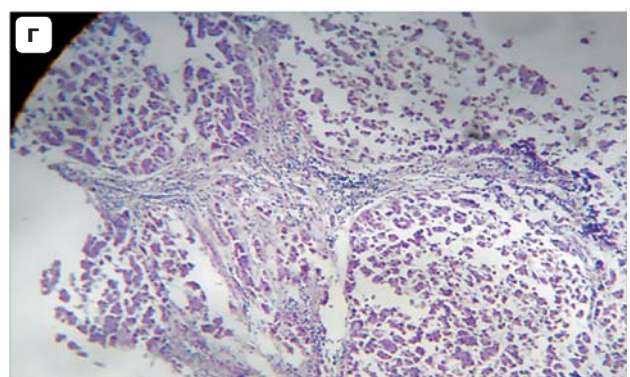
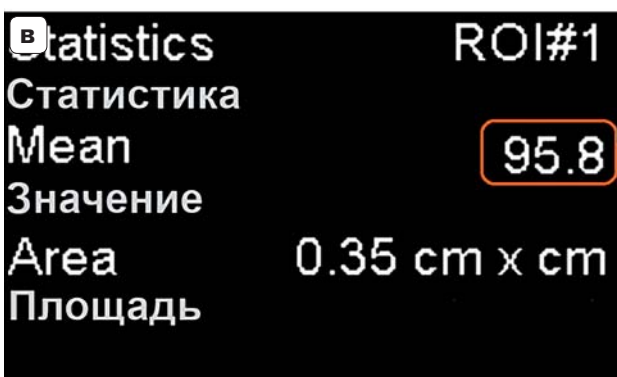
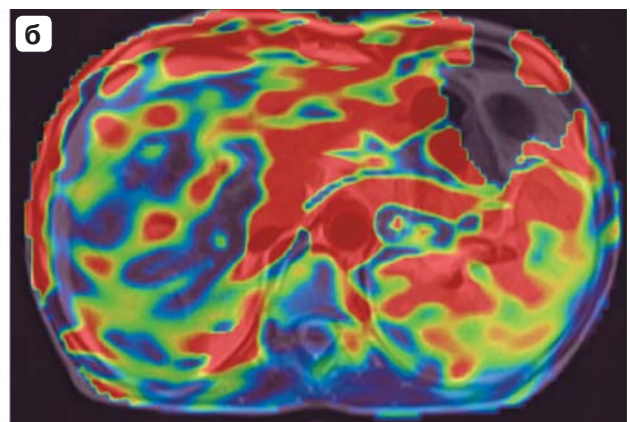
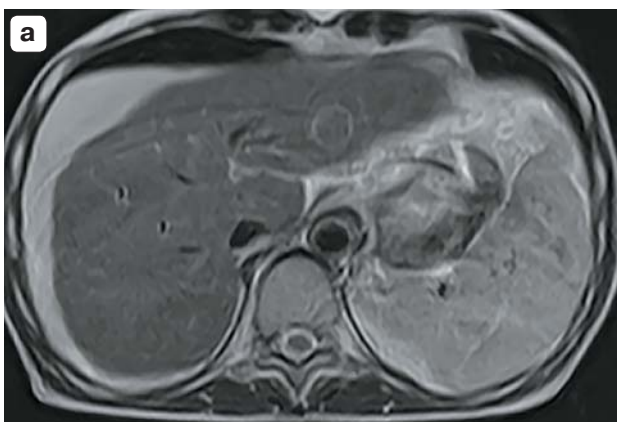


Рис. 5. Результаты MPT, ASL-перфузии и гистологического исследования биоптата печени пациента с циррозом печени смешанной этиологии, класс В по Чайлд–Пью. **а** – аксиальный скан печени в режиме T2-взвешенного изображения; **б** – цветная перфузионная карта с признаками гипоперфузии; **в** – количественная оценка, где значение Mean отражает HBF = 95,8 мл/100 г/мин; **г** – биоптат паренхимы печени, окраска гематоксилин-эозином. $\times 2000$. Степень фиброза F4.

Fig. 5. Results of MRI, ASL-perfusion and histological examination of a liver; the patient with liver cirrhosis of mixed etiology, class B (Child–Pugh). **a** – liver axial scan, T2 weighted image; **b** – colour perfusion map with sign of hypoperfusion; **v** – quantitative assessment, where the Mean value is HBF = 95.8 ml/100g/min; **r** – liver parenchyma biopsy, hematoxylin and eosin stains. $\times 2000$, Fibrosis F4.

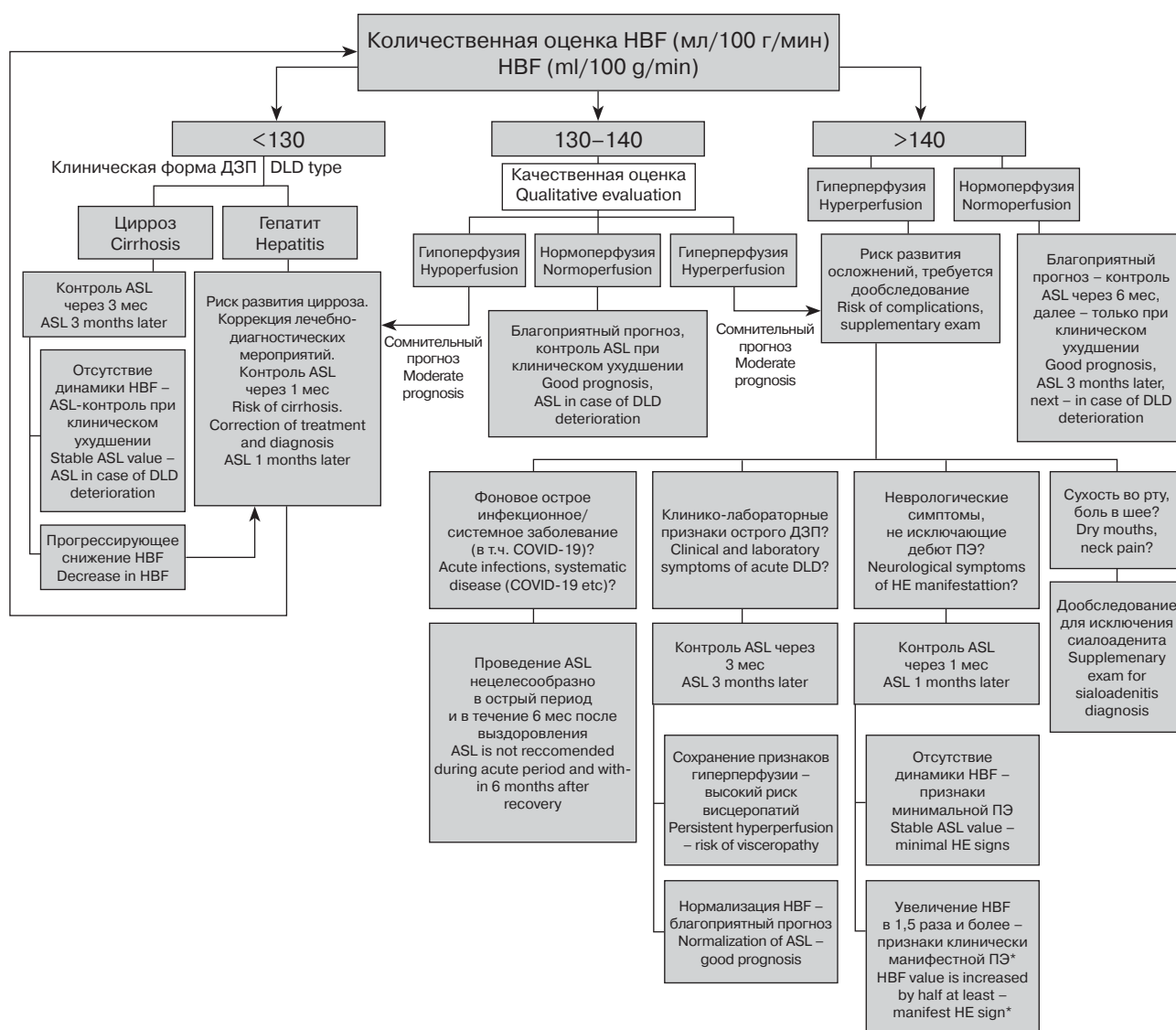
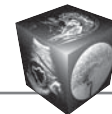


Рис. 6. Алгоритм включения ASL-перфузии печени в тактику ведения пациентов с ДЗП. *при отсутствии иных известных причин гиперперфузии печени.

Fig. 6. The algorithm of ASL-perfusion using in patients with DLD management. *in the absence of other known causes of liver hyperperfusion. HE – hepatic encephalopathy.

Пример МР-исследования печени в сопоставлении с гистологическими результатами представлен на рис. 5.

На основании анализа динамики клинико-лабораторных показателей и результатов ASL-перфузии печени у всех рассмотренных категорий пациентов была разработана тактика включения бесконтрастной ASL-перфузии в алгоритм ведения пациентов с ДЗП (рис. 6).

Из представленного алгоритма следует, что для пациентов с ДЗП различной этиологии рекомендуется комплексная оценка данных бесконтрастной ASL-перфузии, что позволяет разраба-

тывать персонифицированные подходы к пациентам и совершенствовать диагностический комплекс ASL-перфузии в зависимости от сроков динамического наблюдения. Нами разработаны пороговые количественные критерии ASL-перфузии печени, которые позволяют оценить риск неблагоприятного течения ДЗП, качественные критерии – для возможности оценки рисков развития осложнений и сроков динамического наблюдения. Рекомендованы следующие диагностические критерии: неблагоприятное течение – гиперперфузия печени (риск развития осложнений), ASL-контроль через 1–3 мес в зависимости



от клинической картины; гипоперфузия печени $\text{HBF} < 130$ мл/100 г/мин (риск развития/прогрессирования цирроза), мониторинг ASL через 1 мес (для гепатитов) или 3 мес (для циррозов); благоприятное течение – признаки нормоперфузии, $\text{HBF} 130\text{--}150$ мл/100 г/мин, контрольная ASL-перфузия при клиническом ухудшении.

Обсуждение

Современные алгоритмы инструментальной диагностики, используемые при прогнозировании исхода ДЗП, включают УЗИ, эластографию, биопсию печени [1–3, 6]. Важно отметить, что особенности применения эластографических методик зависят от клинической формы ДЗП (например, эластография нашла применение в оценке степени фиброза печени при гепатитах) [7]. Биопсия печени – инвазивный метод, имеющий противопоказания и риск развития кровотечения, в связи с чем нередко происходит отказ пациентов от данного метода диагностики.

В литературных источниках обоснована роль компьютерной томографии (КТ) в диагностике ДЗП [6, 8]. КТ сопровождается лучевой нагрузкой, а показатели плотности, выражающиеся в единицах Хаунсфилда, имеют “серые зоны”, когда невозможно провести точную дифференциальную диагностику между клиническими формами ДЗП. КТ-перфузия требует дополнительного контрастного усиления, что ограничивает использование ее у пациентов с декомпенсированной хронической болезнью почек [8].

Опубликовано несколько работ, посвященных изучению возможностей методики ASL в оценке перфузии печени у здоровых добровольцев [4, 5, 9]. Авторы этих работ отмечают высокую диагностическую значимость и хорошую индивидуальную переносимость метода. Существуют также единичные работы, показывающие эффективность применения методики ASL для прогнозирования неблагоприятного течения вирусных гепатитов [3]. Исследования показывают, что применение метода маркирования артериальных спинов помогает с высокой точностью прогнозировать неблагоприятное течение цирроза печени, а также риск развития портальной гипертензии у пациентов с вирусными гепатитами.

Научные исследования о возможностях ASL-перфузии печени в диагностике и динамическом наблюдении пациентов с ДЗП различного (в том числе смешанного) генеза, при осложненном и неосложненном их течении в настоящее время отсутствуют. Ранее не указывалось о дифференциации цветового картирования ASL-карт печени (гипо-, гиперперфузия и т.д.).

Таким образом, в настоящее время нет научных сведений о применении ASL-перфузии печени для различных этиологических форм ДЗП, основные критерии по клиническим формам ДЗП в литературе также не представлены. Изучение возможностей ASL-перфузии печени в ведении пациентов с ДЗП различной этиологии позволит повысить эффективность инструментальной диагностики для данной категории пациентов, а также облегчить для лечащего врача решение вопроса о целесообразности включения метода в диагностический алгоритм в разных клинических ситуациях. На основании анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что бесконтрастная ASL-перфузия печени является полезным инструментом в алгоритме наблюдения пациентов с ДЗП различной этиологии и степени тяжести. Методика улучшает эффективность персонализированного наблюдения за пациентами, позволяет в ряде случаев выявить риск возникновения осложнений. К преимуществам ASL-перфузии также относится отсутствие лучевой нагрузки и необходимости внутривенного введения контрастного препарата.

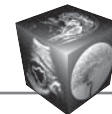
Заключение

Установлено, что количественные показатели бесконтрастной ASL-перфузии печени позволяют проводить дифференциальную диагностику клинических форм ДЗП между стеатозом/стеатогепатитом/гепатитом и циррозом вне зависимости от этиологии ($p < 0,01$). Выявлено, что ASL-перфузия печени демонстрирует хорошую диагностическую значимость в определении цирроза печени у пациентов с ДЗП ($\text{AUROC} = 0,964$). Исследование показало, что показатель HBF менее 130 мл/100 г/мин является критерием риска неблагоприятного течения гепатитов и циррозов различной этиологии ($p < 0,01$). Требуются дальнейшие исследования для установления наличия достоверной корреляции между перфузионными показателями печени при циррозе и развитием портальной гипертензии. Установлено, что при гиперперфузии печени существует риск развития осложнений, в связи с чем рекомендован ASL-контроль через 1–3 мес в зависимости от клинической картины; гипоперфузия печени ассоциирована с риском развития/прогрессирования цирроза, при этом рекомендован мониторинг ASL через 1 мес – для гепатитов, 3 мес – для циррозов.

Участие авторов

Телеш А.А. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

Морозова Т.Г. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.



Authors' participation

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

Morozova T.G. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Дурлештер В.М., Габриэль С.А., Корочанская Н.В., Ковалевская О.В., Серикова С.Н., Марков П.В., Усова О.А., Мурашко Д.С., Дынько В.Ю., Бухтояров А.Ю., Басенко М.А. Мультидисциплинарный подход к ведению пациентов с циррозом печени. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2020; 30 (4): 35–43. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2020-30-4-35-43>
2. Moreno C., Mueller S., Szabo G. Non-invasive diagnosis and biomarkers in alcohol-related liver disease. *J. Hepatology*. 2019; 70 (2): 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2018.11.025>
3. Симаккина Е.Н., Морозова Т.Г. Совершенствование алгоритма ведения пациентов с вирусными гепатитами при использовании бесконтрастной ASL-перфузии печени при магнитно-резонансной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102 (5): 276–283. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-5-276-283>
4. Pan X., Qian T., Fernandez-Seara M. et al. Quantification of liver perfusion using multidelay pseudocontinuous arterial spin labeling. *JMRI*. 2016; 43 (5): 1046–1054. <https://doi.org/10.1002/jmri.25070>
5. Taso M., Aramendia-Vidaurreta V., Englund E.K. Update on state-of-the-art for arterial spin labeling (ASL) human perfusion imaging outside of the brain. *Magn. Reson. Med*. 2023; 89: 1754–1776. <https://doi.org/10.1002/mrm.29609>
6. Mathew R.P., Venkatesh S.K. Imaging diffuse liver disease. *Appl. Radiol*. 2019; 48 (5): 13–20.
7. Li Y., Huang Y.S., Wang Z.Z., Yang Z.R., Sun F., Zhan S.Y. Systematic review with meta-analysis: The diagnostic accuracy of transient elastography for the staging of liver fibrosis in patients with chronic hepatitis B. *Aliment. Pharmacol. Ther*. 2016; 43: 458–469. <https://doi.org/10.1111/apt.13488>
8. Zhang Y., Fowler K.J., Hamilton G. et al. Liver fat imaging. Clinical overview of ultrasound, CT, and MR imaging. *Br. J. Radiol*. 2018; 91 (1089): 20170959. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170959>
9. Huber J., Günther M., Channaveerappa M., Hoinkiss, D.C. Towards free breathing 3D ASL imaging of the human liver using prospective motion correction. *Magn. Reson. Med*. 2022; 88 (2): 711–726. <https://doi.org/10.1002/mrm.29234>

Для корреспонденции*: Телеш Арина Александровна – e-mail: arina.doc@yandex.ru

Телеш Арина Александровна – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России; врач-рентгенолог ФГБУ “ГВКГ им. Н.Н. Бурденко” Минобороны России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0450-5148>

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

Contact*: Arina A. Telesh – e-mail: arina.doc@yandex.ru

Arina A. Telesh – Postgraduate student of Smolensk State Medical University, Ministry of Healthcare of Russia, Radiologist of Radiology Department, Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko Russian Defense Ministry, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0450-5148>

Tat'jana G. Morozova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Radiology Department of Smolensk State Medical University, Ministry of Healthcare of Russia, Radiologist of Radiology Department, Clinical Hospital No 1, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0003-4983-5300>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1423>

Роль энтероскопии в диагностике и лечении скрытых желудочно-кишечных кровотечений

© Кортиева А.Т.^{1*}, Крушельницкий В.С.^{1, 2}, Габриэль С.А.^{1, 2},
Дынько В.Ю.^{1, 2}, Гучетль А.Я.^{1, 2}

¹ ГБУЗ «Краевая клиническая больница №2» Минздрава Краснодарского края; 350012 Краснодар, ул. Красных партизан, д. 6, корп. 2, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России; 350063 Краснодар, ул. им. М. Седина, д. 4, Российская Федерация

Скрытое желудочно-кишечное кровотечение (ЖКК) определяется как стойкое или рецидивирующее кровотечение из желудочно-кишечного тракта, при котором эндоскопически не был определен источник. Новые достижения в диагностике тонкой кишки и возможность успешно проводить эндоскопическую терапию в значительной степени заменили хирургические процедуры и привели к тенденции использования неинвазивной диагностики и эндоскопического лечения скрытого ЖКК.

Цель обзора литературы: изучение современного состояния диагностики и лечения скрытых ЖКК.

Материал и методы. Проведен электронный поиск литературы с использованием баз данных: PubMed, Medline, Cochrane Library.

Результаты. В настоящий обзор литературы включены систематические обзоры и метаанализы, проспективные и ретроспективные исследования, обзоры литературы.

Заключение. Введение новых методов визуализации и энтероскопии поспособствовало в значительной степени улучшению эффективности методов диагностики и лечения скрытых кровотечений.

Ключевые слова: желудочно-кишечное кровотечение; энтероскопия; капсульная эндоскопия; энтероскопия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кортиева А.Т., Крушельницкий В.С., Габриэль С.А., Дынько В.Ю., Гучетль А.Я. Роль энтероскопии в диагностике и лечении скрытых желудочно-кишечных кровотечений. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 146–150. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1423>

Поступила в редакцию: 31.01.2024. **Принята к печати:** 16.03.2024. **Опубликована online:** 08.07.2024.

The role of enteroscopy in the diagnosis and treatment of hidden gastrointestinal bleeding

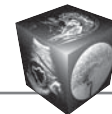
© Alena T. Kortieva^{1*}, Vladimir. S. Krushelnitskiy^{1, 2}, Sergei A. Gabriel^{1, 2},
Viktor Yu. Dynko^{1, 2}, Aleksandr Ya. Guchetl^{1, 2}

¹ Regional Clinical Hospital No 2; 6-2, Krasnyh partizan str., Krasnodar 350012, Russian Federation

² Kuban State Medical University; 4, M. Sedina str., Krasnodar 350063, Russian Federation

Aim. Gastrointestinal occult bleeding (OGB) is defined as persistent or recurrent bleeding from the gastrointestinal tract in which the source has not been identified endoscopically. New advances in small bowel diagnostics and the ability to successfully perform endoscopic therapy have largely replaced surgical procedures and have led to a trend towards non-invasive diagnosis and endoscopic treatment of OGB. The purpose of this literature review is to study the current state of diagnosis and treatment of occult gastrointestinal bleeding.

Materials and methods. An electronic literature search was carried out using databases: PubMed, Medline, Cochrane Library.



Results. This literature review includes systematic reviews and meta-analyses, prospective and retrospective studies, and literature reviews.

Conclusion. The introduction of new methods of imaging and endoscopy has contributed to a significant improvement in the effectiveness of methods for diagnosing and treating occult bleeding.

Keywords: gastrointestinal bleeding; endoscopy; capsule endoscopy; enteroscopy

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

For citation: Kortieva A.T., Krushelnitsky V.S., Gabriel S.A., Dynko V.Yu., Guchetl A.Ya. The role of enteroscopy in the diagnosis and treatment of hidden gastrointestinal bleeding. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 146–150. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1423>

Received: 31.01.2024.

Accepted for publication: 16.03.2024.

Published online: 08.07.2024.

Введение

Скрытое желудочно-кишечное кровотечение (ЖКК) определяется как стойкое или рецидивирующее кровотечение из желудочно-кишечного тракта, при котором эндоскопически не был визуализирован источник. Клиническая картина может проявляться как отсутствием видимой крови, так и периодической гематокезией. Если кровотечение из пищевода, желудка или толстой кишки не было выявлено при первоначальном эндоскопическом исследовании, то, по данным авторов литературы [1, 2], в 45–75% случаев источником скрытого ЖКК считается тонкая кишка. В случаях, когда источник кровотечения локализовался в тощей или подвздошной кишке, визуализация патологического очага длительное время являлась диагностической проблемой, из-за относительной недоступности эндоскопических методов. Прогресс в диагностике латентно протекающих кровотечений связан с появлением компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии [3], ангиографии и эндоскопических методов, а именно видеокапсульной энтероскопии, баллонно-ассистированной и спиральной энтероскопии [4, 5]. По данным ESGE, в настоящее время капсульная эндоскопия рекомендована в качестве выбора при наблюдении пациентов с подозрением на скрытые ЖКК при отсутствии патологического очага при баллонной энтероскопии, тогда как баллонная энтероскопия эффективна как при диагностике, так и для применения эндоскопических терапевтических методик. КТ-энтерография превосходит рентгенографию тонкой кишки для люминального и экстралюминального исследования тонкой кишки. С появлением вышеуказанных методик исследования тонкой кишки на всем протяжении становится более возможным и эндоскопическое лечение ЖКК. Новые достижения в диагностике заболеваний тонкой кишки и возможность успешного применения эндоскопических терапевтических методик в значительной степени снизили количество оперативных вмешательств [6].

Цель обзора литературы: изучение современного состояния диагностики и лечения скрытых ЖКК.

Материал и методы

Авторами проведен электронный поиск литературы с использованием баз данных: PubMed, Medline, Cochrane Library. В настоящий обзор литературы включены систематические обзоры и метаанализы, проспективные и ретроспективные исследования, обзоры литературы, опубликованные с 2005 по 2023 г.

Результаты

В результате проведенного электронного поиска по базам данных обнаружено 4 систематических обзора и метаанализа, 1 проспективное исследование, 1 ретроспективное исследование и 3 обзора литературы.

В проспективном исследовании 2011 г. J.E. Hurrich и соавт. [7] изучили и сравнили эффективность многофазной КТ-энтерографии с видеокапсульной эндоскопией в группе больных с неясными ЖКК. Источник тонкокишечного кровотечения был выявлен у 16 (28%) из 58 пациентов. Чувствительность КТ-энтерографии была значительно выше, чем у капсульной эндоскопии (88% против 38% соответственно; $p = 0,008$), чаще это было связано с тем, что выявлялось больше новообразований тонкой кишки (100% против 33% соответственно; $p = 0,03$). На основании этих результатов авторы предложили рассмотреть возможность добавления многофазной КТ-энтерографии к рутинному диагностическому обследованию пациентов с подозрением на скрытые ЖКК, особенно у пациентов с отрицательными результатами капсульной эндоскопии.

В ретроспективном исследовании 2008 г. T. Brunnler и соавт. [8] изучена роль скintiграфии у 92 больных с ЖКК неизвестной локализации, в 73% всех проведенных скintiграфий продемонстрирован положительный результат. В 4,5%



положительных результатов источник находился в желудке, в 37% – в тонкой кишке, в 25% – в правой части толстой кишки, в 4,5% – в левой части толстой кишки, в 20% четкая локализация невозможна и в 4% всех сцинтиграфий были ложноположительными. Провокационный тест на кровотечение с гепарином дополнительно показал 46% положительных сцинтиграфий с достоверной локализацией на первично-отрицательных сцинтиграфиях. Авторы заключили, что сцинтиграфия и сцинтиграфия с провокационными тестами с гепарином являются надежными методами диагностики скрытых ЖКК и позволяют определить источник в половине случаев неясных ЖКК.

C.S. Jackson и L.B. Gerson [9] в 2014 г. провели систематический обзор и метаанализ по теме лечения ангиодиспластических поражений желудочно-кишечного тракта (GIAD), определяющихся как патологически расширенные сосудистые образования. В работу включено 22 исследования с участием 831 пациента. Авторы получили следующие результаты: гормональная терапия в двух исследованиях случай–контроль не была эффективной для остановки кровотечения (отношение шансов (ОШ) 1,0; 95% доверительный интервал (ДИ) 0,5–1,96); в 14 исследованиях, включающих пациентов с ангиоэктазиями желудка, тонкой и толстой кишки, эндоскопическая терапия была эффективной в качестве начальной терапии, но частота рецидивов кровотечения составила 36% (95% ДИ 28–44%). Частота повторных кровотечений увеличилась до 45% (95% ДИ 37–52%), в исследованиях, включающих только ангиоэктазии тонкой кишки. В 4 исследованиях, оценивающих эффективность аналогов соматостатина для остановки кровотечения, ОШ составило 14,5 (95% ДИ 5,9–36). В двух исследованиях, оценивающих роль замены аортального клапана у 73 пациентов с синдромом Хейде, в течение 4 лет среднего периода наблюдения после операции частота повторных кровотечений составила 0,19 (95% ДИ 0,11–0,30). Основываясь на полученных результатах, авторы пришли к следующему выводу: более чем у трети пациентов с ангиоэктазиями желудочно-кишечного тракта после эндоскопической терапии возникали рецидивные кровотечения. Действие аналогов соматостатина при синдроме Хейде оказалось высокоэффективным при скрытых ЖКК.

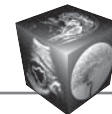
В систематическом обзоре и метаанализе 2011 г. C.W. Teshima и соавт. [10] сравнили двухбаллонную энтероскопию (ДБЭ) и видеокапсульную энтероскопию (ВКЭ) при скрытых ЖКК. Было выявлено 10 исследований, сводная диагностическая ценность капсульной энтероскопии (КЭ) соста-

вила 62% (95% ДИ 47,3–76,1), ДБЭ – 56% (95% ДИ 48,9–62,1) с ОШ для ВКЭ по сравнению с ДБЭ 1,39 (95% ДИ 0,88–2,20; $p = 0,16$). Анализ в подгруппах показал, что результат ДБЭ, выполненной после ранее положительной ВКЭ, составил 75,0% (95% ДИ 60,1–90,0). КЭ и ДБЭ продемонстрировали сопоставимые диагностические результаты у пациентов со скрытым ЖКК. Однако диагностическая ценность ДБЭ значительно выше при проведении у пациентов с положительным результатом КЭ.

В систематическом обзоре и метаанализе 2013 Z. Wang и соавт. [11] оценено клиническое применение КТ-энтерографии (КТЭ) в диагностике неясных ЖКК. В 18 исследований данной работы было включено 660 пациентов. В 7 исследованиях сравнивались результаты проведения КТЭ с КЭ. Эффективность применения КТЭ и КЭ составила 34 и 53% соответственно (ОШ = –19%, 95% ДИ от –34 до –4%). При рассмотрении идентифицированных поражений результат значительно различался для сосудистых и воспалительных поражений, но незначительно отличался для неопластических поражений. В 2 исследованиях с 63 пациентами сравнили результаты КТЭ с ДБЭ. Результат составил 38 и 78% соответственно (ОШ = –40%, 95% ДИ от –55 до –25%). Авторы пришли к выводу, что КТЭ является отличным диагностическим инструментом у пациентов со скрытым ЖКК и может применяться как дополнительный диагностический метод одновременно с проведением КЭ.

Систематический обзор и метаанализ 2020 г. G. Uchida и соавт. [12] был направлен на оценку эффективности применения диагностических и терапевтических эндоскопических методик при кровотечениях из тонкой кишки, а также определение оптимального времени проведения исследований. Было включено 22 исследования. Диагностическая ценность составила 65,2% для капсульной энтероскопии и 74,0% для баллонной энтероскопии. Эффективность терапевтических методик составила 35,8% соответственно. Мета-регрессионная модель показала, что длительность проведения энтероскопии была в значительной степени связана с диагностическим поиском патологического очага. Авторы пришли к выводу, что ВКЭ тонкой кишки и баллонная энтероскопия могут быть полезными диагностическими и терапевтическими методами при тонкокишечном кровотечении.

В обзоре литературы В. Murphy и соавт. (2019) [13] изучили проблему, посвященную диагностике и лечению тонкокишечных кровотечений. Авторы



утверждают, что при явном ЖКК КТ-ангиография и сцинтиграфия являются возможными и надежными методами диагностической визуализации, если стандартная эндоскопия демонстрирует отрицательный результат. Сцинтиграфия эритроцитов может быть полезной благодаря возможности обнаружения более низкой частоты кровотечений. ВКЭ или ДБЭ могут быть рассмотрены при скрытом ЖКК после проведения рутинных эндоскопических методик.

А.К. Hara и соавт. (2005) [14] провели обзор литературы на тему визуализации заболеваний тонкой кишки. Согласно результатам авторов, скрытое ЖКК является наиболее частым показанием к проведению КЭ, которая визуализирует артериовенозные мальформации, опухоли тонкой кишки и язвы, пропущенные при рутинной эндоскопии. Однако КЭ не является оптимальным методом исследования для установления локализации поражений тонкой кишки. Кроме того, патологический очаг может быть не визуализирован в связи с плохой подготовкой пациента к исследованию. КТ и рентгеноконтрастные исследования с барием эффективны для диагностики органических поражений. Другими ограничениями КЭ являются отсутствие применения терапевтических методик при диагностике поражений, а также ограниченное применение у пациентов со стриктурами тонкой кишки.

В обзоре литературы S. Bonnet и соавт. (2013) [15] изучили интраоперационную энтероскопию при лечении скрытых ЖКК. По данным авторов, интраоперационная энтероскопия позволяет провести полную ревизию тонкой кишки в 57–100% случаев. Источник кровотечения удается установить в 80% случаев. Основными причинами кровотечений являются сосудистые поражения (61%) и доброкачественные язвы тонкой кишки (19%). При обнаружении патологического очага интраоперационная энтероскопия позволяет успешно и безрецидивно справиться с ЖКК в 76% случаев. Летальность составляет 5%, а заболеваемость – 17%. Рецидив кровотечения наблюдается в 13–52% случаев.

Скрытые ЖКК длительное время являлись диагностической проблемой, вызванной относительной недоступностью тонкой кишки для рутинной эндоскопической диагностики. В настоящее время тонкая кишка доступна визуализации с помощью новых методов энтероскопии, видеокапсульной и баллонной энтероскопии. Несмотря на развитие рентгенохирургических и эндоскопических методик лечения, интраоперационная энтероскопия остается актуальной для точной диагностики локализации пораженного участка [16].

Заключение

Скрытые желудочно-кишечные кровотечения представляют собой жизнеугрожающие состояния для пациента, чаще связанные с поражением тонкой кишки. Тем не менее введение новых методов визуализации и эндоскопии поспособствовало улучшению эффективности методов диагностики и лечения скрытых кровотечений. В то же время исследование с использованием рандомизации и большой выборки пациентов будут полезны в дальнейшем для более подробного изучения данной проблемы.

Участие авторов

Концепция и дизайн исследования: Кортиева А.Т., Крушельницкий В.С.

Сбор и обработка материалов: Кортиева А.Т.

Написание текста: Габриэль С.А., Дынько В.Ю., Кортиева А.Т.

Редактирование: Дынько В.Ю., Гучетль А.Я.

Authors contribution

Concept and design of the study: Kortieva A.T., Krushelnitsky V.S.

Collection and processing of the material: Kortieva A.T.

Writing text: Gabriel S.A., Dynko V.Yu., Kortieva A.T.

Editing: Dynko V.Yu., Guchetl A.Ya.

Список литературы [References]

1. Zuckerman G.R., Prakash C., Askin M.P. et al. AGA technical review on the evaluation and management of occult and obscure gastrointestinal bleeding. *Gastroenterology*. 2000; 118: 201–221. [https://doi.org/10.1016/s0016-5085\(00\)70430-6](https://doi.org/10.1016/s0016-5085(00)70430-6)
2. Szold A., Katz L.B., Lewis B.S. Surgical approach to occult gastrointestinal bleeding. *Am. J. Sur.* 1992. 163 (1): 90–93. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(92\)90258-s](https://doi.org/10.1016/0002-9610(92)90258-s)
3. McSweeney S.E., O'Donoghue P.M., Jhaveri K. Current and emerging techniques in gastrointestinal imaging. *J. Postgrad. Med.* 2010; 56 (2): 109–116. <https://doi.org/10.4103/0022-3859.65280>
4. Morgan D., Upchurch B., Draganov P. et al. Spiral enteroscopy: prospective U.S. multicenter study in patients with small-bowel disorders. *Gastrointest. Endosc.* 2011; 72: 992–998. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2010.07.013>
5. Baniya R., Upadhyay S., Subedi S.C. et al. Balloon enteroscopy versus spiral enteroscopy for small-bowel disorders: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest. Endosc.* 2017; 86 (6): 997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2017.06.015>
6. Pasha S.F., Hara A.K., Leighton J.A. Diagnostic evaluation and management of obscure gastrointestinal bleeding: a changing paradigm. *Gastroenterol. Hepatol. (N.Y.)*. 2009; 5 (12): 839–850.
7. Huprich J.E., Fletcher J.G., Fidler J.L. et al. Prospective blinded comparison of wireless capsule endoscopy and multiphase CT enterography in obscure gastrointestinal bleeding. *Radiology*. 2011; 260 (3): 744–751. <https://doi.org/10.1148/radiol.11110143>



8. Brunnler T., Klebl F., Mundorff S. et al. Significance of scintigraphy for the localisation of obscure gastrointestinal bleedings. *Wld J. Gastroenterol.* 2008; 14 (32): 5015–5019. <https://doi.org/10.3748/wjg.14.5015>
9. Jackson C.S., Gerson L.B. Management of gastrointestinal angiodysplastic lesions (GIADs): a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Gastroenterol.* 2014; 109 (4): 474–484. <https://doi.org/10.1038/ajg.2014.19>
10. Teshima C.W., Kuipers E.J., van Zanten S.V. et al. Double balloon enteroscopy and capsule endoscopy for obscure gastrointestinal bleeding: an updated meta-analysis. *J. Gastroenterol. Hepatol.* 2011; 26 (5): 796–801. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2010.06530.x>
11. Wang Z., Chen J.Q., Liu J.L. et al. CT enterography in obscure gastrointestinal bleeding: a systematic review and meta-analysis. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2013; 57 (3): 263–273. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12035>
12. Uchida G., Nakamura M., Yamamura T. et al. Systematic review and meta-analysis of the diagnostic and therapeutic yield of small bowel endoscopy in patients with overt small bowel bleeding. *Dig. Endosc.* 2021; 33 (1): 66–82. <https://doi.org/10.1111/den.13669>
13. Murphy B., Winter D.C., Kavanagh D.O. Small Bowel Gastrointestinal Bleeding Diagnosis and Management-A Narrative Review. *Front. Surg.* 2019; 6: 25. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2019.00025>
14. Hara A.K., Leighton J.A., Sharma V.K. et al. Imaging of small bowel disease: comparison of capsule endoscopy, standard endoscopy, barium examination, and CT. *Radio-graphics.* 2005; 25 (3): 697–711. Discussion 711–718. <https://doi.org/10.1148/rg.253045134>
15. Bonnet S., Douard R., Malamut G. et al. Intraoperative enteroscopy in the management of obscure gastrointestinal bleeding. *Dig. Liver Dis.* 2013; 45 (4): 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.dld.2012.07.003>
16. Gerson L.B., Flodin J.T., Miyabayashi K. Balloon-assisted enteroscopy: technology and troubleshooting. *Gastrointest. Endosc.* 2008; 68 (6): 1158–1167. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2008.08.012>

Для корреспонденции*: Кортиева Алена Таймуразовна – e-mail: kat_endo@mail.ru

Кортиева Алена Таймуразовна – врач-эндоскопист 1-й квалификационной категории ГБУЗ “ККБ №2”, Краснодар. <http://orcid.org/0000-0001-7431-4887>

Крушельницкий Владимир Станиславович – канд. мед. наук, первый заместитель главного врача, врач-эндоскопист высшей категории ГБУЗ “ККБ №2”; ассистент кафедры хирургии №3 ФПК и ППС ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет” Минздрава России, Краснодар. <http://orcid.org/0000-0001-7862-8613>

Габриэль Сергей Александрович – доктор мед. наук, профессор, главный врач ГБУЗ “ККБ №2”; профессор кафедры хирургии №3 ФПК и ППС ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет” Минздрава России, Краснодар. <http://orcid.org/0000-0002-0755-903>

Дынько Виктор Юрьевич – канд. мед. наук, заведующий отделением эндоскопии, врач-эндоскопист высшей категории ГБУЗ “ККБ №2”; доцент кафедры хирургии №3 ФПК и ППС ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет” Минздрава России, Краснодар. <http://orcid.org/0000-0001-5594-5739>

Гучетль Александр Якубович – канд. мед. наук, руководитель центра эндоскопических методов диагностики и лечения, врач-эндоскопист высшей категории ГБУЗ “ККБ №2”; доцент кафедры хирургии №3 ФПК и ППС КубГМУ, Краснодар. <http://orcid.org/0000-0001-8788-0749>

Contact*: Alena T. Kortieva – e-mail: kat_endo@mail.ru

Alena T. Kortieva – Endoscopy department doctor, Regional Clinical Hospital No 2, Krasnodar. <http://orcid.org/0000-0001-7431-4887>

Vladimir. S. Krushelnitskiy – Cand. of Sci. (Med.), First Deputy Chief Physician, Endoscopy department doctor, endoscopist of the highest category, Regional Clinical Hospital No 2; Assistant at the Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. <http://orcid.org/0000-0001-7862-8613>

Sergei A. Gabriel – Doct. of Sci. (Med.), Chief Physician of Regional Clinical Hospital No 2; Professor at the Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. <http://orcid.org/0000-0002-0755-903X>

Viktor Yu. Dynko – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Endoscopy Department, endoscopist of the highest category, Clinical Hospital No 2; Assistant Professor at the Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. <http://orcid.org/0000-0001-5594-5739>

Aleksandr Ya. Guchetl – Cand. of Sci. (Med.), Head of center for endoscopic diagnostic and treatment methods, Clinical Hospital No 2; Assistant Professor at the Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. <http://orcid.org/0000-0001-8788-0749>