

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

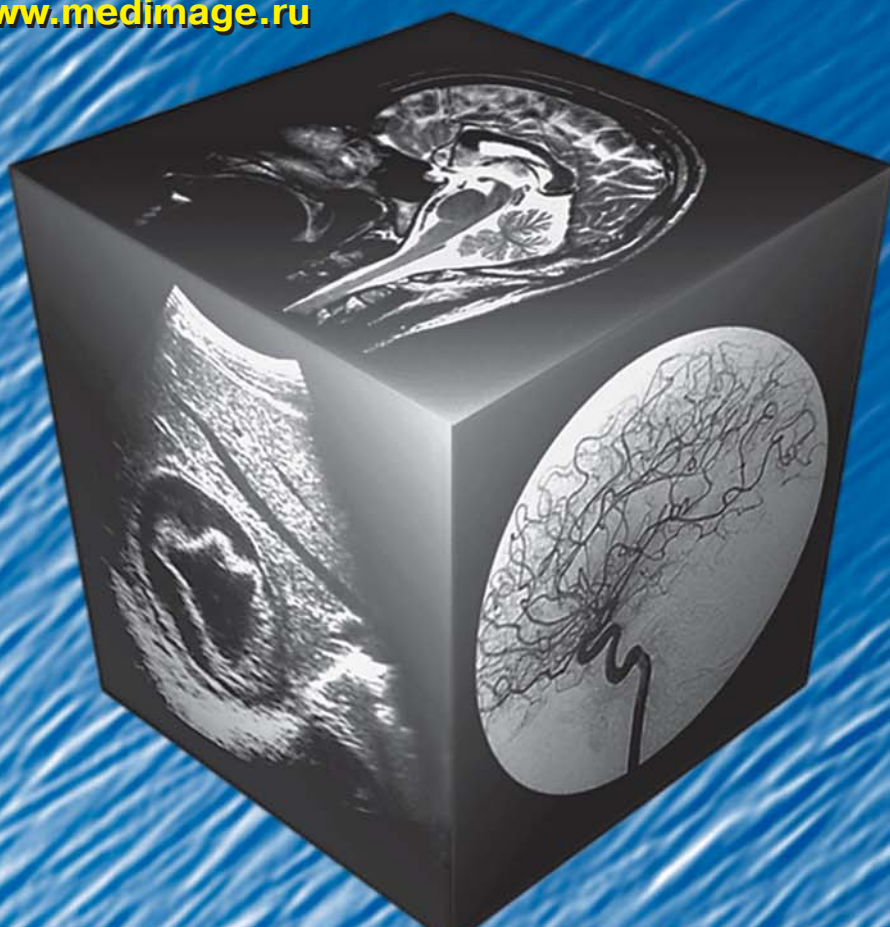
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 25 №4
Vol 25 N4

2021

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



- МРТ и КТ в диагностике церебрального венозного инсульта
- Сопоставимость методик оценки коронарных рисков по данным ультра-НДКТ грудной клетки и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией
- Диагностическая и прогностическая ценность диффузионно-взвешенного изображения печени при МРТ у пациентов с алкогольной болезнью печени
- Компьютерная томография при переломах таза у детей
- Количественная компьютерная томография, современные данные

ВИДАР

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

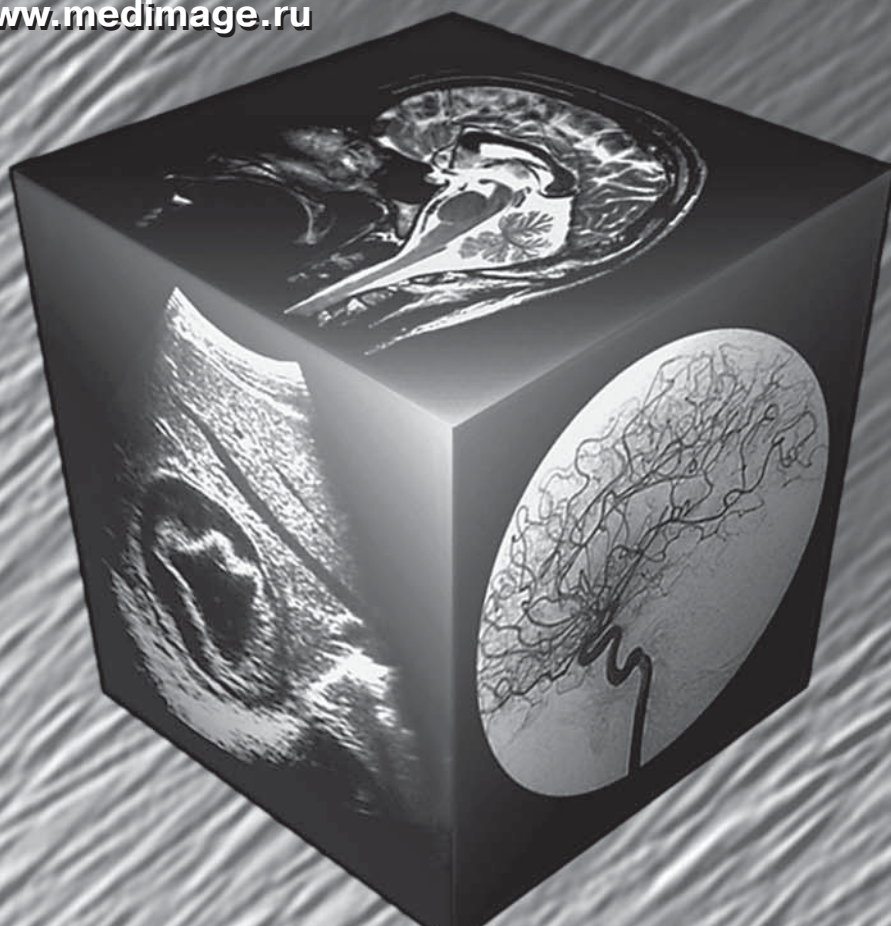
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 25 №4
Vol 25 N4

2021

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



- МРТ и КТ в диагностике церебрального венозного инсульта
- Сопоставимость методик оценки коронарных рисков по данным ультра-НДКТ грудной клетки и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией
- Диагностическая и прогностическая ценность диффузионно-взвешенного изображения печени при МРТ у пациентов с алкогольной болезнью печени
- Компьютерная томография при переломах таза у детей
- Количественная компьютерная томография, современные данные

ВИДАР

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditinskaya vizualizatsiya

2021 Том 25 №4

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

Официальный
печатный орган

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

Издатель

ООО "Видар" (109028, Москва, а/я 16)

Главный редактор

Кармазановский Григорий Григорьевич – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением рентгенологии и магнитно-резонансных исследований с кабинетом ультразвуковой диагностики ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского" Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики и терапии медико-биологического факультета ФГАОУ ВО РНИМУ имени 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, Россия.

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, Россия. E-mail: nudnov@rncrr.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Заместитель главного редактора

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением лучевой диагностики Клинической больницы №2 МЕДСИ, Москва, Россия. E-mail: gai8@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>. Scopus Author ID: 7102053957

Научные консультанты

Пронин Игорь Николаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГАУ "Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко" Минздрава России, профессор Научно-образовательного центра, Москва, Россия. Scopus Author ID: 7006011755

Ревизишли Амиран Шотаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского" Минздрава России; заведующий кафедрой ангиологии, сердечно-сосудистой, эндоваскулярной хирургии и аритмологии ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России; Президент Всероссийского научного общества аритмологов, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753

Schima Wolfgang – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела диагностики и интервенционной радиологии Клиники Krankenhaus Gottlicher Heiland, Вена, Австрия. <https://orcid.org/0000-0001-6054-4737>. Scopus Author ID: 22956493100

Зав. редакцией

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

Груздев Иван Сергеевич – научный редактор переводов.

Редакционная коллегия

Араблинский Андрей Владимирович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевой диагностики ГБУЗ "Городская клиническая больница имени С.П. Боткина" Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000000308543598>

Ахатов Толибджон Абдуллаевич – доктор мед. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный врач Российской Федерации, руководитель отдела лучевых методов диагностики НИИ неотложной детской хирургии и травматологии Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>

Борсуков Алексей Васильевич – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры факультетской терапии ФГБОУ ВО "Смоленский государственный медицинский университет" Минздрава России; заведующий городским отделением диагностических и малоинвазивных технологий, руководитель Проблемной научно-исследовательской лаборатории "Диагностические исследования и малоинвазивные технологии" ОГБУЗ "Клиническая больница №1" г. Смоленска, Смоленск, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>

Ветшева Наталья Николаевна – доктор мед. наук, заместитель директора по медицинской части, заведующая отделом ГБУЗ города Москвы “НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>. Scopus Author ID: 6176616600

Вишнякова Мария Валентиновна – доктор мед. наук, профессор, руководитель рентгенологического отдела, заведующая кафедрой лучевой диагностики факультета усовершенствования врачей ГБУЗ Московской области “Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского”, главный специалист по лучевой диагностике Минздрава Московской области, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-3838-636X>

Гаждонова Вероника Евгеньевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента РФ, заведующая кабинетом ультразвуковой ангиографии, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Объединенная больница с поликлиникой” Управления делами Президента РФ, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-4742-9157>. Scopus Author ID: 8364969000

Игнатьев Юрий Тимофеевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Омская государственная медицинская академия” Минздрава России, Омск, Россия. Scopus Author ID: 57203357735

Котляров Петр Михайлович – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой рентгеновской диагностики ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>. Scopus Author ID: 7003497625

Лукьянченко Александр Борисович – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник рентгенодиагностического отделения НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>

Мищенко Андрей Владимирович – доктор мед. наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова” Минздрава России, профессор научно-клинического и образовательного центра “Лучевая диагностика и ядерная медицина” Института высоких медицинских технологий медицинского факультета ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, Санкт-Петербург, Россия. Scopus Author ID: 55791087500

Морозов Сергей Павлович – доктор мед. наук, профессор, директор ГБУЗ города Москвы “НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. Scopus Author ID: 7102189637

Петряйкин Алексей Владимирович – канд. мед. наук, доцент, старший научный сотрудник отдела разработки средств контроля и технического мониторинга, врач-рентгенолог, эксперт учебно-консультативного отдела ГБУЗ города Москвы “НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. Scopus Author ID: 7801330975

Прокопенко Сергей Павлович – канд. мед. наук, заведующий отделением комплексной и интервенционной радиологии в маммологии Национального центра онкологии репродуктивных органов ФГБУ “Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П.А. Герцена” – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой клинической маммологии, лучевой диагностики, лучевой терапии факультета непрерывного медицинского образования РУДН, Москва, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-0369-5755>. Scopus Author ID: 7004120546

Ростовцев Михаил Владиславович – доктор мед. наук, заведующий отделом лучевой диагностики ГБУЗ “Городская клиническая больница имени М.Е. Жадкевича Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-5032-4164>

Рубцова Наталья Алефтиновна – доктор мед. наук, руководитель отдела лучевой диагностики ФГБУ “Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П.А. Герцена” – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва, Россия. Scopus Author ID: 15844343600

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель курса лучевой диагностики факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Президент Российского общества рентгенологов и радиологов, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus Author ID: 7102735724

Степанова Юлия Александровна – доктор мед. наук, Ученый секретарь ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Президент РОО “Общество рентгенологов, радиологов и специалистов ультразвуковой диагностики города Москвы”, Москва, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

Терновой Сергей Константинович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии РФ в области образования, руководитель отдела томографии Института клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии” Минздрава России; заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии ГБОУ ВПО “Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова” Минздрава России, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-4374-1063>. Scopus Author ID: 7005882661

Тимина Ирина Евгеньевна – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований с кабинетом ультразвуковой диагностики ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Россия. Scopus Author ID: 24333032000

Троян Владимир Николаевич – доктор мед. наук, профессор, начальник центра лучевой диагностики ФГБУ “Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко” Минобороны России, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-8008-9660>

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской Академии наук, Томск, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>. Scopus Author ID: 16937595600

Фисенко Елена Полиектовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник лаборатории ультразвуковой диагностики отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”; профессор кафедры функциональной и ультразвуковой диагностики ФГАОУ “Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова” Минздрава России, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>

Хохлов Александр Леонидович – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой клинической фармакологии с курсом ИПДО ФГБОУ ВО “Ярославский государственный медицинский университет” Минздрава России, Ярославль, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-0032-0341>. Scopus Author ID: 7201745706

Шейх Жанна Владимировна – доктор мед. наук, профессор, врач-рентгенолог отдела лучевой диагностики ГБУЗ “Городская клиническая больница имени С.П. Боткина” Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>

Щеголев Александр Иванович – доктор мед. наук, профессор, заведующий патологоанатомическим отделением ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-2111-1530>. Scopus Author ID: 7003338835

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии ФГБОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-0310-0889>

Редакционный совет

Ахметов Еркем Абибуллаевич – доктор мед. наук, доцент, проректор по научной и клинической деятельности АО “Медицинский университет Астана”, Астана, Казахстан.

Ашрафян Левон Андреевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, директор Института онкогинекологии и маммологии, Москва, Россия. Scopus Author ID: 57194173388

Nicholas C. Gourtsoyiannis – доктор мед. наук, профессор, заслуженный профессор в отставке Университета Крита; директор по научным исследованиям Европейской школы радиологии (ESOR), Афины, Греция. Scopus Author ID: 24369117700

Долгушин Борис Иванович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики, лучевой терапии и медицинской физики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного последипломного образования” Минздрава России, Москва, Россия. Scopus Author ID: 6604000392

Икрамов Адхам Ильхамович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской радиологии Ташкентского института усовершенствования врачей Минздрава Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан. Scopus Author ID: 6603001286

Caseiro Alves Filipe – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры визуализации на медицинском факультете г. Коимбра, руководитель отдела медицинской визуализации в университетской клинике г. Коимбра, Португалия. <http://orcid.org/0000-0001-9397-6149>. Scopus Author ID: 6602827278

Gabriel P. Krestin – доктор мед. наук, профессор, руководитель отделения и кафедры радиологии Erasmus MC Университетского медицинского центра г. Роттердам, Нидерланды. Scopus Author ID: 7007072461

Рахимжанова Раушан Ибжановна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой радиологии №1 АО “Медицинский университет Астана”, главный специалист по лучевой диагностике Минздрава Республики Казахстан, заслуженный деятель Республики Казахстан, академик Академии профилактической медицины Республики Казахстан, Астана, Казахстан. <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>. Scopus Author ID: 55776205100

Rienmüller Rainer – иностранный член РАН, доктор мед. наук, профессор, профессор отделения общей радиологии Медицинского университета Грац, Грац, Австрия. Scopus Author ID: 7003654650

Рожкова Надежда Ивановна – доктор мед. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Совета Министров СССР, руководитель Национального центра онкологии репродуктивных органов МНИОИ имени П.А. Герцена – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, профессор кафедры клинической маммологии, лучевой диагностики, лучевой терапии факультета непрерывного медицинского образования РУДН, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-0920-1549>. Scopus Author ID: 7006577356

Трофимова Татьяна Николаевна – доктор мед. наук, профессор, директор научно-клинического и образовательного центра “Лучевая диагностика и ядерная медицина” Института высоких медицинских технологий медицинского факультета ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”; ведущий научный сотрудник отдела экологической физиологии ФГБНУ “Институт экспериментальной медицины”, Санкт-Петербург, Россия. <http://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. Scopus Author ID: 7006098439

Тюрин Игорь Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики, лучевой терапии и медицинской физики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного последипломного образования” Минздрава России, Москва, Россия. <https://orcid.org/0000-0003-3931-1431>. Scopus Author ID: 6602519408

Ходжибеков Марат Худайкулович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой онкологии и лучевой диагностики Ташкентской медицинской академии, Ташкент, Узбекистан.

Цвиркун Виктор Викторович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник Московского клинического научного центра имени А.С. Логинова Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия. <http://orcid.org/0000-0001-5169-2199>

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.

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

ООО “Видар” 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”, 2021.

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 15.12.2021 г.

MEDICAL VISUALIZATION



Медицинская визуализация
Meditsinskaya vizualizatsiya

2021 V. 25 N4

Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

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

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

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

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

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

Editor-in-Chief

Grigory G. Karmazanovsky – corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Diagnostic Radiology department “A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery” of the Ministry of Health of the Russian Federation; Professor of radiology department 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 and Radiologists. Moscow, Russian Federation. E-mail: karmazanovsky@yandex.ru, karmazanovsky@ixv.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9357-0998>. Scopus Author ID: 55944296600

First Deputy Editor

Nikolay V. Nudnov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, Deputy Director for the scientific work of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. E-mail: nudnov@rncrr.ru <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Deputy Chief Editor

Alexander I. Gromov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of Radiology Department of Clinical hospital No.2 of “Medsi group” Joint Stock Company, Moscow, Russian Federation. E-mail: gai8@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>. Scopus Author ID: 7102053957

Scientific consultants

Igor N. Pronin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. 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

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; Head of Angiology, Cardiovascular, Endovascular Surgery and Arrhythmology Department of Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of Ministry of Health of Russia; President of the All-Russian Scientific Society of Arrhythmologists Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753

Schima Wolfgang – Ph.D. in Medicine, Professor, Head of the Riagnostics and interventional radiology Department at Clinic Krankenhaus Gottlicher Heiland, Vienna, Austria. <https://orcid.org/0000-0001-6054-4737>. Scopus Author ID: 22956493100

Chief of office

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

Ivan S. Gruzdev – scientific translation editor.

Editorial board

Andrey V. Arablinskiy – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiology department, S.P. Botkin City Clinical Hospital; Professor, Department of Radiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>

Tolibdzhon A. Akhadov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of Russian Federation, Honored Doctor of the Russian Federation, Head of radiology department, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-3235-8854>

Alexey V. Borsukov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor Chair of Intermediate Level Therapy of Smolensk State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation. Head of the municipal diagnostic and minimally invasive technologies department, Head of the Problem Research Laboratory “Diagnostic and minimally invasive technologies” Smolensk Clinical Hospital №1. Smolensk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>

Natalia N. Vetsheva – Dr. of Sci. (Med.), Deputy Director for Medical, Head of the Department, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>. Scopus Author ID: 6176616600

Mariya V. Vishnyakova – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiology Department, M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI), Chief specialist in radiological diagnostics, Ministry of Health of Moscow Region, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-3838-636X>

Veronika E. Gazhonova – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor of Radiology department of postgraduate professional education “Central State Medical Academy” management department of the President of Russian Federation; Head of US-angiography of “United hospital and polyclinic” Administrative Directorate of the President of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4742-9157>. Scopus Author ID: 8364969000

Yury T. Ignat'ev – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiology Department, Omsk State Medical Academy, Omsk, Russian Federation. Scopus Author ID: 57203357735

Peter M. Kotlyarov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the radiation X-ray diagnostics Department of the Federal state budgetary institution “Russian Scientific Center of Roentgenoradiology”, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>. Scopus Author ID: 7003497625

Alexander B. Lukianchenko – Dr. of Sci. (Med.), Professor, leading researcher of the diagnostic radiology department, National medical research center of oncology of N.N. Blokhin, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>

Andrei V. Mishchenko – Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, leading researcher, N.N. Petrov National Medical Research Oncology Center, Saint Petersburg, Russian Federation. Scopus Author ID: 55791087500

Sergey P. Morozov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. Scopus Author ID: 7102189637

Alexey V. Petraikin – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Senior Researcher of the Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. Scopus Author ID: 7801330975

Sergey P. Prokopenko – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Comprehensive and Interventional Radiology in Mammology, National Center for Reproductive Organs Oncology, FSBI “P.A. Herzen Moscow Oncological Research Institute of Oncology” branch of the Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Center of Radiology” of the Ministry of Health of Russia; Head of the Department of Clinical Mammology, Radiological Diagnostics, Radiological Therapy, Faculty of Continuing Medical Education, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0369-5755>. Scopus Author ID: 7004120546

Mikhail V. Rostovtsev – Dr. of Sci. (Med.), Head of Radiology department of the City clinical hospital them M.E. Zhadkevich (GKB № 71), Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5032-4164>

Natalia A. Rubtsova – Dr. of Sci. (Med.), Head of Radiology department of 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

Valentin E. Sinitsyn – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the radiology center of the FSU “Medical rehabilitation center of the Ministry of health of Russia”, President Of the Russian Society of Radiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus Author ID: 7102735724

Yulia A. Stepanova – Doct. of Sci. (Med.), Academic Secretary of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; President of RPO “Society of Radiologists and Ultrasound Diagnostic Specialists of Moscow”, Moscow, Russia. <http://orcid.org/0000-0002-2348-4963>

Sergey K. Ternovoy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of Russian Federation, Laureate of the USSR Government Award, Laureate of the Russian Federation Government Award in the field of Education; Head of the Radiology department I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Head of the Tomography Department, A.L. Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4374-1063>. Scopus Author ID: 7005882661

Irina E. Thimina – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Senior Researcher of Diagnostic Radiology department of A.V. Vishnevsky Institute of Surgery, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID: 24333032000

Vladimir N. Troyan – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiology Department of the FGBU “Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko” of the Ministry of Defense of Russia, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-8008-9660>

Wladimir Yu. Ussov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of X-ray and Tomographic Methods of Diagnosis, Research Institute of Cardiology of the Tomsk National medical Research Center, Tomsk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>. Scopus Author ID: 16937595600

Elena P. Fisenko – Dr. of Sci. (Med.), Chief Researcher of Ultrasound Diagnostics Department, B.V. Petrovsky Russian Research Surgery Center; Professor, Diagnostic Ultrasound Division, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>

Aleksandr L. Khokhlov – corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Clinical Pharmacology with an Institute of Postgraduate Education course Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0032-0341>. Scopus Author ID: 7201745706

Zhanna V. Sheikh – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of Computed Tomography Department of S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>

Alexander I. Shchegolev – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the anatomic pathology Department at the Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology of the Russian Ministry of Healthcare, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-2111-1530>. Scopus Author ID: 7003338835

Andrey L. Yudin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Radiology department, N.I. Pirogov Russian national research medical university, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0310-0889>

Editorial Council

Yermek A. Akhmetov – Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Director of the Department of strategic development and international relations of JSC “Astana Medical University”, Astana, Kazakhstan.

Levon A. Ashrafian – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Institute of Oncogynecology and Mammology, Deputy Director of the Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Moscow, Russia. Scopus Author ID: 57194173388

Nicholas C. Gourtsoyiannis – M.D., Ph.D., Professor, Division of Vascular Surgery, University Hospital of Heraklion, Medical School of Heraklion, Crete, Greece. Scopus Author ID: 24369117700

Boris I. Dolgushin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor; Deputy director of N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center, Radiology and Medical Physics Department of Russian Medical Academy of Post-Graduate Education, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID: 6604000392

Adkham I. Ikramov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of Medical Radiology Department of Tashkent Institute of Postgraduate Medical Education, Tashkent, Uzbekistan. Scopus Author ID: 6603001286

Caseiro Alves Filipe – Ph.D. in Medicine, Professor. Professor of the Imaging Department at the medical faculty of Coimbra. Head of medical imaging Department at the University Hospital of Coimbra., Coimbra, Portugal. <http://orcid.org/0000-0001-9397-6149>. Scopus Author ID: 6602827278

Gabriel P. Krestin – Ph.D. in Medicine, Professor. Head of the Radiology Department and Division, Erasmus MC, University Medical Center in Rotterdam, the Netherlands. Scopus Author ID: 7007072461

Raushan I. Rakhimzhanova – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiology, Astana Medical University, chief specialist in radiological diagnostics of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Honored Worker of the Republic of Kazakhstan, Academician of the Academy of Preventive Medicine of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>. Scopus Author ID: 55776205100

Rainer Riemüller – M.D., Ph.D., Professor, Ordinarius for Radiology, Head of the Department of General Diagnostic Radiology of the Medical University Graz, Graz, Austria. Scopus Author ID: 7003654650

Nadezhda I. Rozhkova – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Council of Ministers of the USSR, Clinical Mammology and Radiology Department, Advanced Training Faculty, Peoples' Friendship University of Russia, Head of the National Reproductive organs Oncology Center, P.A. Herzen Moscow Research Institute of Oncology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-0920-1549>. Scopus Author ID: 7006577356

Tat'yana N. Trofimova – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher, Institute of the Human Brain n.a. N.P. Behtereva RAS, Professor-consultant in St. Petersburg Center for Control of AIDS and Infectious Diseases, Head of the Medical imaging educational course, Saint Petersburg State Medical Academy, St. Petersburg, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. Scopus Author ID: 7006098439

Igor E. Tyurin – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiology and Medical Physics Department of Russian Medical Academy of Post-Graduate Education, Senior researcher at Department of Radiology, N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-3931-1431>. Scopus Author ID: 6602519408

Marat Kh. Khodzhibekov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Oncology and Radiology, Tashkent Medical Academy, Tashkent, Uzbekistan.

Viktor V. Tsvirkun – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Loginov Moscow Clinical Research Center, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0001-5169-2199>

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” 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., 2021
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: 15.12.2021



Содержание

14 Читателям журнала “Медицинская визуализация”

COVID-19

16 Острая окклюзия аорты у пациента с вирусной пневмонией SARS-CoV-2 (COVID-19)

Мичурова М.С., Ковалевич Л.Д., Волеводз Н.Н.,
Бурякина С.А., Тарбаева Н.В., Калашников В.Ю.,
Токарев К.Ю., Хайриева А.В., Мокрышева Н.Г.

Голова

23 Магнитно-резонансная и компьютерная томографии в диагностике церебрального венозного инсульта

Котляров П.М., Лагуева И.Д., Сергеев Н.И.

31 О функциональной и диагностической значимости типа фМРТ-ответа при двигательных нагрузках у пациентов с травматическим повреждением мозга

Шарова Е.В., Болдырева Г.Н., Лысачев Д.А.,
Дзюбанова Н.А., Жаворонкова Л.А., Смирнов А.С.,
Погосбекян Э.Л., Машеров Е.Л., Пронин И.Н.

47 Планирование методов хирургической коррекции мягких тканей лица и шеи

Алимова С.М., Шаробаро В.И., Тельнова А.В.,
Степанян Э.Э.

Сердце и сосуды

53 МРТ и КТ-венография в диагностике гемодинамических нарушений у пациентов с хроническими заболеваниями вен нижних конечностей Часть III. Возможности КТ-исследований в диагностике нарушений венозной гемодинамики

Шайдаков Е.В., Санников А.Б., Емельяненко В.М.,
Рачков М.А., Крюкова Л.Н., Баранова А.Е.

75 Сопоставимость методик оценки коронарных рисков по данным ультра-НДКТ грудной клетки и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией

Николаев А.Е., Коркунова О.А., Хуторной И.В.,
Пахомов П.В., Гаврилов П.В., Петряйкин А.В.,
Сучилова М.М., Шапиев А.Н., Дадакина И.С.,
Серебрякова И.В., Першина Е.С.,
Гомблевский В.А., Морозов С.П.

Молочные железы

93 Компьютерный анализ маммограмм низкой плотности: результаты одноцентрового проспективного рандомизированного клинического исследования

Пасынков Д.В., Тухбатуллин М.Г., Хасанов Р.Ш.

Брюшная полость

106 Диагностическая и прогностическая ценность диффузионно-взвешенного изображения печени при магнитно-резонансной томографии у пациентов с алкогольной болезнью печени

Морозова Т.Г., Лозбенев Ф.С., Ковалёв А.В.

115 Эктопированная селезенка в печени, ошибочно принятая за гепатоцеллюлярный рак (клиническое наблюдение внутрипеченочного спленоза)

Медведева Б.М., Лукьянченко А.Б.,
Романова К.А., Мороз Е.А., Поляков А.Н.

Детская рентгенология

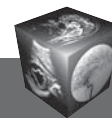
122 Компьютерная томография при переломах таза у детей

Серова Н.Ю., Ахадов Т.А., Карасева О.В.,
Мельников И.А., Божко О.В., Никишов С.О.,
Дмитренко Д.М., Манжурцев А.В., Ахлебинина М.И.,
Костикова Т.Д., Сидоров С.В., Ублинский М.В.,
Хусаинова Д.Н.

Новые технологии лучевых исследований

134 Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор

Петряйкин А.В., Скрипникова И.А.



Contents

14 Letter to the readers of "Medical Visualization"

COVID-19

16 Acute aortic thrombosis in a patient with SARS-CoV-2 coronavirus disease (COVID-19)

Marina S. Michurova, Lilia D. Kovalevich,
Natalya N. Volevodz, Svetlana A. Buryakina,
Natalia V. Tarbaeva, Viktor Yu. Kalashnikov,
Konstantin Yu. Tokarev, Angelina V. Khajrieva,
Natalia G. Mokrysheva

Head

23 Magnetic resonance imaging and computed tomography in the diagnosis of cerebral venous infarction

Peter M. Kotlyarov, Irina Dz. Lagkueva,
Nikolai I. Sergeev

31 Functional and diagnostic significance of the fMRI-response type to motor loads in patients after traumatic brain damage

Elena V. Sharova, Galina N. Boldyreva,
Dmitry A. Lysachev, Natalia A. Dzyubanova,
Lyudmila A. Zhavoronkova, Aleksandr S. Smirnov,
Edward L. Pogosebekian, Evgeny L. Masherov,
Igor N. Pronin

47 Planning of methods of surgical correction of soft tissues of the face and neck

Sekina M. Alimova, Valentin I. Sharobaro,
Anna V. Telnova, Elza E. Stepanyan

Heart and vessels

53 MRI and CT-venography in the diagnosis of hemodynamic disturbances in patients with chronic lower extremities venous disorders. Part III. Possibilities of CT-investigation in diagnosing of venous hemodynamics violations

Evgenij V. Shajdakov, Aleksandr B. Sannikov,
Vladimir M. Emelyanenko, Mihail A. Rachkov,
Lyudmila N. Kryukova, Anna E. Baranova

75 Comparability of coronary risk assessment methods with chest ultra-LDCT and CT coronography with ECG synchronization

Aleksandr E. Nikolaev, Olga A. Korkunova,
Ivan V. Khutornoy, Pavel V. Pakhomov, Pavel V. Gavrilov,
Alexey V. Petraikin, Maria M. Suchilova, Arsen N. Shapiev,
Iya S. Dadakina, Irina V. Serebryakova,
Ekaterina S. Pershina, Viktor A. Gombolevskij,
Sergey P. Morozov

Breast

93 The value of computer aided detection system for mammography in the fatty breast: the results of the single-centered, prospective, randomized clinical trial

Dmitry V. Pasynkov, Munir G. Tukhatullin,
Rustem Sh. Khasanov

Abdomen

106 Diagnostic and prognostic value of a diffusion-weighted image of the liver with magnetic resonance imaging in patients with alcoholic liver disease

Tatiana G. Morozova, Fedor S. Lozbenov,
Aleksy V. Kovalev

115 Intrahepatic splenosis mimicking hepatocellular carcinoma

Bela M. Medvedeva, Alexander B. Lukianchenko,
Ksenia A. Romanova, Ekaterina A. Moroz,
Aleksander N. Polyakov

Pediatric radiology

122 Computer and magnetic resonance imaging for pelvic fractures in children

Natalya Yu. Serova, Tolibdzhon A. Akhadov,
Olga V. Karaseva, Ilya A. Mel'nikov, Ol'ga V. Bozhko,
Sergey O. Nikishov, Dmitriy M. Dmitrenko,
Andrei V. Manzhurtsev, Maria I. Akhlebinina,
Tatyana D. Kostikova, Sergey V. Sidorov,
Maxim V. Ublinskiy, Daria N. Khusainova

New technologies in radiology

134 Quantitative Computed Tomography, modern data. Review

Alexey V. Petraikin, Irina A. Skripnikov



Читателям журнала “Медицинская визуализация” Letter to the readers of “Medical Visualization”

Дорогие читатели, коллеги!

Как главный редактор журнала, я редко обращаюсь к нашим читателям со страниц журнала, но в этом году считал это возможным и необходимым. В последние годы приобрела распространение фраза: “В наше трудное время...”. Действительно, время трудное. Но, честно говоря, я, прожив достаточно долгий период жизни, не могу сказать, что были времена, когда было легко. Вероятно, было ошибкой настраивать людей на некую легкость бытия и прививание им иллюзорного восприятия мира. “Жизнь – это борьба” – не нами сказано, но ёмко и всеобъемлюще.

И тем не менее, как всегда и бывает в процессе борьбы, наступают моменты, когда чувствуют победителей. Нашей общей маленькой победой стало включение журнала в систему индексирования Scopus. Мы шли к этому долго, упорно, готовясь морально и качественно к соответствиям тем требованиям, которые выдвигаются для участия в этой системе. Теперь мы там. Но никто не сказал, что это навсегда. Как и в любой борьбе, чемпионы тоже могут проиграть. И чтобы это не случилось, общими усилиями мы должны “отползти от края”, который отделяет рискованную зону Q4 от клуба достойных (Q3) и элитарного клуба (Q1–Q2).

Надо быть честными самим с собой и признать, что Q2 – это очень высокая планка для локального, регионального, русскоязычного журнала, аудитория (а значит и вероятная пишущая когорта ученых, желающая цитировать статьи из нашего журнала) будет заведомо меньше, чем англоязычная аудитория читателей международных журналов. Как рецензент (reviewer) журналов *European J Radiology*, *European Radiology*, *Insight into Imaging*, могу точно отметить: международные журналы сильнее и мощнее наших потому, что из 100 присланных рукописей они могут позволить себе отвергнуть минимум 80, чего, естественно, не можем позволить себе мы. Но мы будем рецензировать статьи еще более глубоко и критично.

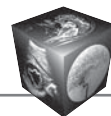
Современные требования во многих высших учебных заведениях и научных центрах связаны с необходимостью наличия у сотрудников западных публикаций. Тем самым, мы еще больше расширяем пропасть между западными журналами Q1–Q2 и отечественными журналами Scopus Q4 (а их в таком статусе большинство). Безусловно, пишущим нельзя запретить печататься там, где их



с радостью принимают, но все же нужно помнить и об отечественных журналах, которые никогда не уйдут из опасной зоны Q4, если русскоязычные авторы будут печатать свои работы в англоязычных журналах Q4.

Сейчас я обращаюсь к тем, кто хочет начинать печататься в журналах Scopus на английском языке. Помните, что, например, наш русскоязычный журнал “Медицинская визуализация” под названием *Medical Visualization* размещен в Scopus и о ваших достижениях международный пул исследователей по вашей теме узнает, если вы, для начала, сопроводите свою статью в журнале расширенным, с фактическими данными, резюме на английском языке. Добавлю, что все желающие и уверенные в качестве перевода на английский, могут подавать рукописи именно в таком виде. Это будет лишь приветствоваться, ибо появится возможность отправлять рукопись статьи англоязычным рецензентам, вашим коллегам, авторитетным экспертам из других стран, привлечь их к более плотной работе в журнале, что является, кстати, одним из пожеланий Scopus – придание журналу международного статуса.

В этом году, помимо традиционной рубрики статей в журнале, у нас был номер (№2), в котором опубликованы статьи авторов, приглашенных членом нашей редколлегии профессором А.В. Араблинским. В следующем году эта практика будет продолжена.



Прекрасно работали наши эксперты, спасибо им за потраченное время и приложенные знания. Нашим традиционным авторам и тем, кто планирует стать таковыми, надо помнить, что взгляд со стороны, объективность рецензента делают статью более правдивой и привлекательной для прочтения и цитирования.

Кстати, хочу пригласить всех, у кого есть идеи и желание сделать наш журнал лучше, не обязательно членов редакционной коллегии или редакционного совета, выступать в роли рецензентов или приглашенных редакторов.

Пользуясь случаем, хочу поздравить Валентина Евгеньевича Синицына с прекрасным юбилеем и пожелать ему здоровья и творческого долголетия.

Общими усилиями, мы, российские лучевые диагносты, должны способствовать повышению престижа отечественной науки не только за счет наших публикаций в международных журналах, но и делая все, чтобы авторитетные отечественные журналы становились высокоцитируемыми международными журналами.

С Новым годом, друзья!
Член-корр. РАН, профессор Г.Г. Кармазановский



COVID-19

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1059>

Острая окклюзия аорты у пациента с вирусной пневмонией SARS-CoV-2 (COVID-19)

© Мичурова М.С., Ковалевич Л.Д., Волеводз Н.Н., Бурякина С.А.* , Тарбаева Н.В., Калашников В.Ю., Токарев К.Ю., Хайриева А.В., Мокрышева Н.Г.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России; 117292 Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11, Российская Федерация

Одним из редких состояний, представляющих серьезную опасность для жизни, является острая окклюзия аорты. В статье описано наблюдение острой окклюзии просвета аорты и подвздошных артерий у пациента на фоне вирусной пневмонии COVID-19, с впервые выявленным сахарным диабетом и артериальной гипертензией.

Ключевые слова: тромбоз аорты, КТ, COVID-19

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Мичурова М.С., Ковалевич Л.Д., Волеводз Н.Н., Бурякина С.А., Тарбаева Н.В., Калашников В.Ю., Токарев К.Ю., Хайриева А.В., Мокрышева Н.Г. Острая окклюзия аорты у пациента с вирусной пневмонией SARS-CoV-2 (COVID-19). *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 16–22.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1059>

Поступила в редакцию: 07.09.2021. **Принята к печати:** 28.10.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.

Acute aortic thrombosis in a patient with SARS-CoV-2 coronavirus disease (COVID-19)

© Marina S. Michurova, Lilia D. Kovalevich, Natalya N. Volevodz, Svetlana A. Buryakina*, Natalia V. Tarbaeva, Viktor Yu. Kalashnikov, Konstantin Yu. Tokarev, Angelina V. Khajrieva, Natalia G. Mokrysheva

National Medical Research Center of Endocrinology, Ministry of Health of Russia; 11b Dmitry Ulyanov str., Moscow, 117292, Russian Federation

One of the rare and life-threatening conditions is acute aortic thrombosis. We have described a case of thrombosis of the aorta and iliac arteries in a patient against the background of viral pneumonia COVID-19, with newly diagnosed diabetes mellitus and arterial hypertension.

Keywords: aortic thrombosis, CT, COVID-19

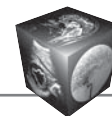
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Michurova M.S., Kovalevich L.D., Volevodz N.N., Buryakina S.A., Tarbaeva N.V., Kalashnikov V.Yu., Tokarev K.Yu., Khajrieva A.V., Mokrysheva N.G. Acute aortic thrombosis in a patient with SARS-CoV-2 coronavirus disease (COVID-19). *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 16–11. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1059>

Received: 07.09.2021.

Accepted for publication: 28.10.2021.

Published online: 29.12.2021.



Введение

Острая окклюзия аорты (ОАА) встречается редко и является крайне опасным состоянием, требующим своевременной диагностики и хирургического лечения. Летальность при данном заболевании составляет от 25 до 75% [1, 2, 11]. ОАА может произойти вследствие эмболии аорты или в результате тромбоза атеросклеротически измененной аорты, или аневризмы брюшной аорты [11].

Новая пандемия коронавирусной болезни SARS-CoV-2 (COVID-19) представляет собой серьезную проблему для всего человечества. Это инфекционное заболевание является причиной высоких показателей заболеваемости и смертности практически во всех странах. Предполагается, что воспалительный процесс, сопровождающий инфекцию, запускается массивной активацией макрофагов и связан с развитием коагулопатии [3].

Клиническое наблюдение

В COVID-центр ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России был госпитализирован мужчина 60 лет с жалобами на повышение температуры тела до 39,4 °С, одышку, сухой кашель. Пациент считал себя больным в течение 11 дней до госпитализации, когда повысилась температура тела, принимал парацетамол, ибупрофен, начал самостоятельный прием антибиотиков. На фоне проводимого лечения сохранялось повышение температуры тела преимущественно в вечерние часы до 39 °С. На 11-й день в связи повышением температуры тела до 39,4 °С был госпитализирован в COVID-центр ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России. В анамнезе не было указаний на наличие сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний легких. Постоянной лекарственной терапии не получал. Из вредных привычек – длительный стаж курения, несколько лет не курит.

Результаты физикального, лабораторного и инструментального исследования

При поступлении состояние тяжелое, сознание ясное. Масса тела 82,0 кг, рост 176 см, индекс массы тела 26,5 кг/м². Температура тела 37,5 °С. Частота сердечных сокращений 80 в минуту. Артериальное давление 175/95 мм рт.ст. Тахипноэ (число дыханий 28 в минуту). Сатурация при дыхании атмосферным воздухом – 87%, на фоне инсуффляции увлажненным кислородом со скоростью потока 5–8 л в мин – 88%, в про-позиции – 89–91%.

В лабораторных анализах выявлены признаки «цитокинового шторма»: повышение уровня С-реактивного белка (СРБ) – 176,4 мг/л, интерлейкина-6 – 44,8 пг/мл, ферритина – 1649 нг/мл, лактатдегидрогеназы – 487 Ед/л, активность АСТ, АЛТ существенно не повышена. Уровень Д-димера в референсном интервале,

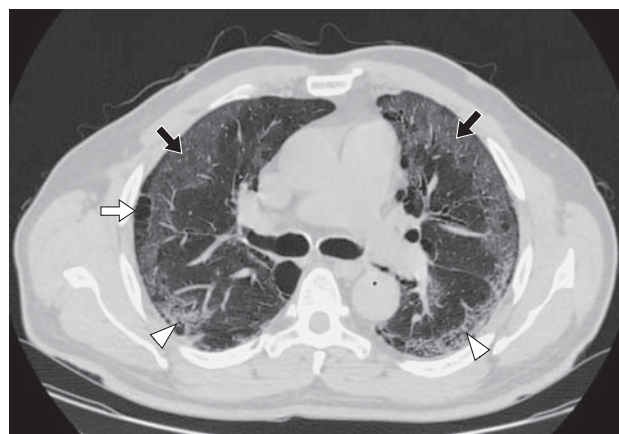


Рис. 1. МСКТ легких при поступлении, аксиальная проекция. В периферических отделах участки уплотнения по типу «матового стекла» (черные стрелки) с зонами консолидации (головки стрелок). Также отмечаются субплевральные буллы (толстая стрелка).

Fig. 1. MDCT of lungs at admission to the hospital, axial projection. Ground glass opacities (black arrows) and consolidation zones (arrows head) in the peripheral regions of lungs. Subpleural bullae (white arrow).

коагулограмма без особенностей. В клиническом анализе крови лейкоциты $5,55 \cdot 10^9$ кл/л, лимфоциты – $0,98 \cdot 10^9$ кл/л, нейтрофилы $4,27 \cdot 10^9$ кл/л, моноциты $0,29 \cdot 10^9$ кл/л, скорость оседания эритроцитов 22 мм в час. Результат мазка на SARS-CoV-2 – дважды отрицательный, однако позднее при выполнении анализа на антитела к COVID-19 обнаружены IgG.

На мультиспиральной компьютерной томограмме легких при поступлении были выявлены признаки двусторонней пневмонии (в паренхиме легких, в периферических отделах участки уплотнения по типу «матового стекла» (стрелка), различной протяженности, с зонами консолидации, процент поражения 72%, субплевральные буллы, КТ-3) (рис. 1).

Лечение. При поступлении назначена оксигенотерапия, антикоагулянтная терапия (эноксапарин) в лечебных дозах, антибактериальная терапия, биологическая терапия тоцилизумабом (дважды по 400 мг). Пациент отметил значительное улучшение общего самочувствия, уменьшение выраженности одышки, появление аппетита, температура тела нормализовалась. Однако сохранялось снижение сатурации на фоне оксигенотерапии до 90%. Также наблюдались лабораторные признаки улучшения течения болезни: снижение СРБ до 68 мг/л, ферритина до 860 нг/мл, ЛДГ до 424 Ед/л. Несколько усугубилась лейкопения до $3,08 \cdot 10^9$ кл/л за счет нейтрофилов, количество лимфоцитов повысилось до $1,32 \cdot 10^9$ кл/л.

Кроме того, в отделении впервые был выявлен сахарный диабет: гликированный гемоглобин – 8,8%, гликемия натощак 9 ммоль/л, уровень гликемии перед

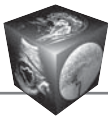


Рис. 2. МСКТ легких на 3-й день госпитализации, аксиальная проекция. В периферических отделах участки уплотнения по типу “матового стекла” (черная стрелка) с зонами консолидации (белая стрелка).

Fig. 2. MDCT of the lungs on the 3rd day of hospitalization, axial projection. Ground glass opacities (black arrow) and consolidation zones (white arrow) in the peripheral regions of lungs.

основными приемами пищи 7,9–10,4 ммоль/л. Назначена терапия гликлазидом МВ, на фоне чего достигнуты целевые значения гликемии. За время наблюдения сохранялись повышенные цифры артериального давления (АД), была назначена антигипертензивная терапия ингибиторами АПФ и антагонистами кальция, проводилась коррекция доз препаратов. На фоне лечения АД 120–140 и 70–80 мм рт.ст.

В дальнейшем сохранялась десатурация до 81–84% без кислородной поддержки, при инсуффляции кислородом сатурация возрастала до 88%, при этом субъективно пациент отмечал некоторое улучшение общего самочувствия, одышка не усугублялась. Пациент большую часть времени находился в про-позиции. На 3-й день на фоне проводимой терапии в контрольных анализах отмечалась дальнейшая положительная лабораторная динамика в виде снижения СРБ до 9,9 мг/л, ферритина до 234 нг/мл; нормализация температуры тела (до 36,4 °С в течение суток), клинический анализ крови без особенностей: лейкопения не усугублялась, количество нейтрофилов в норме. При повторной МСКТ было выявлено некоторое увеличение площади поражения с 72 до 80%, что расценено как КТ-4 (рис. 2). Тяжесть больного была обусловлена, прежде всего, сохраняющейся дыхательной недостаточностью, к терапии добавлен дексаметазон в дозе 16 мг в сутки.

На 9-й день отмечалось повышение уровня Д-димера до 592 нг/мл, снижение активированного частичного

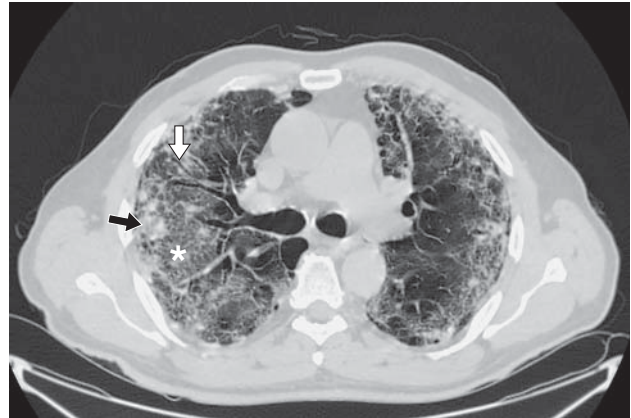


Рис. 3. МСКТ легких на 10-й день госпитализации, аксиальная проекция. Участки консолидации, расположенные преимущественно по периферии (черная стрелка), ретикулярные изменения (звездочка), симптом “воздушной бронхограммы” (белая стрелка).

Fig. 3. MDCT of the lungs on the 10th day of hospitalization, axial projection. Zones of consolidation, which are predominantly located in the peripheral regions of lungs (black arrow), reticular changes (asterisk) and air bronchogram (white arrow).

тромбопластинового времени до 24,8 с (остальные показатели коагулограммы: протромбиновое время (с) (ACL) 10,8, протромбин (по Квику) 108%, МНО 0,93, тромбиновое время 22,4 с, фибриноген расчетный 3,62 г/л). Динамика сатурации на фоне оксигенотерапии в про-позиции до 93%. Попытка отмены оксигенотерапии приводила к снижению сатурации до 83%.

При МСКТ на 10-й день госпитализации площадь поражения 80%; по сравнению с предыдущим – без отрицательной динамики; увеличение участков консолидации на фоне ранее выявленных зон “матового стекла”, ретикулярные изменения (рис. 3).

Исход и результаты последующего наблюдения. На 11-й день госпитализации внезапно у больного развилась клиническая смерть, потребовавшая реанимационных мероприятий и перевода больного на искусственную вентиляцию легких. Через несколько часов появилась мраморность кожи нижних конечностей, пульсация на артериях нижних конечностей отсутствовала. Выполнена МСКТ с контрастированием: выявлен тромбоз инфраренального отдела аорты и общих подвздошных артерий тромботическими массами (рис. 4). При проведении МСКТ органов грудной клетки (рис. 5) КТ-картина соответствовала присоединению бактериальной инфекции: в паренхиме легких, в периферических отделах отмечалось увеличение зон консолидации, снижение пневматизации. У пациента развилась полиорганная недостаточность. На 13-й день госпитализации больной умер.

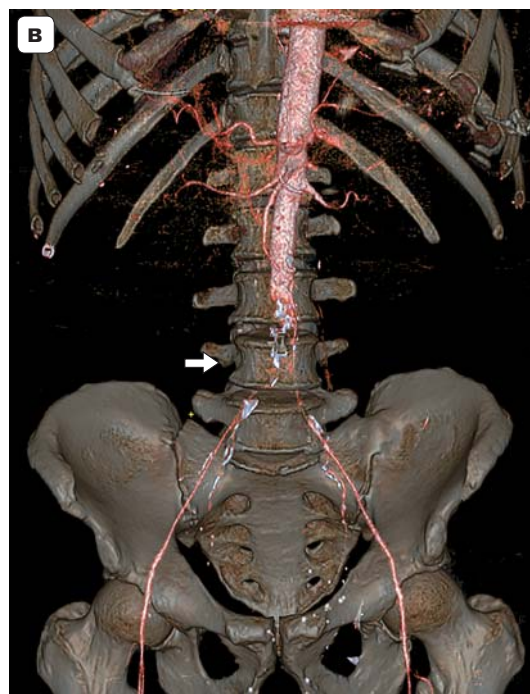
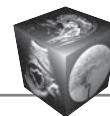


Рис. 4. МСКТ-ангиография аорты и артерий нижних конечностей. Корональная (а) и сагиттальная (б) проекции, 3D-реконструкция (в). Тромбоз аорты и общих подвздошных артерий (стрелка),

Fig. 4. MDCT angiography of the aorta and arteries of the lower limbs. Coronal (a) and sagittal (b) projections, 3D reconstruction (b). Thrombosis of the aorta and common iliac arteries (arrow).

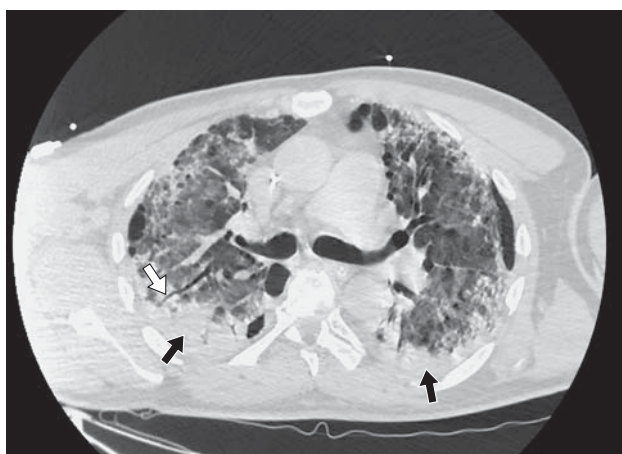
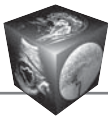


Рис. 5. МСКТ легких на 12-й день госпитализации, аксиальная проекция. Массивные участки консолидации (черная стрелка), на фоне которых прослеживается ход бронха (воздушная бронхограмма (белая стрелка)).

Fig. 5. MDCT of the lungs on the 12th day of hospitalization, axial projection. Massive areas of consolidation (black arrow), against which small bronchus can be traced (air bronchogram (white arrow)).



Обсуждение

Новая пандемия коронавирусной инфекции COVID-19, вызванная коронавирусом SARS-CoV-2, сопровождается высоким уровнем смертности среди пациентов с тяжелым течением. К настоящему времени установлено, что тяжелая форма заболевания частично опосредована гиперкоагуляцией и характеризуется и макрососудистой тромботической ангиопатией. Смертность у пациентов с COVID-19 и тромбозами составляет примерно 20%. Большинство пациентов с артериальными тромбозами мужчины пожилого возраста (>60 лет) с сопутствующими сердечно-сосудистыми заболеваниями, гипертонической болезнью, фибрилляцией предсердий, ожирением, хронической обструктивной болезнью легких, сахарным диабетом и высоким уровнем Д-димера при поступлении [4]. Стоит отметить, что описаны случаи острой ишемии конечностей у молодых пациентов без предшествующего атеросклероза, фибрилляции предсердий или нарушений свертываемости крови. У данных пациентов был высокий уровень Д-димера, и они получали профилактическую дозу антикоагулянтов [5]. Это особенно подчеркивает связь между COVID-19 и развитием высокого протромботического состояния, приводящего к тромботическим осложнениям. Интерес представляют сроки появления тромбозов. Так, в ретроспективном анализе пациентов с COVID-19 и ишемией нижних конечностей среднее время от начала клинических проявлений коронавирусной инфекции до развития ишемии конечностей составило 19 (11–23) дней [6]. В других источниках – 20, 7 и 24 дня соответственно прошло с момента подтверждения SARS-CoV-2 до проявления ишемических симптомов [3, 4].

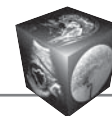
Вероятно, существует несколько механизмов развития тромбозов. Имеются данные, что при COVID-19 развивается эндотелиит, характеризующийся прямым повреждением эндотелиоцитов вирусом через рецепторы ангиотензинпревращающего фермента 2 и их инфильтрацией воспалительными клетками. Также для COVID-19 характерно состояние гиперкоагуляции с повышением уровней D-димеров, протромбина и фибриногена и, как следствие, уменьшением времени образования и повышением плотности сгустка крови. Повышенная вязкость крови является результатом системного внелегочного гипервоспаления, которое характеризуется высоким уровнем цитокинов в крови и активирует каскад коагуляции [4, 7, 10, 12]. В других исследованиях отмечали возможную связь тромбоза сосудов с антифосфолипидным синдромом, который представляет собой аутоиммунное состояние с характерной гиперкоагуляци-

ей крови, обусловленной воздействием антител на фосфолипид-связывающие белки в клеточных мембранах [3, 6, 8, 12]. Таким образом, совокупность гипоксемии, гиперкоагуляции, эндотелиита и длительной иммобилизации больных предрасполагает как к венозным, так и артериальным тромбозам.

В одном из исследований, включающем более 3000 больных, тромбозы были зарегистрированы в 16% случаев, из них венозные – 6,2%, артериальные – 11%. Среди пациентов с артериальными тромбозами чаще всего наблюдались тромбозы в артериях нижних конечностей (39%), церебральных артериях (24%), магистральных артериях (аорта, подвздошные артерии, общая сонная артерия и брахиоцефальный ствол) (19%), коронарных артериях (9%) и брыжеечных артериях (8%) [9]. В другом обзоре указано, что артериальные тромбозы развиваются у 4,4% тяжелых или критических пациентов с COVID-19 [4]. Тяжелые артериальные тромбозы развивались, несмотря на проводимую антиагрегантную или антикоагулянтную терапию. Частота успешной реваскуляризации нижних конечностей была низкой [5].

Опубликован систематический обзор и метаанализ исследований, оценивающих тромбоэмболические события при COVID-19 [10]. В метаанализ включено 42 исследования, 8271 пациент. Общая частота всех венозных тромбоэмболических осложнений (тромбоз глубоких вен нижних конечностей и тромбоэмболия легочной артерии) составила 21%, среди пациентов палаты интенсивной терапии – 31%. Частота тромбоза глубоких вен нижних конечностей – 20%, среди пациентов палаты интенсивной терапии – 28%, по данным аутопсии – 35%. Частота тромбоэмболии легочной артерии составила 13%, в палате интенсивной терапии – 19%, по данным аутопсии – 22%. Общая частота артериальных тромбозов составила 2%, в палате интенсивной терапии – 5%. Среди артериальных тромбозов: 1% составили инсульты, 0,5% – инфаркт миокарда, 0,4% – тромбозы периферических и мезентериальных артерий. Общий коэффициент смертности среди пациентов с тромбоэмболическими осложнениями составил 23 и 13% без тромботических осложнений. В совокупности смертность была на 74% выше среди пациентов, у которых развились тромботические осложнения, по сравнению с пациентами без тромботических событий. Таким образом, частота тромбоэмболических осложнений при COVID-19 является высокой и связана с повышенным риском смерти.

В описанном нами наблюдении, у пациента имелись факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний, такие как артериальная гипертензия,



длительный стаж курения, сахарный диабет. Прогрессирование заболевания на 23-й день болезни, несмотря на терапию эноксапарином в лечебной дозе, привело к тромбозу инфраренального отдела аорты и смерти больного.

Хорошо известно, что методом профилактики артериальных тромбозов (например, коронарных артерий) является использование антиагрегантов, а не антикоагулянтов. В настоящее время, согласно рекомендациям, дополнительное назначение антиагрегантов при COVID-19 считается нецелесообразным, больные должны лишь продолжить терапию антиагрегантами при наличии других показаний. По нашему мнению, с целью профилактики артериальных тромбозов у больных с тяжелым течением COVID-19 и высоким сердечно-сосудистым риском следует рассмотреть возможность назначения не только антикоагулянтов, но и антиагрегантов. Это позволяет воздействовать как на тромбоцитарное, так и на коагуляционное звено гемостаза, что в свою очередь может привести к снижению риска тромбозомболических осложнений и смерти.

Заключение

Наше наблюдение показало, что у больных с тяжелым течением COVID-19, несмотря на клиническо-лабораторное улучшение (нормализацию температуры тела, лабораторных показателей, отсутствие новых очагов поражения легочной ткани), может развиться фатальное осложнение, приводящее к смерти пациента. Вероятно, в когорте пациентов с тяжелым течением COVID-19 и высоким сердечно-сосудистым риском следует рассмотреть возможность назначения антиагрегантов. Безусловно, необходимы дополнительные исследования для оптимизации подходов к профилактике тромботических событий при COVID-19, особенно у пациентов с высоким сердечно-сосудистым риском.

Дополнительная информация

Источники финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Согласие пациента. Пациент добровольно подписал информированное согласие на публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме.

Участие авторов

Мичурова М.С., Ковалевич Л.Д. – сбор, анализ данных литературы, проведение диагностических исследований, ведение пациентов, написание статьи, подготовка иллюстраций.

Бурякина С.А., Хайриева Н.В., Тарбаева Н.В. – создание концепции и дизайна исследования, редактирование статьи, подготовка иллюстраций.

Волеводз Н.Н., Калашников В.Ю., Токарев К.Ю., Мокрышева Н.Г. – редактирование статьи с внесением в рукопись существенной правки с целью повышения научной ценности статьи, одобрение финальной версии рукописи.

Все авторы внесли значимый вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальный вариант перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

Authors' participation

Michurova M.S., Kovalevich L.D. – collection and analysis of literature data, conducting diagnostic researches, writing article, preparation of illustrations.

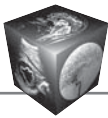
Buryakina S.A., Khajrieva A.V., Tarbaeva N.V. – editing an article, preparation of illustrations, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Volevodz N.N., Kalashnikov V.Yu., Tokarev K.Yu., Mokrysheva N.G. – editing the article, concept and design of the study, approval of the final version of the article.

All authors made a significant contribution to the preparation of the article, read and approved the final version before publication, agreed to be responsible for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or conscientiousness of any part of the text.

Список литературы [References]

1. Marrocco-Trischitta M., Bertoglio L., Tshomba Y., Kahlberg A., Marone E.M., Chiesa R. The best treatment of juxtarenal aortic occlusion is and will be open surgery. *Cardiovasc Surg (Torino)*. 2012; 53 (3): 307–312.
2. Treska V., Certik B., Cechura M., Moláček J., Sulc R., Houdek K. Leriche's syndrome. *Rozhl. Chir.* 2013; 92 (4): 190–193.
3. Baeza C., González A., Torres P., Pizzamiglio M., Arribas A., Aparicio C. Acute aortic thrombosis in COVID-19. *J. Vasc. Surg. Cases Innov. Tech.* 2020; 6 (3): 483–486. <https://doi.org/10.1016/j.jvscit.2020.06.013>.
4. Cheruiyot I., Kipkorir V., Ngure B., Misiani M., Munguti J., Ogeng'o J. Arterial Thrombosis in Coronavirus Disease 2019 Patients: A Rapid Systematic Review [published online ahead of print, 2020 Aug 28]. *Ann. Vasc. Surg.* 2020; S0890-5096(20)30767-6. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2020.08.087>
5. Perini P., Nabulsi B., Massoni CB., Azzarone M., Freyre A. Acute limb ischaemia in two young, non-atherosclerotic patients with COVID-19. *Lancet*. 2020; 395 (10236): 1546. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31051-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31051-5)
6. Zhang Y., Cao W., Xiao M., Li Y.J., Yang Y., Zhao J. Clinical and coagulation characteristics of 7 patients with critical COVID-2019 pneumonia and acro-ischemia. *Chinese J. Hematol.* 2020; 41 (4): 302–307. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0253-2727.2020.0006>
7. Merad M., Martin J.C. Pathological inflammation in patients with COVID-19: a key role for monocytes



- and macrophages. *Nature Rev. Immunol.* 2020; 20 (6): 355–362. <https://doi.org/10.1038/s41577-020-0331-4>
8. Zhang Y., Xiao M., Zhang S., Xia P., Cao W., Jiang W. Coagulopathy and antiphospholipid antibodies in patients with Covid-19. *N. Engl. J. Med.* 2020; 382: 38. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2007575>
 9. Bilaloglu S., Aphinyanaphongs Y., Jones S., Iturrate E., Hochman J., Berger J.S. Thrombosis in Hospitalized Patients With COVID-19 in a New York City Health System. *JAMA.* 2020; 324 (8):799–801. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.13372>
 10. Malas M.B., Naazie I.N., Elsayed N., Mathlouthi A., Marmor R., Clary B. Thromboembolism risk of COVID-19 is high and associated with a higher risk of mortality: A systematic review and meta-analysis. *EClinical Medicine.* 2020; 29–30: 100639. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100639>
 11. Михайлов И.П., Коков Л.С., Исаев Г.А. Лечение больных с тромбозов брюшной аорты. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2018; 3: 54–58. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018354-58>
 12. Ньематзода О., Гаилов А.Д., Калмыков Е.Л., Баратов А.К. COVID-19-ассоциированный артериальный тромбоз. *Вестник Авиценны.* 2021; 23 (1): 85–94. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2021-23-1-85-94>

Для корреспонденции*: Бурякина Светлана Алексеевна – 117036 Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11. Тел.: +7-499-124-92-44. E-mail: sburyakina@yandex.ru

Мичурова Марина Сергеевна – научный сотрудник, врач-кардиолог, эндокринолог отделения кардиологии, эндоваскулярной и сосудистой хирургии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1495-5847>

Ковалевич Лилия Дмитриевна – врач-рентгенолог отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8958-8223>

Волеводз Наталья Никитична – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной и консультативно-диагностической работе ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6470-6318>

Бурякина Светлана Алексеевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9065-7791>

Тарбаева Наталья Викторовна – канд. мед. наук, заведующая отделением компьютерной и магнитно-резонансной томографии, врач-рентгенолог ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7965-9454>

Калашников Виктор Юрьевич – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом кардиологии, эндоваскулярной и сосудистой хирургии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5573-0754>

Токарев Константин Юрьевич – канд. мед. наук, врач сердечно-сосудистый хирург, заведующий операционным блоком отдела кардиологии и сосудистой хирургии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва.

Хайриева Ангелина Владимировна – врач-рентгенолог отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6758-5918>

Мокрышева Наталья Георгиевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9717-9742>

Contact*: Svetlana A. Buryakina – 11b Dmitry Ulyanov str., Moscow, 117292, Russian Federation. Phone: +7-499-124-92-44. E-mail: sburyakina@yandex.ru

Marina S. Michurova – researcher, cardiologist, endocrinologist of department of cardiology, endovascular and vascular surgery, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1495-5847>

Lilia D. Kovalevich – radiologist of the department of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8958-8223>

Natalya N. Volevodz – Doct. of Sci. (Med.), Professor, deputy director for scientific, consultative and diagnostic work of the National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6470-6318>

Svetlana A. Buryakina – Cand. of Sci. (Med.), radiologist of the department of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9065-7791>

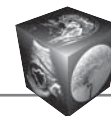
Natalia V. Tarbaeva – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7965-9454>

Viktor Yu. Kalashnikov – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the department of cardiology, endovascular and vascular surgery, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5573-0754>

Konstantin Yu. Tokarev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the surgical block of the department of cardiology, endovascular and vascular surgery, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow.

Angelina V. Khajrieva – radiologist of the department of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging, National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6758-5918>

Natalia G. Mokrysheva – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, director of National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-9717-9742>



Голова | Head

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-965>

Магнитно-резонансная и компьютерная томографии в диагностике церебрального венозного инсульта

© Котляров П.М.*, Лагкуева И.Д., Сергеев Н.И.

ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России; 117997 ГСП-7, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

Представлено клиническое наблюдение диагностики редкого в клинической практике церебрального венозного инсульта на основании данных магнитно-резонансной и компьютерной томографии головного мозга, описана семиотика выявленных изменений.

Ключевые слова: церебральный венозный инсульт, магнитно-резонансная, компьютерная томография головного мозга

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Котляров П.М., Лагкуева И.Д., Сергеев Н.И. Магнитно-резонансная и компьютерная томографии в диагностике церебрального венозного инсульта. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 23–30. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-965>

Поступила в редакцию: 18.11.2020. **Принята к печати:** 18.11.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.

Magnetic resonance imaging and computed tomography in the diagnosis of cerebral venous infarction

© Peter M. Kotlyarov*, Irina Dz. Lagkueva, Nikolai I. Sergeev

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

A clinical observation of the diagnosis of cerebral venous stroke, rare in clinical practice, based on the data of magnetic resonance imaging and computed tomography of the brain, is presented, the semiotics of the revealed changes is described.

Keywords: cerebral venous stroke, magnetic resonance imaging, computed tomography of the brain

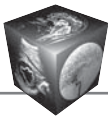
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Kotlyarov P.M., Lagkueva I.D., Sergeev N.I. Magnetic resonance imaging and computed tomography in the diagnosis of cerebral venous infarction. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 23–30. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-965>

Received: 18.11.2020.

Accepted for publication: 18.11.2021.

Published online: 29.12.2021.



Введение

Церебральный венозный тромбоз (ЦВТ) – редкая и потенциально опасная для жизни патология, требующая быстрого проведения антикоагулянтной терапии, но диагностика которой может быть сложной. ЦВТ – постепенно развивающееся патологическое состояние, возникающее вследствие обтурации тромботическими массами просветов сосудов венозной системы мозга с развитием конгестивного отека паренхимы с последующим переходом в инфаркт [1]. Венозная ишемия начинается с вазогенного отека, к которому может присоединиться цитотоксический отек [2]. Кровотечение при венозном застое и повреждение гематоэнцефалического барьера происходит от 30 до 50% венозных ишемий [3]. ЦВТ наблюдается в среднем от 3 до 4 случаев на 1 000 000 среди взрослого населения. Показатели заболеваемости среди женщин превышают таковые среди мужчин, что связано с приемом гормональных контрацептивов, беременностью [4–8].

Венозные тромбозы могут возникать в синусах твердой мозговой оболочки, кортикальных, глубоких и аномальных венах (входящих в состав венозных мальформаций), кроме того, может быть различное сочетание форм поражения. Согласно мнению ряда авторов, тромбоз чаще возникает в крупных сосудах и после распространяется в более мелкие вены. По данным литературы, тромбоз кортикальных вен составляет от 4 до 50% от всех случаев ЦВТ [9]. ЦВТ может развиваться первично, например по причине дегидратации, или вследствие ряда физиологических и патологических состояний, таких как беременность, нарушения в системе гемокоагуляции, опухолевый процесс, внутричерепная гипотензия, в частности, как осложнение эпидуральной пункции, хроническом пансинусите, осложнившимся тромбозом кавернозного синуса [10–12]. Для ЦВТ характерно постепенное начало – на первый план выходит общемозговая симптоматика, пациенты жалуются на головные боли, головокружения, тошноту, на поздних стадиях могут возникать эпилептические приступы в связи с вовлечением в процесс коры головного мозга [13–15]. Лучевые методы диагностики – магнитно-резонансная (МРТ) и компьютерная томография (КТ) ведущие в выявлении патологии головного мозга, в том числе венозного инсульта головного мозга, дифференциальной диагностики с инсультами артериального происхождения [16–19]. Представляем клиническое наблюдение ЦВТ, распознанного в первые дни появления общемозговой симптоматики.

Клиническое наблюдение

Пациентка И., 1957 года рождения. Анамнез заболевания: 28.08.2020 в НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского в плановом порядке выполнена комбинированная флебэктомия слева (восходящий тромбоз большой подкожной вены бедра слева). В отделении проведен курс инфузионной, антибактериальной терапии. Больная выписана 31.08.2020 под наблюдение хирурга по месту жительства в удовлетворительном состоянии. На приеме хирурга 07.09.2020 у больной развился эпилептический приступ с клонико-тоническими судорогами, который был купирован. В этот же день в ФГБУ РНЦРР были выполнены мультипараметрическая МРТ головного мозга с внутривенным введением парамагнетика, МРТ бесконтрастная и с контрастным усилением, флебография сосудов головного мозга на аппарате с индукцией магнитного поля 1,5 Тл. По окончании МРТ у пациентки развился эпилептический приступ – по срочным показаниям была госпитализирована в терапевтическое отделение. После анализа данных МРТ было высказано предположение о развитии ЦВТ и для получения дополнительных данных была выполнена мультиспиральная КТ головы. Через 5 ч у пациентки развился эпилептический статус, была проведена экстренная противосудорожная терапия, не давшая положительного клинического эффекта. По экстренным показаниям переведена в реанимационное отделение. Уровень сознания снизился до 3 баллов по шкале комы Глазго. После стабилизации состояния пациентка была переведена в профильное учреждение для оказания специализированной помощи. Пациентка была выписана на 5-е сутки от даты перевода в удовлетворительном состоянии, без признаков неврологического дефицита, эпилептические приступы купированы.

По данным МРТ на T2* (T2hemo) по конвексальной поверхности правой теменной области отмечался расширенный сосуд, в субкортикальных отделах теменной доли определялась зона конгестивного (вазогенного) отека, хорошо визуализируемая на T2ВИ и FLAIR (рис. 1). Кроме того, в паренхиме правой теменной доли в области постцентральной извилины и частично прецентральной определялись умеренно дилатированные венозные сосуды, очаги кровоизлияния с выпадением МР-сигнала от поверхностной вены правой теменной области – признак тромбоза (рис. 2а, б). На диффузионно-взвешенных изображениях (DWI) и на картах измеряемого коэффициента диффузии (ADC) в зоне интереса сигнал от паренхимы мозга был повышен, обусловленный эффектом T2 просвечивания, что было расценено как проявление вазогенного отека (рис. 3). По данным МР-ангиографии головного мозга в T1ВИ с введением парамагнетика в области кортикальной вены правой теменной области определялся участок

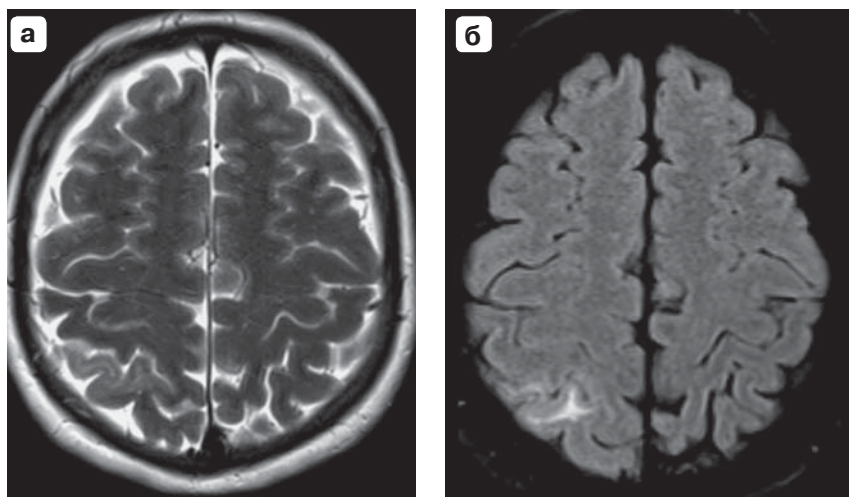
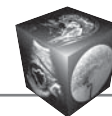


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография головного мозга. Аксиальная плоскость. На МРТ-изображениях в режимах T2ВИ (а) и T2 dark-fluid (б) визуализируется субкортикальный участок конгестивного (вазогенного) отека в правой теменной доле.

Fig. 1. Magnetic resonance imaging of the brain. Axial plane. On MRI images in T2VI (a) and T2 dark-fluid (b) modes, a subcortical area of congestive (vasogenic) edema in the right parietal lobe is visualized.

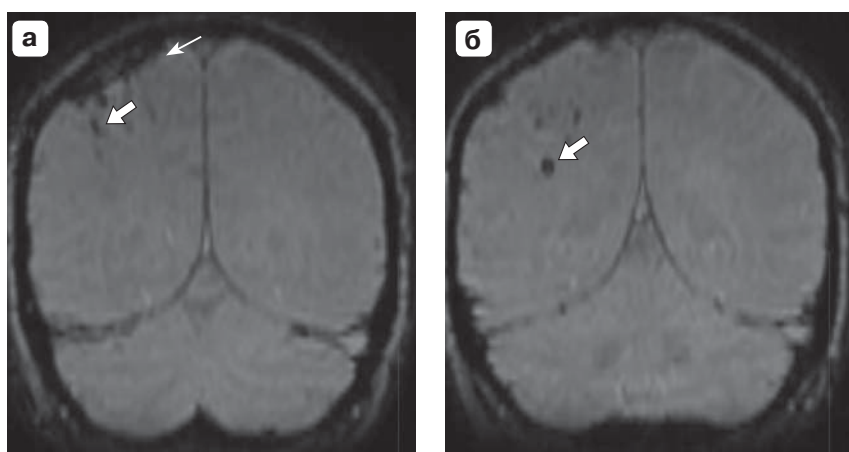


Fig. 2. Magnetic resonance imaging of the brain. Coronal plane. **a** – the MRI image in T2hemo mode shows a thrombosed cortical vessel with a low MR signal (thin arrow) and compensatory dilated regional veins (arrow); **б** – On the MRI image in the T2hemo mode, a focus of venous hemorrhage is visualized (arrow).

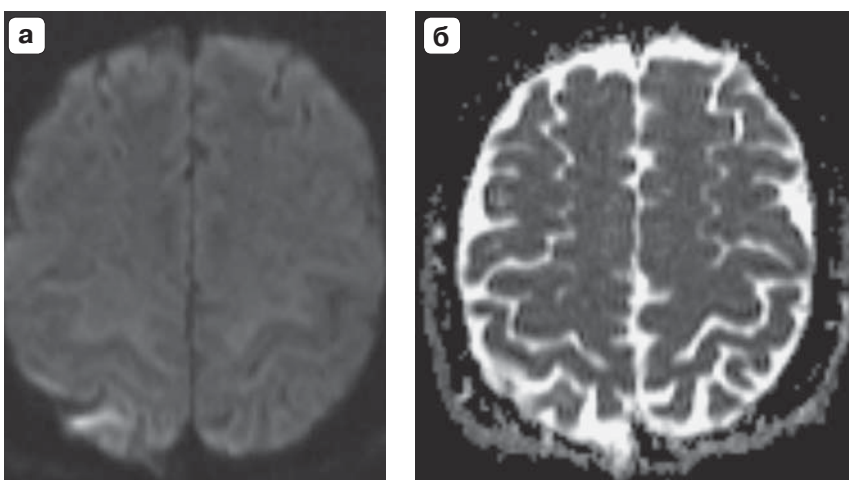


Рис. 3. Магнитно-резонансная томография головного мозга. Аксиальная плоскость. На МРТ-изображениях в правой теменной доле отмечается участок повышенного МР-сигнала в режимах DWI с высоким фактором b (а) и ADC (б) за счет эффекта T2-просвечивания.

Fig. 3. Magnetic resonance imaging of the brain. Axial plane. On MRI images in the right parietal lobe, there is an area of increased MR signal in DWI modes with a high factor b (a) and ADC (b) due to the T2 transillumination effect.

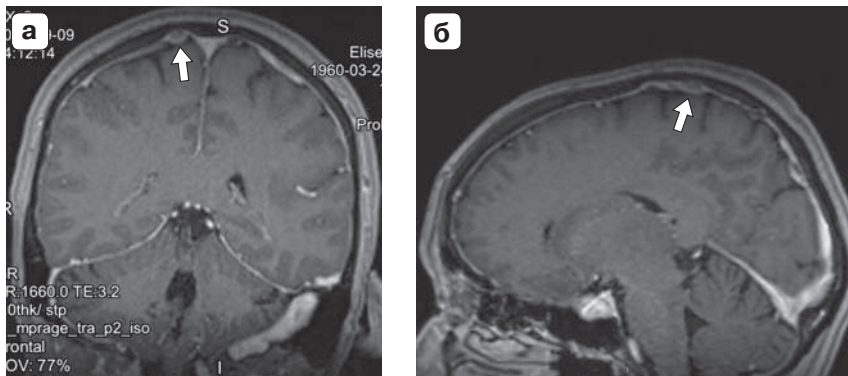
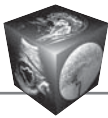


Fig. 4. Magnetic resonance imaging of the brain with a paramagnet. **a** – coronal plane. An MRI image in T1 mode shows a defect in contrasting the cortical vessel of the right parietal lobe (arrow), narrowing of the right transverse sinus, against the background of an increased MR signal from the left transverse sinus; **б** – Sagittal plane- the same localization – a zone of reduced intensity of the MR signal (contrast defect) is visualized in the cortical vessel of the right parietal lobe (arrow).

Рис. 4. Магнитно-резонансная ангиография головного мозга с парамагнетиком. **а** – корональная плоскость. На МРТ-изображении в режиме T1ВИ визуализируются зона пониженной интенсивности МР-сигнала (дефект контрастирования) в кортикальном сосуде правой теменной доли (стрелка), сужение правого поперечного синуса, на фоне повышенного МР-сигнала от левого поперечного синуса; **б** – аксиальная плоскость – та же локализация – визуализируется зона пониженной интенсивности МР-сигнала (дефект контрастирования) в кортикальном сосуде правой теменной доли (стрелка).

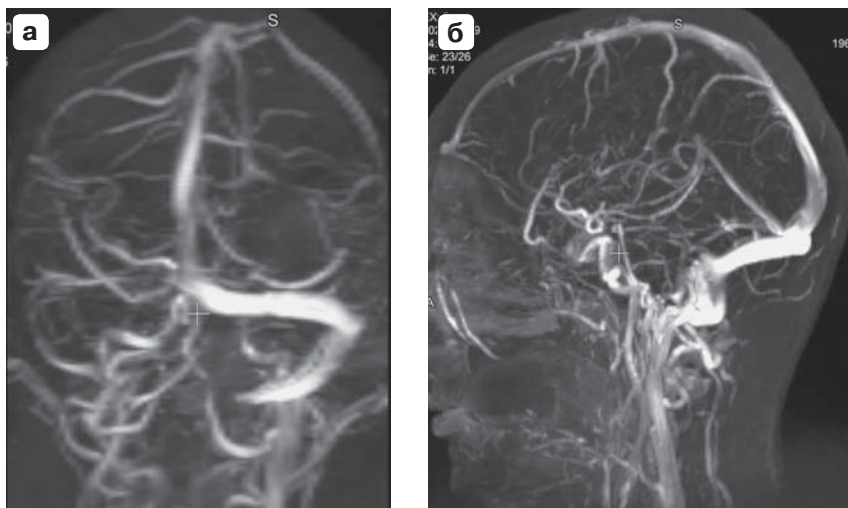


Рис. 5. Магнитно-резонансная ангиография головного мозга с парамагнетиком, 3D TOF флебография. **а** – корональная плоскость – снижение МР-сигнала, сужение просвета правого поперечного синуса, развитие коллатерального венозного кровотока; **б** – сагиттальная плоскость – данных о наличии тромбов в сагиттальном синусе не выявляется.

Fig. 5. Magnetic resonance imaging of the brain with a paramagnet. 3D TOF phlebography. **a** – coronal plane – narrowing of the lumen of the right transverse sinus; **б** – sagittal plane – data for the presence of blood clots in the sagittal sinus are not detected.

с МР-сигналом, изоинтенсивным мозговой ткани, что являлось признаком наличия тромба в сосуде. Данных о проникновении тромба в верхний сагиттальный синус, наличии его тромбоза получено не было (рис. 4а, б). На изображениях в режиме TOF флебографии с контрастным усилением определялось снижение интенсивности МР-сигнала, сужение правого поперечного синуса на всем протяжении до 1–2 мм, диаметр левого поперечного синуса составлял 7–11 мм с повышением интенсивности МР-сигнала. Определялось развитие коллатерального венозного кровотока (рис. 5а, б). МРТ-данных о наличии патологии верхнего сагиттального синуса, артериальных сосудов головного мозга, виллизиева круга выявлено не было.

По данным КТ по конвексительной поверхности правой теменной области отмечался расширенный до 5 мм

сосуд протяженностью 42 мм, с наличием гиперденсных тромботических масс плотностью 98 НУ, которые находились в 5–7 мм от верхнего сагиттального синуса (рис. 6а, б). Плотность неизмененного сагиттального синуса составляла 57 НУ (рис. 7). В паренхиме головного мозга гипер- и гиподенсные очаговые изменения, в том числе и в правой теменной доле, не определялись. Таким образом, данные МРТ и КТ о наличии и локализации тромба совпали, однако МРТ была более эффективной в оценке состояния тканей головного мозга.

По данным МРТ-, КТ-исследований было сделано заключение о ЦВТ, осложненном инсультом правой теменной доли. Выявленные изменения были обусловлены тромбозом кортикальной вены правой теменной области с наличием по данным МРТ венозных кровоизлияний и застойных явлений в венах.

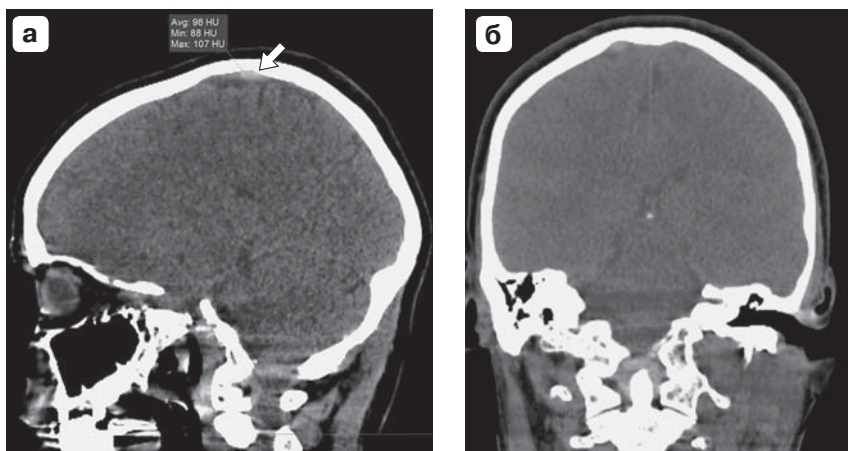
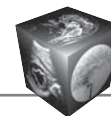


Рис. 6. Компьютерная томография головного мозга. Мякотканное окно. Нативная фаза. **а** – сагиттальная плоскость. На КТ-изображении по конвексальной поверхности теменной области справа визуализируется гиперденсная структура – тромб в кортикальной вене справа (стрелка) плотностью 98 HU; **б** – корональная плоскость – локализация тромба совпадает с данными МРТ.

Fig. 6. Computed tomography of the brain. Soft-tissue window. Native phase. **a** – sagittal plane. CT image along the convexal surface of the parietal region on the right shows a thrombosed cortical vein on the right (arrow) with a density of 98HU; **b** – coronal plane – thrombus localization matches MRI data.



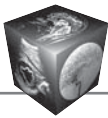
Рис. 7. Компьютерная томография головного мозга. Мякотканное окно. Нативная фаза. Сагиттальная плоскость. На КТ-изображении визуализируется верхний сагиттальный синус плотностью 57 HU. Дополнительно определяются участки обызвествления по контуру эпифиза. Зона повышенной плотности на уровне продолговатого мозга является артефактом костной ткани.

Fig. 7. Computed tomography of the brain. Soft-tissue window. Native phase. Sagittal plane. The CT image shows the superior sagittal sinus with a density of 57HU. Additionally, areas of calcification along the contour of the pineal gland are determined. The area of increased density at the level of the medulla oblongata is an artifact of bone tissue.

Обсуждение

Как показал анализ данных МРТ, выявление конгестивного (застойного) отека в зоне тромбированного сосуда выявлялось с помощью T2ВИ и FLAIR последовательностей. Признаки цитотоксического отека, очаги геморрагической трансформации подтвердились на DWI, ADC, T2hemo-последовательности, чувствительной к продуктам деградации гемоглобина, что позволило исключить инфаркт в артериальном бассейне. Обще-признанным методом выбора для достоверной оценки паренхимы головного мозга является МРТ, диагностические возможности которой возрастают с применением контрастных препаратов, позволяющих оценить, в частности, состояние сосудистых структур [16–18]. Тромбированный кортикальный сосуд визуализировался в режиме T2*(T2hemo) с низким МР-сигналом и компенсаторно расширенными регионарными венами. МРТ головного мозга с введением гадолиний-содер-

жащего вещества в нашем наблюдении позволила получить прямые признаки наличия тромба в кортикальной вене теменной области и его положения относительно верхнего сагиттального синуса. Изображения в режиме TOF флебографии с парамгнетиком в проекции максимальной интенсивности (MIP) регистрировали нарушение кровотока в области правого поперечного синуса, исключили наличие тромба в сагиттальном синусе. Выполнение КТ головного мозга (без контрастного усиления) позволило получить прямые признаки наличия тромба, который визуализировался в виде гиперденсной структуры в поверхностной кортикальной вене. Этот признак при КТ наблюдается в 20–25% случаев ЦВТ и исчезает в течение 5–7 дней от начала заболевания [20]. В диагностике ЦВТ в первые дни развития болезни в ряде случаев на первый план может выходить КТ, которая способна выявить тромботические массы в просветах вен даже в условиях нативного исследова-



ния [19]. Однако КТ головного мозга, в отличие от МРТ, в нашем наблюдении не обнаружила изменений в тканях головного мозга, связанных с венозным тромбозом. По данным КТ признаками венозного тромбоза являются расширенные вены, плотность просвета в тромбированном сосуде может в два раза превышать денситометрические характеристики крови в проходимых сосудах, а при введении контрастного препарата определяется дефект их наполнения (симптом “шнура”), если речь идет о синусе – в виде знака “пустой дельты”, кроме того, стенки синуса будут иметь выпуклый контур, а не наоборот, как это бывает в норме [15, 16]. Полученные нами результаты не противоречат данным литературы о роли и месте современных методов лучевой диагностики в нейровизуализации и еще раз напоминают о семиотике этой относительно редко встречающейся патологии и в ряде случаев, по этой причине, остающейся незамеченной либо неправильно интерпретированной в ее клинических проявлениях.

Заключение

При появлении общемозговой симптоматики, осложненной эпилептическими приступами, мультипараметрическая МРТ с контрастным усилением, МР-флебография головного мозга – метод выбора в выявлении ЦВТ, обусловленных тромбозом изменений тканей головного мозга, дифференциальной диагностике с артериальным инсультом. При подозрении на острый тромбоз венозных сосудов головного мозга КТ дополняет данные МРТ в уточнении наличия тромботических масс.

Участие авторов

Котляров П.М. – концепция и дизайн подготовка и редактирование текста исследования, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Лагуева И.Д. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Сергеев Н.И. – анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Authors' participation

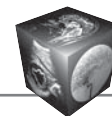
Kotlyarov P.M. – concept and design of the study, approval of the final version of the article, preparation and creation of the published work, text preparation and editing.

Lagkueva I.D. – conducting research, collection and analysis of data.

Sergeev N.I. – analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Список литературы

1. Макострова Т.А., Сотников А.С., Левин О.С. Венозный инфаркт мозга вследствие тромбоза поперечного синуса с синдромом изолированной алексии. *Неврологический журнал*. 2013; 18 (4): 29–34.
2. Star M., Flaster M. Advances and controversies in the management of cerebral venous thrombosis. *Neurol. Clin.* 2013; 31 (3): 765–783.
<https://doi.org/10.1016/j.ncl.2013.03.013>
3. Pongmoragot J., Saposnik G. Intracerebral hemorrhage from cerebral venous thrombosis. *Curr. Atheroscler. Rep.* 2012; 14 (4): 382–389.
<https://doi.org/10.1007/s11883-012-0260-1>
4. Федин А.И., Ермошкина Н.Ю., Путилина М.В., Васильев Ю.Д., Козлов М.Б., Сидельникова Л.В., Снигирева Т.Ю. Особенности клиники и диагностики церебральных венозных тромбозов. *Клиническая физиология кровообращения*. 2014; 1: 32–43.
5. Фурсова Л.А., Синевич П.А. Церебральные венозные тромбозы, возникающие при приеме оральных контрацептивов. *Лечебное дело: научно-практический терапевтический журнал*. 2019; 5 (69): 53–60.
6. Семенов С.Е., Шумилина М.В., Жучкова Е.А. Диагностика церебральной венозной ишемии. *Клиническая физиология кровообращения*. 2015; 2: 5–6.
7. Игнатъева А.С., Абасова Г.Б., Кайшибаева Г.С. Церебральный венозный тромбоз и беременность: этиология, клинко-эпидемиологическая характеристика и методы диагностики. *Нейрохирургия и неврология Казахстана*. 2016; 3 (44): 26–31.
8. Путилина М.В., Ермошкина Н.Ю., Сидельникова Л.В. Венозный инфаркт головного мозга у пациентки с тромбофилией на фоне приема гормональных препаратов. *Медицинский алфавит*. 2020; 1 (11): 10–16.
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-11-10-16>
9. Rezende S.M., Lijfering W.M., Rosendaal F.R., Cannegieter S.C. Hematologic variables and venous thrombosis: red cell distribution width and blood monocyte count are associated with an increased risk. *Haematologica*. 2014; 99 (1): 194–200.
<https://doi.org/10.3324/haematol.2013.083840>
10. Liberman A.L., Merkler A.E., Gialdini G., Messé S.R., Lerario M.P., Murthy S.B., Kamel H., Navi B.B. Risk of Pulmonary Embolism After Cerebral Venous Thrombosis. *Stroke*. 2017; 48 (3): 563–567.
<https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.016316>
11. Lal D., Gujjar A.R., Ramachandiran N., Obaidi A., Kumar S., El-Tigani M., Al-Azri F., Al-Asmi A.R. Spectrum of Cerebral Venous Thrombosis in Oman. *Sultan Qaboos Univ Med. J.* 2018; 18 (3): e329–e337.
<https://doi.org/10.18295/squmj.2018.18.03.011>
12. Luo Y., Tian X., Wang X. Diagnosis and Treatment of Cerebral Venous Thrombosis: A Review. *Front Aging Neurosci.* 2018; 10: 2.
<https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00002>
13. Семенов С.Е., Молдавская И.В., Юркевич Е.А., Шатохина М.Г., Семенов А.С. Диагностика венозного ишемического инсульта. Часть 1 (клинический полиморфизм). Обзор. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2019; 8 (2): 125–134. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-2-125-134>
14. Bonneville F. Imaging of cerebral venous thrombosis. *Diagn. Interv. Imaging*. 2014; 95 (12): 1145–1150.
<https://doi.org/10.1016/j.diii.2014.10.006>



15. Ребрикова В.А., Сергеев Н.И., Падалко В.В., Котляров П.М., Солодкий В.А. Возможности МР-перфузии в оценке эффективности лечения злокачественных опухолей головного мозга. *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2019; 83 (4): 113–120. <https://doi.org/10.17116/neiro201983041113>
16. 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. *Электронный журнал "Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России"*. 2020; 20 (1): 15–27. <http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v20/v20.htm>
17. Котляров П.М., Нуднов Н.В., Виниковецкая А.В., Егорова Е.В., Альбицкий И.А., Овчинников В.И., Гомболевский В.А. Перфузионная компьютерная томография в диагностике и оценке эффективности лечения злокачественных опухолей головного мозга. *Лучевая диагностика и терапия*. 2015; 2 (6): 63–69.
18. Семенов С.Е., Коваленко А.В., Хромов А.А., Молдавская И.В., Хромова А.Н., Жучкова Е.А., Портнов И.М., Коков А.Н., Шатохина М.Г., Тулупов А.А. Критерии диагностики негеморрагического венозного инсульта методами рентгеновской мультиспиральной компьютерной (МСКТ) и магнитно-резонансной (МРТ) томографии. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2012; 1: 43–53. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2012-1-43-53>
19. Linn J., Michl S., Katja B., Pfefferkorn T., Wiesmann M., Hartz S., Dichgans M., Brückmann H. Cortical vein thrombosis: the diagnostic value of different imaging modalities. *Neuroradiology*. 2010; 52 (10): 899–911. <https://doi.org/10.1007/s00234-010-0654-0>
20. Rodallec M.H., Krainik A., Feydy A., Hélias A., Colombani J.M., Jullès M.C., Marteau V., Zins M. Cerebral venous thrombosis and multidetector CT angiography: tips and tricks. *Radiographics*. 2006; 26, Suppl. 1: S5–18; discussion S42–3. <https://doi.org/10.1148/rg.26si065505>
7. Ignatyeva A.S., Abassova G.B., Kayshibaeva G.S. Cerebral venous thrombosis and pregnancy: etiology, clinical and epidemiological characteristics and diagnostic methods. *Neurosurgery and Neurology of Kazakhstan*. 2016; 3 (44): 26–31. (In Russian)
8. Putilina M.V., Ermoshkina N.Yu., Sidelnikova L.V. Venous cerebral infarction in patient with thrombophilia while taking hormonal drugs. *Medical alphabet*. 2020; 1 (11): 10–16. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-11-10-16> (In Russian)
9. Rezende S.M., Lijfering W.M., Rosendaal F.R., Cannegieter S.C. Hematologic variables and venous thrombosis: red cell distribution width and blood monocyte count are associated with an increased risk. *Haematologica*. 2014; 99 (1): 194–200. <https://doi.org/10.3324/haematol.2013.083840>
10. Liberman A.L., Merkler A.E., Gialdini G., Messé S.R., Lerario M.P., Murthy S.B., Kamel H., Navi B.B. Risk of Pulmonary Embolism After Cerebral Venous Thrombosis. *Stroke*. 2017; 48 (3): 563–567. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.016316>
11. Lal D., Gujjar A.R., Ramachandiran N., Obaidi A., Kumar S., El-Tigani M., Al-Azri F., Al-Asmi A.R. Spectrum of Cerebral Venous Thrombosis in Oman. *Sultan Qaboos Univ Med. J.* 2018; 18 (3): e329–e337. <https://doi.org/10.18295/squmj.2018.18.03.011>
12. Luo Y., Tian X., Wang X. Diagnosis and Treatment of Cerebral Venous Thrombosis: A Review. *Front Aging Neurosci*. 2018; 10: 2. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00002>
13. Semenov S.E., Moldavskaya I.V., Yurkevich E.A., Shatokhina M.G., Semenov A.S. Diagnostics of venous ischemic stroke. Part 1 (clinical polymorphism). A review article. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2019; 8 (2): 125–134. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-2-125-134> (In Russian)
14. Bonneville F. Imaging of cerebral venous thrombosis. *Diagn. Interv. Imaging*. 2014; 95 (12): 1145–1150. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2014.10.006>
15. Rebrikova V.A., Sergeev N.I., Padalko V.V., Kotlyarov P.M., Solodkiy V.A. The use of MR perfusion in assessing the efficacy of treatment for malignant brain tumors. *Burdenko's Journal of Neurosurgery = Zhurnal "Voprosy neirokhirurgii" imeni N.N. Burdenko*. 2019; 83 (4): 113–120. <https://doi.org/10.17116/neiro201983041113> (In Russian)

References

1. Makotrova T.A., Sotnikov A.S., Levin O.S. Venous infarct due to transverse sinus thrombosis with clinical manifestation of isolated alexia syndrome. *Neurological Journal*. 2013. 18 (4): 29–34 (In Russian)
2. Star M., Flaster M. Advances and controversies in the management of cerebral venous thrombosis. *Neurol. Clin.* 2013; 31 (3): 765–783. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2013.03.013>
3. Pongmoragot J., Saposnik G. Intracerebral hemorrhage from cerebral venous thrombosis. *Curr. Atheroscler. Rep.* 2012; 14 (4): 382–389. <https://doi.org/10.1007/s11883-012-0260-1>
4. Fedin A.I., Ermoshkina N.Yu., Putilina M.V., Vasil'ev Yu.D., Kozlov M.B., Sidel'nikova L.V., Snigereva T.Yu. Clinical and diagnostic features of cerebral venous thrombosis. *Clinical Physiology of Circulation*. 2014; 1: 32–43. (In Russian)
5. Fursova L.A., Sinevich P.A. Cerebral venous thrombosis resulting from oral contraceptives. *Medical case: scientific and practical therapeutic journal*. 2019; 5 (69): 53–60. (In Russian)
6. Semenov S.E., Shumilina M.V., Zhuchkova E.A. The diagnostics of cerebral venous ischemia. *Clinical Physiology of Circulation*. 2015; 2: 5–6. (In Russian)
16. Sergeyev N.I., Rebrikova V.A., Kotlyarov P.M., Solodkiy V.A. T2*-perfusion in the determining fragments of residual tumor tissue in patients with high-grade gliomas after surgical treatment in the subacute postoperative period. *Russian Scientific Center of Roentgenoradiology*. 2020; 20 (1): 15–27. <http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v20/v20.htm>
17. Kotlyarov P.M., Nudnov N.V., Vinikovetskaya A.V., Egorova E.V., Albitskiy I.A., Ovchinnikov V.I., Gombolevskii V.A. CT perfusion in diagnostic and estimation treatment computed tomography the evaluation of the efficacy of malignant cranial gliomas. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. 2015; 2 (6): 63–69.
18. Semenov S.E., Kovalenko A.V., Khromov A.A., Moldavskaya I.V., Khromova A.N., Zhuchkova E.A., Portnov Y.M., Kokov A.N., Shatokhina M.G., Tulupov A.A. Non-hemorrhagic venous stroke diagnosis criteria by multislice computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) tomography. *Complex Issues of Cardio-*



- vascular Diseases. 2012. 1: 43–53. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2012-1-43-53> (In Russian)
19. Linn J., Michl S., Katja B., Pfefferkorn T., Wiesmann M., Hartz S., Dichgans M., Brückmann H. Cortical vein thrombosis: the diagnostic value of different imaging modalities. *Neuroradiology*. 2010; 52 (10): 899–911. <https://doi.org/10.1007/s00234-010-0654-0>
20. Rodallec M.H., Krainik A., Feydy A., Hélias A., Colombani J.M., Jullès M.C., Marteau V., Zins M. Cerebral venous thrombosis and multidetector CT angiography: tips and tricks. *Radiographics*. 2006; 26, Suppl. 1: S5–18; discussion S42–3. <https://doi.org/10.1148/rg.26si065505>

Для корреспонденции*: Котляров Пётр Михайлович – 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86. ФГБУ “РНЦРР” Минздрава России. Тел.: +7-495-334-81-86. E-mail: marnad@list.ru

Котляров Пётр Михайлович – доктор мед. наук, профессор, руководитель научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>. E-mail: marnad@list.ru

Лагкуева Ирина Джабраиловна – канд. мед. наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9732-7170>. E-mail: ilagkueva@mail.ru

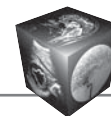
Сергеев Николай Иванович – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>. E-mail: sergeevnickolay@yandex.ru

Contact*: Peter M. Kotlyarov – 86, Profsoyusnaya str., Moscow, 117997, Russian Federation. Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Health of Russia. Phone: +7-495-334-81-86. E-mail: marnad@list.ru

Peter M. Kotlyarov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the research department of new technologies and semiotics of radiation diagnostics of diseases of organs and systems of the Russian Scientific Center of X-ray Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>. E-mail: marnad@list.ru

Irina Dz. Lagkueva – Cand. of Sci. (Med.), researcher at the research department of new technologies and semiotics of radiation diagnosis of diseases of organs and systems of the Russian Scientific Center of Radiological Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9732-7170>. E-mail: ilagkueva@mail.ru

Nikolai I. Sergeev – Doct. of Sci. (Med.), scientific researcher at the research department of new technologies and semiotics of radiation diagnosis of diseases of organs and systems of the Russian Scientific Center of Radiological Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>. E-mail: sergeevnickolay@yandex.ru



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1003>

О функциональной и диагностической значимости типа фМРТ-ответа при двигательных нагрузках у пациентов с травматическим повреждением мозга

© Шарова Е.В.^{1*}, Болдырева Г.Н.¹, Лысачев Д.А.³,
Дзюбанова Н.А.², Жаворонкова Л.А.¹, Смирнов А.С.²,
Погосбемян Э.Л.², Машеров Е.Л.², Пронин И.Н.²

¹ ФГБУН “Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН”; 117485 Москва, ул. Бутлерова, д. 5А, Российская Федерация

² ФГАУ “Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко” Минздрава России; 125047 Москва, 4-я Тверская-Ямская, д. 16, Российская Федерация

³ ФГБУ ВО “Московский медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова” Минздрава России; 127206 Москва, ул. Вучетича, 21, корп. 2., Российская Федерация

Цель исследования: уточнение функциональной и диагностической значимости топографии, или типа фМРТ-ответа, регистрирующегося при активном и пассивном движении рукой, у больных с посттравматическим гемипарезом разной степени.

Материал и методы. Проанализированы фМРТ-ответы при самостоятельном (активном) и “пассивном” (с помощью другого человека) движении рукой у пациентов (40 человек) с моторными посттравматическими расстройствами, в сопоставлении с нормой (17 человек).

Результаты. У исследованных больных выявлено нарастание процента диффузных фМРТ-ответов, с активацией нетипичных для движения у здоровых испытуемых областей мозга. Тип фМРТ-ответа (локальный или мультифокальный) не обнаруживает четких корреляций с наличием или отсутствием моторных нарушений в форме гемипареза. Однако, при этом установлено, что большей степени гемипареза соответствует более высокий процент встречаемости ответов мультифокального типа. Наблюдаемый при динамическом исследовании переход от диффузной формы двигательного фМРТ-ответа к локальной сопровождается улучшением общего клинического состояния, сдвигом в сторону нормализации ряда морфофункциональных показателей ЦНС, тенденцией регресса моторных нарушений.

Заключение. Выявленное нарастание диффузности двигательных фМРТ-ответов у больных с последствиями черепно-мозговой травмой является одной из форм проявления церебральной дисфункции. Наблюдаемая в динамике трансформация ответа от мультифокального к локальному типу сопряжена с текущим или отдаленным улучшением моторной активности, а также регрессом других клинических нарушений, и может рассматриваться как прогностически благоприятный признак течения посттравматической болезни.

Ключевые слова: черепно-мозговая травма, гемипарез, двигательный фМРТ-ответ, активное и пассивное движения рукой, нейропластичность

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Шарова Е.В., Болдырева Г.Н., Лысачев Д.А., Дзюбанова Н.А., Жаворонкова Л.А., Смирнов А.С., Погосбемян Э.Л., Машеров Е.Л., Пронин И.Н. О функциональной и диагностической значимости типа фМРТ-ответа при двигательных нагрузках у пациентов с травматическим повреждением мозга. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 31–46. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1003>

Поступила в редакцию: 18.03.2021. **Принята к печати:** 23.09.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.



Functional and diagnostic significance of the fMRI-response type to motor loads in patients after traumatic brain damage

© Elena V. Sharova^{1*}, Galina N. Boldyreva¹, Dmitry A. Lysachev³,
Natalia A. Dzyubanova², Lyudmila A. Zhavoronkova¹, Aleksandr S. Smirnov²,
Edward L. Pogosebikian², Evgeny L. Masherov², Igor N. Pronin²

¹ Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, 5a Butlerova str., Moscow 117485, Russian Federation

² Federal State Autonomous Institution "N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 4th Tverskaya-Yamskaya, 16, Moscow, 125047, Russian Federation

³ A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; 20/1, Delegatskaya str., Moscow, 127473, Russian Federation

Aim of the study. Clarification of the functional and diagnostic significance of topography, or the type of fMRI-response recorded during active and passive hand movements in patients after traumatic brain injury.

Material and methods. fMRI- responses gained during active and passive hand movements were analyzed in 40 patients with posttraumatic motor function disturbances and compared with results gained from 17 healthy volunteers (control group).

Results. In analyzed patients the increase of percentage of diffuse fMRI- response has been shown along with the areas of activation not typical for movement activation pattern typical healthy volunteers. The fMRI response type being it local or multifocal does not clearly correlate with the presence of motor function impairment (hemiparesis). However, it was found that with greater severity of hemiparesis there is a larger percentage of multifocal fMRI-response.

The transition from a multifocal form of a motor fMRI- response to a local one observed in a dynamic study is accompanied by an improvement of patient's general condition, a shift towards normalization of a number of morphofunctional indicators of the central nervous system, the tendency of regression of motor disorders.

Conclusion. The increase of multifocal fMRI- responses in patients after traumatic brain injury is one of the signs of cerebral dysfunction. Dynamically observed transformation from multifocal to local fMRI- responses is associated with current or long-term improvement in motor activity as well, with the regression of other clinical impairments and can be considered as prognostically positive sign of the course of post-traumatic illness.

Keywords: traumatic brain injury, hemiparesis, motor fMRI-response, fMRI, active and passive hand movement, neuroplasticity

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

For citation: Sharova E.V., Lysachev D.A., Dzyubanova N.A., Zhavoronkova L.A., Smirnov A.S., Pogosebikian E.L., Masherov E.L., Pronin I.N. Functional and diagnostic significance of the fMRI-response type to motor loads in patients after traumatic brain damage. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 31–46.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1003>

Received: 18.03.2021.

Accepted for publication: 23.09.2021.

Published online: 29.12.2021.

Введение

Одной из наиболее распространенных форм церебральной патологии является черепно-мозговая травма (ЧМТ) и, в частности, ее тяжелая форма (ТЧМТ), связанная с множественным повреждением корковых и подкорковых образований, а также проводящих путей головного мозга [1, 2]. Последствия ТЧМТ часто проявляются двигательными расстройствами, включая гемипарез. Привлечение данных функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), отражающей изменения уровня оксигенации крови в активируемых участках головного мозга при разных видах деятельности (по сравнению с состоянием покоя) [3], раскрывает новые возможности в изучении

структурно-функционального обеспечения движений в норме и патологии, а также механизмов нарушения двигательной активности у данной категории больных.

В серии наших предыдущих исследований, направленных на выявление фМРТ-маркеров моторного компонента двигательной активности человека, была показана стереотипность и воспроизводимость фМРТ-ответа при сжимании пальцев в кулак у здоровых людей, что обосновывает использование этой парадигмы при тестировании двигательной активности в норме и патологии [4].

Среди двигательных парадигм разной сложности важное место занимает пассивное выполнение моторной пробы, когда движение осуществ-

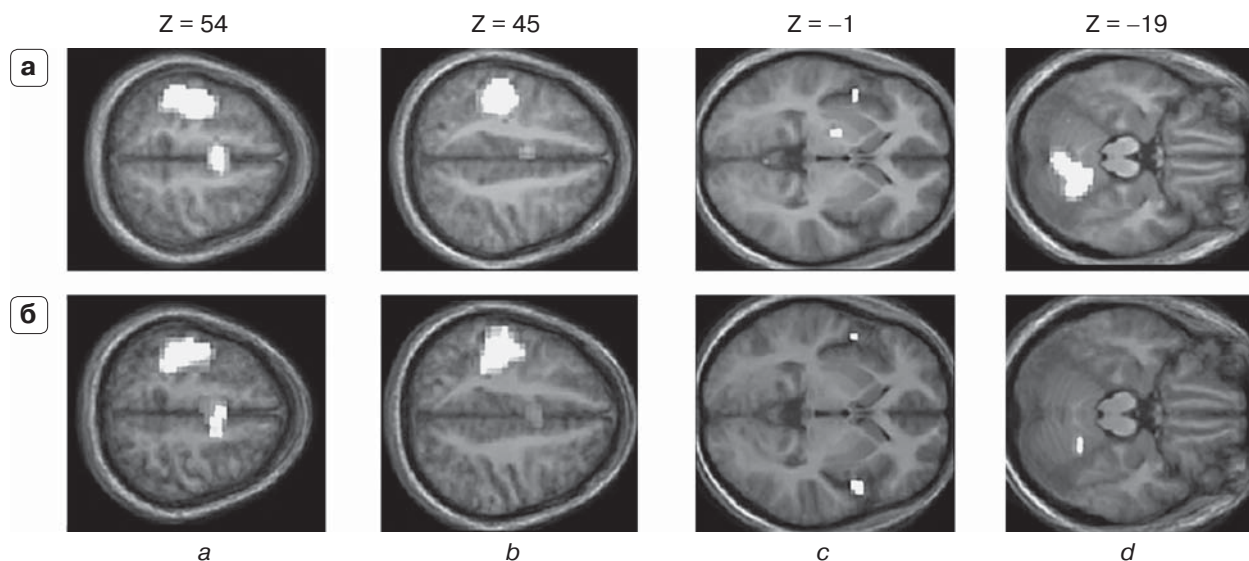
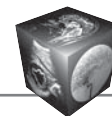


Рис. 1. Усредненные фМРТ-ответы здоровых людей при активном (а) и пассивном (б) движении правой рукой, наложенные на усредненное Т1-изображение мозга ($n = 17$, $t = 3,69$; для активной пробы $p < 0,001$, для пассивной – $p < 0,005$). *a, b, c, d* – идентичные для двух проб срезы объемного изображения мозга. Цит. по [5].

Fig. 1. Average fMRI responses to active (a) and passive (b) motor tasks by the right hand, combined with the averaged T1-illustrations of the brain. ($n = 17$, $t = 3.69$, at active tasks $p < 0.001$, at passive – $p < 0.05$). *a, b, c, d* – identical for the two samples slices of the volumetric image of the brain. Cited according to G.N. Boldyreva et al., 2014 [5].

ляется не самостоятельно, а с помощью другого человека. Проведенное нами ранее [5] сопоставление гемодинамических перестроек у здоровых людей при активном и пассивном выполнении движений выявило значительное сходство топографии фМРТ-ответа при обоих видах движений. Основные зоны активации локализовались в контралатеральном (по отношению к работающей руке) полушарии (сенсомоторная кора и дополнительная моторная область), а также в ипсилатеральном полушарии мозжечка (рис. 1). Различия, подробно описанные ранее, касались в основном уменьшения общего объема активации мозга, преимущественно за счет мозжечкового компонента ответа.

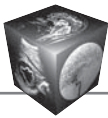
Было показано также, что при движении и правой, и левой рукой сенсомоторный компонент двигательного фМРТ-ответа здоровых людей характеризовался наибольшей устойчивостью [6].

Полученные данные свидетельствуют: 1) о выраженной структурной церебральной детерминированности обеспечения движений в норме и 2) позволяют рекомендовать использование пассивной двигательной парадигмы для картирования моторной зоны у больных с двигательными расстройствами.

Во многих работах по исследованию двигательных фМРТ-ответов при сохранных моторных функциях, а также при их нарушениях разной эти-

ологии основное внимание уделяется анализу гемодинамических изменений в зоне основного коркового ответа – области представительства двигательного анализатора [7–10]. Вместе с тем в проведенных нами ранее фМРТ-исследованиях больных с опухолевым и травматическим повреждением мозга [6, 11–13] была отмечена тенденция к нарастанию диффузности двигательных фМРТ-ответов – с активацией нетипичных для нормы отделов мозга. Подобные нарушения функциональной анатомии движения и динамичный характер фМРТ ответа в процессе нейрореабилитации показаны также у пациентов, перенесших инсульт [14, 15]. Однако трактоваться указанные реактивные особенности гемодинамики могут неоднозначно: 1) как проявление нейропластичности, обеспечивающей реализацию функции в условиях поврежденного мозга [13, 16–18], 2) как возможное отражение патологического усиления реактивности непосредственно поврежденных либо вторично вовлеченных в патологический процесс структур. В связи с этим диагностическая значимость посттравматических изменений двигательного фМРТ-ответа требует уточнения.

Важным аспектом в изучении функциональной анатомии травмированного мозга является также исследование сопряженности топографии двигательных фМРТ-ответов со степенью выраженности гемипареза и характера структурных цереб-



ральных повреждений, провоцирующих моторную дисфункцию.

Следует отметить, что сведения, касающиеся фМРТ-коррелятов движения при гемипарезе, крайне противоречивы и опираются в значительной степени на результаты индивидуальных наблюдений. Так, в обзоре [19], посвященном анализу публикаций по двигательным фМРТ-ответам у больных с двигательными расстройствами разного генеза, в 6 из 9 работ приводятся данные, полученные в крайне небольших выборках пациентов (от 4 до 8 человек), с оценкой гемодинамических ответов преимущественно при самостоятельном выполнении движения. Полагаем, что у больных с грубым гемипарезом, препятствующим такому движению, привлечение данных анализа фМРТ-ответа на пассивную двигательную пробу для оценки состояния центральной регуляции двигательной сферы является весьма обоснованным.

С учетом перечисленных моментов настоящая работа была направлена на уточнение функциональной и диагностической значимости топографических особенностей, или типа фМРТ-ответа, регистрирующегося при активном и пассивном движении рукой, у больных с посттравматическим гемипарезом разной степени.

Материал и методы

Основную группу наблюдений составили 40 пациентов в возрасте от 18 до 48 лет (средний возраст $33 \pm 5,6$ года), проходивших лечение в НИИ нейрохирургии имени акад. Н.Н. Бурденко и обследованных в период 3–12 мес после ТЧМТ. У всех пациентов проводилось полное комплексное клиническое обследование, включавшее методы неврологического наблюдения и нейровизуализации (КТ, МРТ).

По данным нейровизуализации травма сопровождалась множественными повреждениями головного мозга: различные варианты ушибов с отеком, интракраниальные гематомы в сочетании с диффузным аксональным повреждением мозга, верифицированные при КТ и МРТ. Неврологическая оценка двигательного дефекта в форме гемипареза по шкале мышечной силы [20] показала, что у 20 пациентов гемипареза не было (5 баллов), у 7 он был легким (4 балла), у 5 – выраженным (3 балла) и еще у 8 – грубым (1–2 балла). Причиной выявляемых двигательных нарушений было повреждение моторных корковых зон, височных долей, проводящих путей белого вещества, заднего бедра внутренней капсулы. У пациентов без гемипареза локальные очаги поражения в сенсомоторной коре и других отделах мозга отсутствовали.

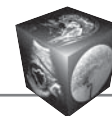
В качестве контроля использовали результаты анализа активных и пассивных двигательных фМРТ-ответов у 17 здоровых испытуемых в возрасте от 21 года до 39 лет (средний возраст $24,3 \pm 5,6$ года) с отсутствием клинических симптомов заболеваний и без моторных нарушений. Возможность использования данных этой группы в качестве опорной, несмотря на некоторые отличия от основной по числу и возрасту испытуемых, обусловлена описанной в литературе высокой воспроизводимостью, стереотипностью и сходством двигательных фМРТ-ответов на используемые нами простые моторные пробы в разных возрастных группах здоровых испытуемых [8, 21].

По результатам оценки профиля функциональной моторной асимметрии при помощи опросника Аннет, а также опроса родственников у пациентов с ограниченным контактом, во всех наблюдениях ведущей была правая рука.

Анализировались фМРТ-ответы при двигательных пробах в виде сжимания-разжимания пальцев в кулак с частотой 1 Гц, при закрытых глазах, после предварительной тренировки с хронометрированием. У здоровых людей и больных без гемипареза эти пробы выполнялись правой рукой, у пациентов с гемипарезом – паретичной. При этом здоровые люди, пациенты без или с легким гемипарезом, а также один – с выраженным, выполняли как активное, так и пассивное движение; остальные пациенты с выраженным а также с грубым гемипарезом – только пассивное.

фМРТ-исследование проводилось на магнитно-резонансном 3,0 Тл томографе GE Healthcare (США). фМРТ-ответ регистрировали по блоковой парадигме, состоящей из чередования периодов покоя и движения, длительностью по 30 с. Усреднялись результаты пятикратного выполнения каждой пробы. Коррекция двигательных артефактов проводилась по стандарту *generalized linear model* (GLM). Данные фМРТ (+BOLD-ответ) обрабатывали по единому протоколу с помощью программы SPM8 в среде Matlab 7.0. В каждом исследовании оценивали статистически (по критерию Стьюдента) увеличение локального кровенаполнения мозговой ткани (+BOLD-эффект) при нагрузке по сравнению с фоном в коре и подкорковых образованиях. Порог значимости различий составлял $p < 0,001$ (с поправкой на множественность сравнений FWE).

Статистические карты значимых изменений оксигенации крови при нагрузке накладывались на индивидуальные МРТ-изображения мозга испытуемых, где интенсивность окрашенности соответствовала уровню активации работающих зон. Данные о пространственном нахождении активи-



рованных зон и их объеме в вокселях определялись с использованием программного пакета AAL.

С учетом высокой вариативности моторных ответов в патологии оценка особенностей их топографии проводилась на индивидуальном уровне. В каждой группе наблюдений (здоровые испытуемые, пациенты без гемипареза, с легким, выраженным и грубым гемипарезом) подсчитывался процент встречаемости локального и более диффузного (мультифокального) типов фМРТ-ответов при активной и пассивной двигательных пробах. Он определялся как процентная доля локальных и мультифокальных ответов от общего числа ответов одного типа (активного или пассивного) в группе. При сравнительной оценке характера двигательного фМРТ-ответа в норме и патологии для процентных долей рассчитывалось значение стандартного отклонения доли, как

$$\sigma_p = \sqrt{p(1-p)/n},$$

где p – процентная доля. Статистическая значимость различий проверялась при помощи точного одностороннего критерия Фишера для таблиц 2×2 .

У 4 пациентов с ТЧМТ были выполнены также динамические исследования диффузионно-тензорной трактографии правого и левого кортикоспинальных трактов (КСТ) на 3 Тл магнитно-резонансном томографе. Вычисляли коэффициент фракционной анизотропии, характеризующий целостность нервных волокон. Контролем являлись данные здоровых испытуемых.

Исследования выполнялись в соответствии с принципами Хельсинкской декларации после получения информированного согласия и одобрения Этическим комитетом ФГАУ “НМИЦ нейрохирургии”, ИВНД и НФ РАН.

Результаты

При изучении особенностей структурного церебрального обеспечения моторных функций у больных, перенесших ТЧМТ, опорными являлись результаты анализа двигательных фМРТ-ответов **у здоровых людей**. Проведенный у них анализ индивидуальных двигательных фМРТ-ответов (активных и пассивных) показал, что наряду с основными зонами активации (сенсомоторная кора контралатерального движению полушария и дополнительная моторная область, а также ипсилатеральная гемисфера мозжечка (рис. 2, I), в реакцию могли вовлекаться и другие отделы контра- и ипсилатерального полушарий, а также подкорковые структуры (преимущественно ядра стриопаллидарной системы) (рис. 2, II, III). Их представленность была выражена в значительно меньшей сте-

пени по сравнению с основными компонентами ответа. В целом отмеченные топографические особенности гемодинамических перестроек мозга определяли тип двигательного фМРТ-ответа: локальный, отражающий включение в реакцию основных, типичных для нормы зон, или мультифокальный, характеризующий активацию более широкого круга структур как корковой, так и подкорковой локализации.

Выраженность мультифокальных фМРТ-ответов в контрольной группе при самостоятельном движении правой рукой составляла 29% (табл. 1), а при пассивном – 42% (табл. 2). Тенденция к нарастанию диффузности, а также вариативности фМРТ-ответов при пассивном движении, отмечаемая нами в норме и ранее [5], может отражать: 1) меньшую автоматизированность такой формы двигательной реакции по сравнению с активным сжиманием пальцев в кулак, являющимся аналогом хватательного рефлекса приматов; 2) вклад, помимо моторной, и тактильной составляющей в формирование этого, по существу мультимодального церебрального “ответа”.

У пациентов с ТЧМТ фМРТ-ответы при пассивной двигательной пробе были получены во всех случаях, при активной – у больных без гемипареза или с легкой степенью его выраженности, а также в одном наблюдении с умеренным гемипарезом. Гемодинамические изменения при обоих видах движения характеризовались значительно более резко выраженной межиндивидуальной вариабельностью по сравнению со здоровыми испытуемыми. При наличии ответов, сходных по своей топографии с нормой, выявлялись и более диффузные, с активацией нетипичных для данной двигательной нагрузки в норме отделов мозга: височных и затылочных корковых областей, нижней лобной и верхней теменной ассоциативных зон, а также подкорковых ядер, обеспечивающих движение (скорлупа, хвостатое ядро), и лимбических образований (гиппокамп, поясная извилина).

Раздельный анализ активных и пассивных двигательных фМРТ-ответов, ранжированных при визуальной оценке, выявил общую тенденцию к нарастанию их диффузности по мере усиления гемипареза, т.е. снижения мышечной силы. Если в норме при *активной* двигательной пробе правой руки мультифокальные фМРТ-ответы встречались в 29% случаев, то у пациентов с ТЧМТ при отсутствии гемипареза – в 45%, при гемипарезе легкой степени – в 57% (см. табл. 1). Кроме того, мультифокальный тип фМРТ-ответа был также выявлен у единственного пациента с выраженным гемипарезом, который смог самостоятельно выполнить двигательную пробу.

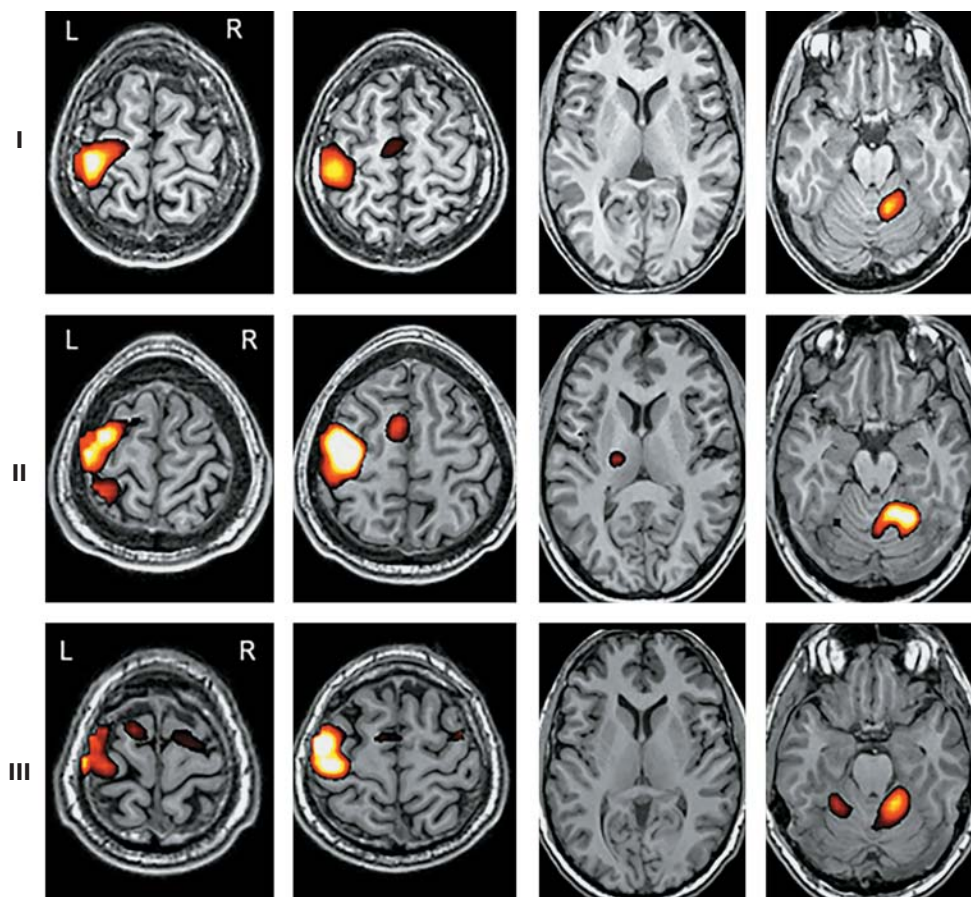


Рис. 2. Варианты индивидуального фМРТ-ответа при самостоятельном выполнении двигательной пробы правой рукой здоровыми испытуемыми. **I** – локальный тип двигательного ответа у испытуемого Г; **II** – мультифокальный ответ испытуемого Б; **III** – мультифокальный ответ испытуемого Т. Представлены идентичные срезы объемного изображения мозга ($p < 0,001$, $T = 3,19$).

Fig. 2. Variants of an individual fMRI response when healthy subjects independently perform a motor test with the right hand. **I** – the local type of motor response in ex. G.; **II** – multifocal response ex. B.; **III** – multifocal response ex. T. Identical slices of a volumetric image of the brain are shown ($p < 0.001$, $T = 3.19$).

Таблица 1. Представленность локальных и мультифокальных фМРТ-ответов при активной двигательной пробе у здоровых испытуемых и у пациентов с отсутствием и наличием легкого посттравматического гемипареза (%) и уровень значимости отличий от нормы (точный критерий Фишера для таблиц 2×2)

Table 1. Representation of local and multifocal fMRI responses during an active motor test in healthy subjects and in patients with the absence and presence of mild posttraumatic hemiparesis (%) and the level of significance of differences from the norm (Fisher's exact test for tables 2×2)

Группа обследованных	Локальный		Мультифокальный		p
	n	%	n	%	
Здоровые	12	71	5	29	0,26 0,21
Отсутствие гемипареза	11	55	9	45	
Легкий гемипарез	3	43	4	57	

Таблица 2. Представленность локальных и мультифокальных фМРТ-ответов при пассивной двигательной пробе в норме и при ТЧМТ с разной выраженностью гемипареза (%) и уровень значимости отличий от нормы (точный критерий Фишера для таблиц 2×2)

Table 2. Representation of local and multifocal fMRI responses during passive motor test in healthy subjects and in patients with different severity of hemiparesis after TBI (%) and the level of significance of differences from the norm (Fisher's exact test for tables 2×2)

Группа обследованных	Локальный		Мультифокальный		p
	n	%	n	%	
Здоровые	10	58	7	42	0,24 0,64 0,40 0,04
Отсутствие гемипареза	4	36	7	64	
Легкий гемипарез	4	54	3	46	
Выраженный	2	40	3	60	
Грубый	1	15	7	85	

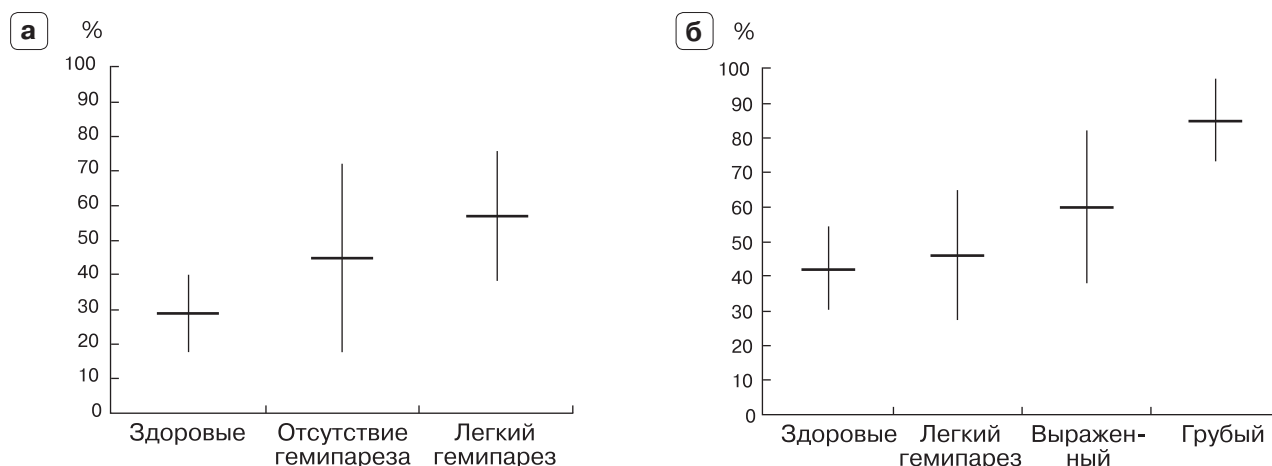
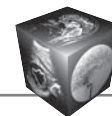


Рис. 3. Представленность мультифокальных фМРТ-ответов при активной (а) и пассивной (б) двигательных пробах в норме и при ТЧМТ с разной выраженностью гемипареза (%). Процентные доли мультифокального ответа (горизонтальные линии) и их стандартные ошибки $\sigma_p = \sqrt{p(1-p)/n}$, (вертикальные линии).

Fig. 3. Representation of the multifocal fMRI responses during active (a) and passive (б) movement tests in healthy subjects and in TBI with different severity of hemiparesis (%). The percentage of multifocal responses (horizontal lines) and their standard errors $\sigma_p = \sqrt{p(1-p)/n}$, (vertical lines).

При *пассивной* двигательной пробе правой (ведущей) руки фМРТ-ответ в норме был мультифокальным у 42% здоровых испытуемых. У пациентов с ЧМТ при наличии гемипареза процент мультифокальных ответов нарастает почти линейно, по мере усиления двигательного дефекта: 46% – при легком, 60% – при выраженном, 85% – при грубом (см. табл. 2). В последнем случае отличия от нормы достигают уровня статистической значимости. На рис. 3 представлены процентные доли мультифокального ответа в группах наблюдений с указанием стандартной ошибки их оценки. Видно нарастание этой доли как в активном, так и в пассивном двигательном фМРТ-ответе с ростом выраженности гемипареза.

Высокий процент мультифокальных пассивных двигательных гемодинамических ответов (64%) выявляется также в группе пациентов без гемипареза. Вместе с тем следует отметить, что топография мультифокальных ответов в этой выборке наблюдений нерезко отличалась от вариантов нормы: наряду с сенсомоторной корой левого полушария (зона основного ответа) у двух человек была активирована правая моторная кора, у остальных – небольшие участки лобных, теменных или височных корковых областей и в одном случае – подкорковые образования. Четкого соответствия между топографией зон дополнительной фМРТ-активации и локализацией выявляемых у пациентов деструктивных изменений мозга (по данным МРТ) не установлено.

В то же время у некоторых пациентов с выраженным и грубым гемипарезом на фоне множественных, более тяжелых по сравнению с группой без гемипареза повреждений головного мозга пассивный двигательный фМРТ-ответ (ПДО) имел локальный, близкий к норме характер (см. табл. 2).

Визуальное сопоставление активного и пассивного двигательных фМРТ-ответов, полученных у одних и тех же пациентов, у которых было возможным провести оба теста, выявило тенденцию к нарастанию диффузности ответов при активной пробе по сравнению с пассивной (рис. 4). Увеличение числа включенных в реакцию структур мозга наиболее резко было выражено при наличии гемипареза (см. рис. 4, II). Следует подчеркнуть выявленное отличие церебральной реактивности пациентов с посттравматическими двигательными нарушениями от здоровых людей (в виде превалирования мультифокальных двигательных фМРТ-ответов при пассивной пробе по сравнению с активной).

Учитывая данные индивидуальных сопоставлений об отсутствии определенного соответствия между характером двигательного фМРТ-ответа и особенностями структурных изменений мозга (данные КТ и МРТ), приведенные результаты указывают на возможную сопряженность выраженности мультифокального ответа со степенью моторных нарушений. Для уточнения этого представления, обуславливающего диагностическую информативность характера гемодинамиче-

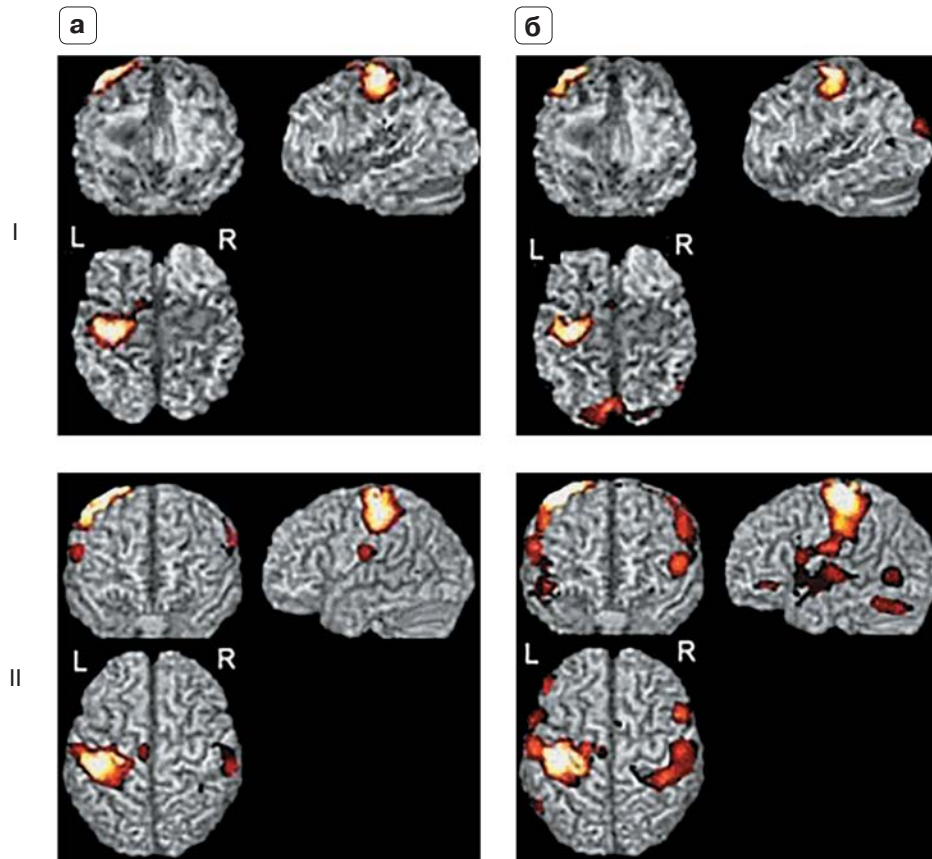
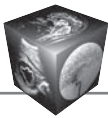


Рис. 4. Индивидуальные сопоставления фМРТ-ответов при пассивной (а) и активной (б) двигательных пробах правой руки у пациентов с ЧМТ. I – пациент А-ш, 32 лет, без гемипареза; II – пациент И, 24 лет, с легким правосторонним гемипарезом.

Fig. 4. Individual comparisons of fMRI responses in passive (a) and active (b) motor tests of the right hand in patients with TBI. I – patient A-Sh, 32 years old, without hemiparesis; II – patient I., 24 years old, with mild right-sided hemiparesis.

ских двигательных ответов, у двух пациентов с ТЧМТ были проанализированы ПДО фМРТ в процессе клинического восстановления. В обоих случаях были отмечены их существенные изменения: переход от мультифокальной формы в более раннем исследовании к локальной в отдаленном периоде. Для определения клинических и структурно-функциональных факторов, сопряженных с подобной трансформацией фМРТ-ответов, был проведен детальный анализ данных клинического наблюдения этих пациентов.

Наблюдение 1

Пациентка К., 20 лет, перенесла ТЧМТ (падение с высоты), сопровождавшуюся субарахноидальным кровоизлиянием, ушибом правой височной доли с формированием пластинчатой субдуральной гематомы.

При первом исследовании, проведенном через месяц после травмы, на сериях МР-томограмм головного мозга (рис. 5б, I) определяется субдуральная гематома в правой теменно-затылочной и правой височной областях с признаками повреждения конвексимальных отделов соответствующих долей. Отмечается умеренное расширение желудочковой системы, субарахноидального конвексимального пространства и базальных цистерн.

Пациентка находится в ясном сознании, правильно ориентирована в месте, времени, личной ситуации – при снижении памяти на текущие события. В неврологическом статусе отмечено снижение силы в проксимальных отделах левых конечностей до 3 баллов, снижение болевой чувствительности на левой руке.

ПДО фМРТ при движении левой, паретичной рукой имеет ярко выраженный мультифокальный характер (рис. 5а, I). Наряду с корковой сенсомоторной корой правой гемисферы в него включаются лобно-базальные, а также затылочно-медио-базальные отделы обоих полушарий и лобная кора слева.

При втором исследовании, через 4 мес после травмы, у пациентки отмечены улучшение общего клинического состояния и психической деятельности, а также регресс левостороннего гемипареза (от выраженного в 3 балла до легкого в 4 балла). Этому сопутствовало улучшение морфофункциональных показателей головного мозга по данным структурной МРТ (рис. 5б, II): 1) уменьшение размеров гематомы в правом полушарии приводит к улучшению мозгового кровотока и снижению ее давления на структуры полушария, 2) восстановление анатомических соотношений головного мозга.

ПДО фМРТ при движении левой руки (рис. 5а, II) сходен с нормой, с локальными зонами активации в мо-

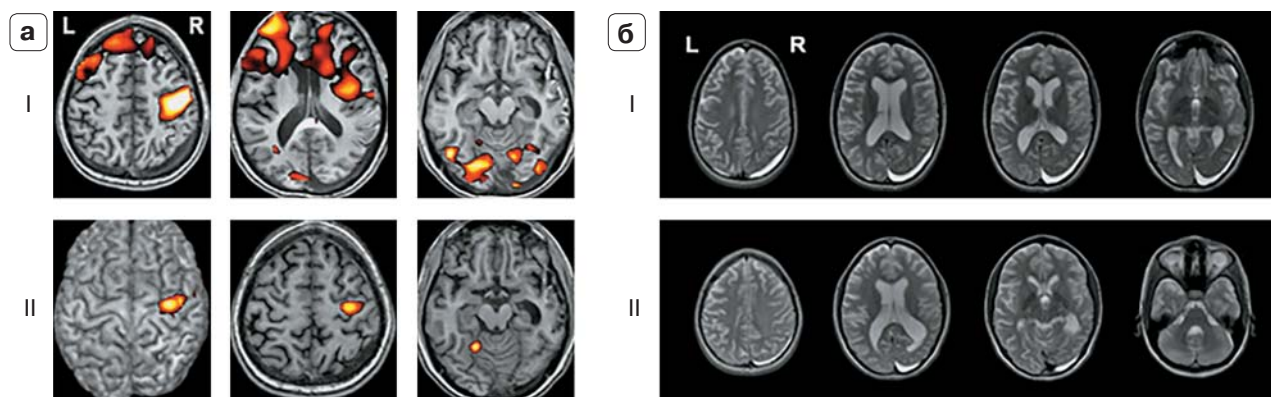
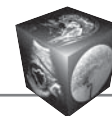


Рис. 5. Изменения показателей нейровизуализации пациентки К. в динамике восстановления после ЧМТ. I – 1 мес, II – 4 мес после ЧМТ. **а** – фМРТ при пассивном движении левой паретичной рукой; **б** – структурная МРТ.

Fig. 5. Changes in neuroimaging indicators of patient K-va in the dynamics of recovery after TBI. I – 1 month, II – 4 months after TBI. **a** – fMRI for passive movement of the left paretic arm; **б** – structural MRI.

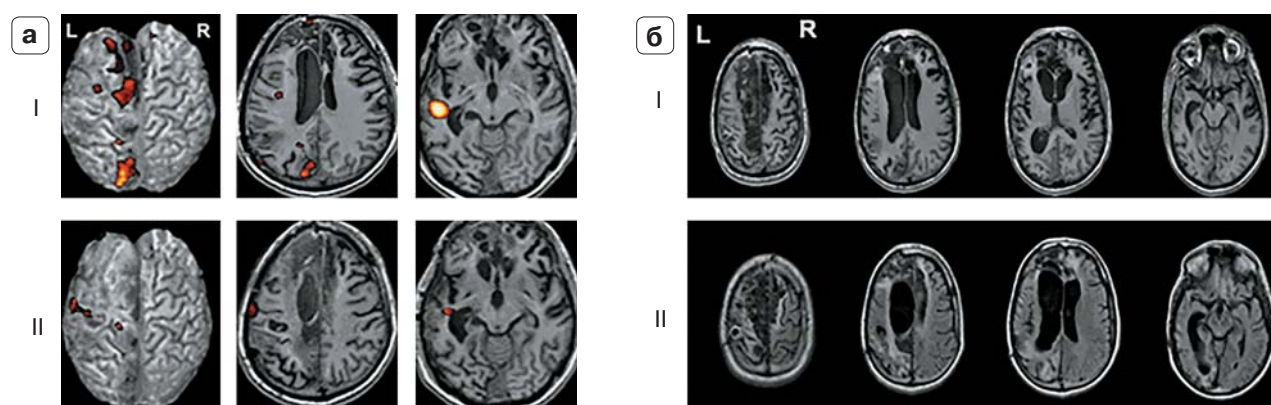


Рис. 6. Изменения показателей нейровизуализации пациента К-го в динамике восстановления после ЧМТ. I – 6-й месяц, II – 11 мес после ЧМТ. **а** – фМРТ при пассивном движении правой, более паретичной рукой; **б** – структурная МРТ.

Fig. 6. Changes in neuroimaging indicators of patient K-sky in the dynamics of recovery after TBI. I – 6 months, II – 11 months after TBI. **a** – fMRI with passive movement of the right, more paretic hand; **б** – structural MRI.

торной коре правого полушария и в левой гемисфере мозжечка.

Проводившееся у пациентки динамическое диффузионно-тензорное исследование КСТ выявило повышение исходно сниженной фракционной анизотропии правого КСТ и приближение значений к норме наряду с патологическим снижением этого показателя для левого КСТ.

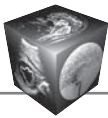
Наблюдение 2

Пациент К., 22 года, перенес более тяжелую ЧМТ с ушибом головного мозга, формированием внутримозговой гематомы левой лобной доли, удаленной в первые сутки после травмы, инфарктами в бассейне обеих передних мозговых артерий, диффузным отеком головного мозга.

Первое фМРТ-исследование двигательной активности было проведено через 6 мес после травмы. Пациент

в сознании, но дезориентирован в месте и времени, отмечается снижение критики к своему состоянию. При неврологическом осмотре выявляется тетрапарез с повышением мышечного тонуса и преимущественным вовлечением правой стороны: грубый гемипарез справа, легкий – слева. Диагностируются симптоматическая фокальная эпилепсия с миоклоническими гиперкинезами правой руки и правой половины лица, а также грубый псевдобульбарный синдром. Эта симптоматика свидетельствует об обширном очаге в левой лобно-височно-подкорковой и правой лобно-медиальной областях.

На структурной МРТ (рис.6б, I) отчетливо выражено расширение боковых желудочков, определяются распространенные кистозно-атрофические изменения мозгового вещества медиальных отделов лобных долей, левой теменной и локально медиальных отделов левой затылочной доли.



ПДО фМРТ при движении правой рукой с более выраженным гемипарезом имеет латерализованный (слева), но более диффузный по сравнению с нормой характер (рис. 6а, I). Помимо моторной коры левого полушария, активация проявляется также в затылочных и префронтальных регионах. В более глубоких отделах полушария ответ выражен в верхней височной и в верхней затылочной (срез 2), а также в нижней теменной (срез 3) извилинах. Не визуализируется слабая активация в мозжечке ввиду весьма низких и недостоверных ее значений в табличном (числовом) варианте представления данных.

Второе исследование выполнено спустя 11 мес после ТЧМТ. У пациента отмечается ряд положительных изменений когнитивной сферы (практически ясное сознание с негрубым снижением памяти на текущие события) и неврологического статуса (восстановление мышечной силы в левой руке, регресс подкорковых нарушений от правого и левого полушарий, ослабление подкоркового гиперкинеза и элементов экстрапирамидного мышечного тонуса), отражающих в совокупности регресс левополушарной патологической симптоматики. Отмечается также восстановление чувствительности, что свидетельствует об улучшении функции теменных корковых областей. Вместе с тем сохраняется ряд нарушений, указывающих на дисфункцию лобной и височной коры левого полушария: грубый правосторонний гемипарез, речевые расстройства моторного характера, а также фокальная эпилепсия.

По данным структурной МРТ (рис. 6б, II) сохраняющаяся неврологическая симптоматика сопряжена с наличием кистозно-глиозных изменений в левом полушарии и правой лобной области. На фоне также сохраняющегося расширения желудочковой системы можно отметить уменьшение отека мозговой ткани, более выраженное в правой гемисфере.

К числу выявленных позитивных морфофункциональных изменений можно отнести данные динамического диффузно-тензорного исследования КСТ: отсутствие выраженных изменений исходно близких к норме показателей фракционной анизотропии правого КСТ наряду с увеличением этого показателя, ранее патологически сниженного, для левого КСТ.

ПДО фМРТ при движении правой рукой во втором исследовании (рис. 6а, II) резко ослаблен по интенсивности, особенно в моторной коре левого полушария. Вместе с тем следует отметить уменьшение по сравнению с первым исследованием включения в реакцию нетипичных для нормы зон активации и приближение ответа по топографии к локальному типу.

По данным катamnестического исследования через 2 года и более после травмы у пациента отмечена дальнейшая позитивная динамика когнитивной сферы и регресс, хотя и неполный, моторных нарушений: восстановление силы в проксимальных отделах правых руки

и ноги, но сохранение слабости в кисти и стопе при повышении мышечного тонуса по пирамидно-экстрапирамидному типу. Сохранялся контролируемый фокальный судорожный синдром. К числу причин стойкости указанных нарушений можно отнести наличие гидроцефалии как постоянного фактора протекания травматической болезни головного мозга в данном наблюдении.

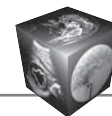
Обсуждение

Анализ двигательных фМРТ-ответов у пациентов с моторными посттравматическими расстройствами, проведенный в сопоставлении с нормативными данными, показал, что у пациентов с ТЧМТ на фоне значительной вариабельности гемодинамических изменений при самостоятельном (активном) и “пассивном” (с помощью другого человека) движении руки выявляются 2 типа двигательных фМРТ-ответов: близкий к норме (локальный) и более диффузный (мультифокальный), с активацией нетипичных для движения у здоровых испытуемых областей мозга. В работе выявлено нарастание по сравнению с нормой процента мультифокальных двигательных активных и пассивных гемодинамических ответов при ЧМТ, что ориентировочно может быть обусловлено степенью посттравматического гемипареза. Статистический анализ подтверждает описанную тенденцию к нарастанию мультифокальных ответов с ростом двигательного дефекта, достигающую статистической достоверности $p < 0,038$ при сравнении подгруппы “грубый гемипарез” с нормой. Однако эта зависимость проявляется неустойчиво: локальные ответы могут отмечаться при грубом и выраженном гемипарезе, а мультифокальные – при легком гемипарезе и при его отсутствии.

Кроме того, в проанализированных нами индивидуальных динамических наблюдениях выявлено, что не всегда переход от мультифокального фМРТ-ответа к локальному коррелирует с уменьшением степени гемипареза. Но, как минимум, подобная трансформация сопряжена с вероятным последующим регрессом моторных нарушений и отражает улучшение морфофункционального состояния мозга как основы системного обеспечения двигательной активности.

Полученные нами данные согласуются с изменениями пространственной организации двигательных фМРТ-ответов у пациентов, перенесших инсульт, в процессе мультимодальной нейрореабилитации с позитивным эффектом [22].

Таким образом, выявившийся в динамическом фМРТ-исследовании переход от мультифокального типа ответа к локальному может рассматриваться как прогностически благоприятный признак в отношении регресса двигательных наруше-



ний, отражая наступившее или будущее улучшение двигательной активности.

Отдельного обсуждения заслуживает вопрос о природе диффузности моторного фМРТ-ответа. Результаты проводившихся нами индивидуальных фМРТ – МРТ-сопоставлений, данные о наличии мультифокальных ответов у пациентов без или с легким гемипарезом, но локального – при выраженном или грубом, на фоне тяжелых и множественных повреждений мозга не подтверждают напрямую предположения о соответствии топографии зон активации в мультифокальном фМРТ-ответе и поврежденных областей мозга с повышенной лабильностью. Это согласуется с результатами подобных сопоставлений, проведенных ранее у пациентов без или с легким гемипарезом после ЧМТ [6, 12, 23]. По данным [12], мультифокальный характер двигательного фМРТ ответа сопряжен с большей сложностью для больного выполнения движения руки, обусловленной повреждением основных, специфичных для движения регионов мозга, а также КСТ, обеспечивающих его в норме.

Эти представления согласуются с данными, приведенными в настоящей работе. Разный тип фМРТ-ответа при активном и пассивном движении мы наблюдали у одного и того же пациента в ходе одного исследования. Выявленное при этом отличие церебральной реактивности пациентов от здоровых людей с превалированием в патологии диффузных двигательных фМРТ-ответов при активной пробе по сравнению с пассивной может быть объяснено нарастанием сложности для больных выполнения самостоятельного движения, требующего привлечения дополнительных структурно-функциональных ресурсов [24].

Значимость состояния КСТ в динамике трансформации двигательного фМРТ-ответа подтверждается и нашими наблюдениями: переход от мультифокального типа ответа к локальному сопровождался приближением к норме показателей фракционной анизотропии КСТ, связанного с исследуемым движением паретичной рукой.

Вместе с тем из-за вариативности характера структурных изменений у исследованных нами пациентов (данные КТ и МРТ) проведение более детальных структурно-функциональных сопоставлений не представлялось возможным. Кроме того, нельзя исключить наличия в мозге зон микродеструкции или нарушения микроциркуляции, не выявляемых рутинными методами нейровизуализации. Надо полагать, что дальнейший набор материала с выделением групп больных со сходными деструктивными изменениями мозга в результате ЧМТ, сопровождающейся разной степенью геми-

пареза, позволит более детально исследовать структурно-функциональные корреляции.

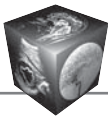
Рассмотрение диффузности двигательного фМРТ-ответа при ТЧМТ правомерно также в контексте сопряженности изменений нейроанатомии движения с проявлением нейропластичности мозга как основы компенсации двигательного дефекта [25], в том числе и в ряде наших публикаций [13, 26]. В пользу такого представления свидетельствуют данные литературы об универсальном характере изменений двигательного фМРТ-ответа при разных формах церебральной патологии [11, 14, 15, 27], о вероятном компенсаторном включении в обеспечение движения, помимо кортикоспинального, трактов филогенетически более древней экстрапирамидной системы [13, 26, 28], а также о возможности использования после повреждений мозга потенциала нервной пластичности за пределами механизмов и структурной основы спонтанного восстановления при нейрореабилитации [29]. Так, результаты предшествующих фМРТ- и ЭЭГ-исследований указывают на вероятное подключение к обеспечению движения ипсилатерального полушария и лобно-мостового тракта при легком гемипарезе, активацию теменно-височно-мостового, а также затылочно-мезэнцефального трактов по мере усиления гемипареза [12, 23, 26].

В целом же представленные данные приводят к выводу о том, что нарастание диффузности двигательных фМРТ-ответов с включением в реактивный процесс несвойственных для здорового мозга структур мозга при формировании движения отражает степень его дисфункции. Подтверждением этому являются результаты динамических исследований, выявившие переход от мультифокального типа фМРТ-ответа к локальному, который можно рассматривать как прогностически благоприятный признак течения посттравматической болезни. Эти данные, по нашему мнению, значимы для оценки текущего состояния и эффективности лечебных воздействий в клинике.

Заключение

У пациентов с ТЧМТ на фоне значительной вариативности гемодинамических изменений при самостоятельном (активном) и “пассивном” (с помощью другого человека) движении руки выявлен больший по сравнению с нормой процент встречаемости мультифокальных двигательных фМРТ-ответов с активацией нетипичных для движения у здоровых испытуемых областей мозга.

Тип двигательного фМРТ-ответа (локальный или мультифокальный) не обнаруживает четких корреляций с наличием или отсутствием двига-



тельных расстройств в форме гемипареза. Однако при этом установлено, что большей степени двигательного дефекта соответствует более высокий процент встречаемости мультифокальных фМРТ-ответов.

Наблюдаемый при динамическом исследовании переход от диффузной формы двигательного фМРТ-ответа к локальной сопровождается улучшением общего клинического состояния и психической деятельности пациента, а также сдвигом в сторону нормализации ряда морфофункциональных показателей ЦНС, что не всегда сопряжено с текущим уменьшением степени гемипареза. Вместе с тем указанная трансформация может рассматриваться как прогностически благоприятный признак, отражая наступившее или будущее улучшение двигательной активности и регресс других форм проявления церебральной дисфункции.

Работа частично поддержана Грантом РФФИ 19-29-01002 мк, а также средствами государственного бюджета по гос. заданию на 2019–2021 годы (№ АААА-А17-117092040004-0).

Участие авторов

Шарова Е.В. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, интеграция результатов всех составляющих исследования, написание текста.

Болдырева Г.Н. – сравнительный анализ данных фМРТ исследований в норме и при патологии, подготовка и редактирование текста.

Лысачев Д.А. – сбор и обобщение данных фМРТ исследований.

Дзюбанова Н.А. – анализ клинических данных.

Жаворонкова Л.А. – формирование групп наблюдений, определение профиля функциональной моторной асимметрии испытуемых, подбор и анализ литературы.

Смирнов А.С. – проведение фМРТ исследований, анализ и интерпретация полученных данных.

Погосбекян Э.Л. – сбор и анализ данных диффузионно-тензорной трактографии

Машеров Е.Л. – статистический анализ результатов.

Пронин И.Н. – обеспечение проведения нейровизуализационных исследований, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Sharova E.V. – the concept and design of the study, analysis and interpretation of the data obtained, the integration of the results of all components of the study, writing the text.

Boldyreva G.N. – comparative analysis of data from fMRI studies in health and disease, preparation and editing of the text.

Lysachev D.A. – collection and synthesis of fMRI data
Dzyubanova N.A. – analysis of clinical data.

Zhavoronkova L.A. – formation of observation groups, determination of the profile of functional motor asymmetry of the subjects, selection and analysis of literature.

Smirnov A.S. – carrying out fMRI studies, analysis and interpretation of the data obtained.

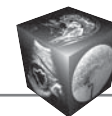
Pogosbekyan E.L. – collection and analysis of diffusion tensor tractography data.

Masharov E.L. – statistical analysis of the results.

Pronin I.N. – provision of neuroimaging research, approval of the final version of the article

Список литературы

1. Bigler E.D., Wilde E.A. Quantitative neuroimaging and the prediction outcome following traumatic brain injury. *Frontiers Human Neurosci.* 2010; 4 (3): 228–234. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00228>
2. Потапов А.А., Данилов Г.В., Сычев А.А., Захарова Н.Е., Пронин И.Н., Савин И.А., Ошоров А.В., Полупан А.А., Александрова Е.В., Струнина Ю.В., Лихтерман Л.Б., Охлопков В.А., Латышев Я.А., Челушкин Д.М., Баранич А.И., Кравчук А.Д. Клинические и магнитно-резонансные томографические предикторы длительности комы, объема интенсивной терапии и исходов при черепно-мозговой травме. *Журнал "Вопросы нейрохирургии" имени Н.Н. Бурденко.* 2020; 84 (4): 5–16. <http://doi.org/10.17116/neiro2020840415>
3. Штарк М.Б., Коростышевская А.М., Резакова М.В., Савелов А.А. Функциональная магнитно-резонансная томография и нейронауки. *Успехи физиологических наук.* 2012; 43 (1): 3–29.
4. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., Челяпина М.В., Дубровская Л.П., Симонова О.А., Фадеева Л.Н., Пронин И.Н., Корниенко В.Н. Структурно- функциональные особенности работы мозга при выполнении и представлении двигательных нагрузок у здоровых людей (ЭЭГ и фМРТ исследования). *Журнал высшей нервной деятельности.* 2013; 63 (3): 316–327. <http://doi.org/10.7868/S0044467713030039>
5. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., Челяпина М.В., Дубровская Л.П., Симонова О.А., Смирнов А.С., Трошина Е.М., Корниенко В.Н. фМРТ и ЭЭГ реакции мозга здорового человека при активных и пассивных движениях ведущей рукой. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова.* 2014; 64 (5): 388–399. <http://doi.org/10.7868/S0044467714050049>
6. Жаворонкова Л.А., Морареску С.И., Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Купцова С.В., Смирнов А.С., Машеров Е.Л., Пронин И.Н. фМРТ-реакции мозга при выполнении двигательных нагрузок у пациентов с черепно-мозговой травмой. *Физиология человека.* 2018; 44 (5): 2–9. <http://doi.org/10.1134/S0131164618050168>
7. Фролов А.А., Федотова И.Р., Гусек Д., Бобров П.Д. Ритмическая активность мозга и интерфейс мозг-компьютер, основанный на воображении движений. *Успехи физиологических наук.* 2017; 48 (3): 72–91.
8. Van de Winckel A., Klingels K., Bruyninckx F., Wenderoth N., Peeters R., Sunaert S., Van Hecke W., De Cock P.,



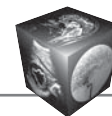
- Eysen M., De Weerd W., Feys H. How does brain activation differ in children with unilateral cerebral palsy compared to typically developing children, during active and passive movements, and tactile stimulation? An fMRI study. *Res. Dev. Disabil.* 2013. 34 (1): 183–197. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.07.030>
9. Weiss C., Nettekoven C., Rehme A., Neuschmelting V., Eisenbeis A., Goldbrunner R., Grefkes C. Mapping the hand, foot and face representations in the primary motor cortex – Retest reliability of neuronavigated TMS versus functional MRI. *NeuroImage*. 2013. 66: 531–543.
10. Weinstein M., Green D., Rudisch J., Zielinski I.M., Benthem-Muñiz M., Jongsma M.L.A., McClelland V., Steenbergen B., Shiran S., Ben Bashat D., Barker G.J. Understanding the relationship between brain and upper limb function in children with unilateral motor impairments: a multimodal approach. *Eur. J. Paediatr. Neurol.* 2018; 22 (1): 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2017.09.012>
11. Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А., Шарова Е.В., Мигалев А.С., Скорятина И.Г., Фадеева Л.М., Подопригора А.Е., Пронин И.Н., Корниенко В.Н. ЭЭГ – фМРТ анализ функциональной специализации мозга человека в норме и при церебральной патологии. *Медицинская визуализация*. 2012; 1: 16–26.
12. Мухина Т.С., Шарова Е.В., Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А., Смирнов А.С., Куликов М.А., Александрова Е.В., Челябинца М.В., Машеров Е.Л., Пронин И.Н. Особенности нейроанатомии активных движений руки у пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой (анализ данных функциональной магнитно-резонансной томографии). *Журнал неврологии, нейropsychиатрии, психосоматики*. 2017; 9 (1): 27–33. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2017-1-27-33>
13. Sharova E., Boldyreva G., Zhavoronkova L., Smirnov A., Azarov A., Mukhina T., Gavron A., Kulikov M., Alexandrova E., Pronin I. fMRI analysis of the human brain's neuroplasticity as a basis of movement disorders compensation after traumatic brain injury. Accepted abstracts of ECCN. *Clin. Neurophysiol.* 2017; 128 (9): e278–e279. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.07.320>
14. Добрынина Л.А., Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кадыков А.С. Функциональная реорганизация сенсомоторной коры при двигательных нарушениях различной выраженности у больных с хроническими супратенториальными инфарктами. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2012; 6 (3): 4–13. <https://doi.org/10.17816/psaic267>
15. Diao Q., Liu J., Wang C., Cao C., Guo J., Han T., Cheng J., Zhang X., Yu C. Gray matter volume changes in chronic subcortical stroke: A cross-sectional study. *NeuroImage: Clin.* 14 (2017): 679–684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nicl.2017.01.031>
16. Бушенева С.Н., Кадыков А.С., Черникова Л.А. Влияние восстановительной терапии на функциональную организацию двигательных систем после инсульта. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2007; 2: 4–8. <https://doi.org/10.17816/psaic439>
17. Abela E., Seiler A., Missimer J.H., Federspiel A., Hess C.W., Sturzenegger M., Weder B.J., Wiest R. Grey matter volumetric changes related to recovery from hand paresis after cortical sensorimotor stroke. *Brain Struct Funct.* 2015; 220: 2533–2550. <https://doi.org/10.1007/s00429-014-0804-y>
18. Yong Zhang, Kuang-Shi Li, Yan-Zhe Ning, Cai-Hong Fu, Hong-Wei Liu, Xiao Han, Fang-Yuan Cui, Yi Ren, Yi-Huai Zou. Altered structural and functional connectivity between the bilateral primary motor cortex in unilateral subcortical stroke. A multimodal magnetic resonance imaging study. *Medicine*. 2016; 95: 31(e4534). <http://dx.doi.org/10.1097/MD.0000000000004534>
19. Gaberova K, Pacheva I., Ivanov I. Task-related fMRI in hemiplegic cerebral palsy – A systematic review. *J. Eval. Clin. Pract.* 2018; 24 (4): 839–850. <https://doi.org/10.1111/jep.12929>
20. McPeak L.A. Physiatric history and examination. In: Braddom R., ed. *Physical medicine and rehabilitation*. W.B. Saunders Company, 1996: 3–42.
21. Добрынина Л.А., Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кадыков А.С. Использование пассивной двигательной парадигмы в оценке сенсомоторной системы методом функциональной МРТ. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2011; 5 (3): 10–19.
22. Саенко И.В., Морозова С.Н., Змейкина Э.А., Коновалов Р.Н., Червяков А.В., Пойдашева А.Г., Черникова Л.А., Супонева Н.А., Пирадов М.А., Козловская И.Б. Изменение функциональной коннективности моторных зон при использовании мультимодального экзоскелетного комплекса “Регент” в нейрореабилитации больных, перенесших инсульт. *Физиология человека*. 2016; 42 (1): 64–72. <https://doi.org/10.7868/S013116461601015X>
23. Болдырева Г.Н., Ярец М.Ю., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., С.В. Купцова, Челябинца-Постникова М.В., Машеров Е.Л., Куликов М.А., Смирнов А.С., Пронин И.Н. Особенности фМРТ-реакций мозга при двигательных нагрузках у пациентов с легким посттравматическим гемипарезом. *Журнал высшей нервной деятельности*. 2020; 70 (5): 579–589. <https://doi.org/10.31857/S0044467720050044>
24. Хараузов А.К., Васильев П.П., Соколов А.А., Фокин В.А., Шелепин Ю.Е. Анализ изображений функциональной магнитно-резонансной томографии головного мозга человека в задачах распознавания текстур. *Оптический журнал*. 2018; 85 (8): 22–28. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2018-85-08-22-28>
25. Kou Z., Iraj A. Imaging brain plasticity after trauma. *Neural. Regen. Res.* 2014; 9 (7): 693–700. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.131568>
26. Шарова Е.В., Болдырева Г.Н., Лысачев Д.А., Куликов М.А., Жаворонкова Л.А., Челябинца-Постникова М.В., Попов В.А., Трошина Е.М., Александрова Е.В., Смирнов А.С., Скорятина И.Г. ЭЭГ-корреляты пассивного движения руки у пациентов с черепно-мозговой травмой при сохранном двигательном фМРТ ответе. *Физиология человека*. 2019; 45 (5): 30–40. <https://doi.org/10.1134/S0131164619050175>
27. Zang K., Johnson B., Ray W., Sebastianelli W., Slobounov S. Are functional deficits in concussed individuals consistent with white matter structural alterations: combined fMRI and DTI study. *Exp Brain Res.* 2010; 204 (1): 57–70. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2294-3>
28. Кадыков А.С., Бархатов Ю.Д. Значение состояния различных проводящих путей головного мозга в восстановлении функции ходьбы у пациентов, перенесших инсульт. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2014; 8 (3): 45–48. <https://doi.org/10.17816/psaic172>



29. Prosperini L., Di Filippo M. Beyond clinical changes: Rehabilitation induced neuroplasticity in MS. *Multiple Sclerosis J.* 2019; 25 (10): 1348–1362. <https://doi.org/10.1177/1352458519846096>

References

1. Bigler E.D., Wilde E.A. Quantitative neuroimaging and the prediction outcome following traumatic brain injury. *Frontiers Human Neurosci.* 2010; 4 (3): 228–234. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00228>
2. Potapov A.A., Danilov G.V., Sychev A.A., Zakharova N.E., Pronin I.N., Savin I.A., Oshorov A.V., Polupan A.A., Aleksandrova E.V., Strunina Yu.V., Likhterman L.B., Okhlopov V.A., Latyshev Ya.A., Chelushkin D.M., Baranich A.I., Kravchuk A.D. Clinical and MRI predictors of coma duration, critical care intensity and outcomes in traumatic brain injury. *Burdenko's Journal of Neurosurgery = Zhurnal "Voprosy neirokhirurgii" imeni N.N. Burdenko.* 2020; 84 (4): 5–16. <https://doi.org/10.17116/neiro2020840415>
3. Shtark M.B., Korostishevskaya A.M., Resakova M.V., Savelov A.A. Functional magnetic resonance imaging and neuroscience. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk.* 2012; 43 (1): 3–29. (In Russian)
4. Boldyreva G.N., Sharova E.V., Zhavoronkova L.A., Chelyapina M.V., Dubrovskaya L.P., Simonova O.A., Fadeeva L.M., Pronin I.N., Korniyenko V.N. Structural and Functional Peculiarity of Brain Activity to Performance and Imaginary Motor Tasks in Healthy Persons (EEG and fMRI study). *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity = Zh Vyssh Nerv Deiat I P Pavlova.* 2013; 63 (3): 316–327. <http://doi.org/10.7868/S0044467713030039> (In Russian)
5. Boldyreva G.N., Sharova E.V., Zhavoronkova L.A., Chelyapina M.V., Dubrovskaya L.P., Simonova O.A., Smirnov A.S., Troshina E.M., Korniyenko V.N. EEG and fMRI Reactions of a Healthy Brain at Active and Passive Movements by a Leading Hand. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity = Zh Vyssh Nerv Deiat I P Pavlova.* 2014; 64 (5): 388–399. <http://doi.org/10.7868/S0044467714050049> (In Russian)
6. Zhavoronkova L.A., Boldyreva G.N., Sharova E.V., Kuptsova S.V., Moresku S.I., Smirnov A.S., Masharov E.L., Pronin I.N. fMRI reactions in motor tasks performed by patients with traumatic brain injury. *Human Physiology.* 2018; 44 (5): 2–9. <http://doi.org/10.1134/S0131164618050168> (In Russian)
7. Frolov A.A., Fedotova I.R., Husek D., Bobrov P.D. Rhythmic brain activity and brain computer interface based on motor imagery. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk.* 2017; 48 (3): 72–91. (In Russian)
8. Van de Winckel A., Klingels K., Bruyninckx F., Wenderoth N., Peeters R., Sunaert S., Van Hecke W., De Cock P., Eyssen M., De Weert W., Feys H. How does brain activation differ in children with unilateral cerebral palsy compared to typically developing children, during active and passive movements, and tactile stimulation? An fMRI study. *Res. Dev. Disabil.* 2013. 34 (1): 183–197. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.07.030>
9. Weiss C., Nettekoven C., Rehme A., Neuschmelting V., Eisenbeis A., Goldbrunner R., Grefkes C. Mapping the hand, foot and face representations in the primary motor cortex – Retest reliability of neuronavigated TMS versus functional MRI. *NeuroImage.* 2013. 66: 531–543.
10. Weinstein M., Green D., Rudisch J., Zielinski I.M., Benthem-Muñiz M., Jongsma M.L.A., McClelland V., Steenbergen B., Shiran S., Ben Bashat D., Barker G.J. Understanding the relationship between brain and upper limb function in children with unilateral motor impairments: a multimodal approach. *Eur. J. Paediatr. Neurol.* 2018; 22 (1): 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2017.09.012>
11. Boldyreva G.N., Zhavoronkova L.A., Sharova E.V., Migalev A.S., Skoriatina I.G., Fadeeva L.M., Podoprigora A.E., Pronin I.N., Korniyenko V.N. EEG–fMRI study of human brain functional specialization in healthy persons and patients with cerebral pathology. *Medical Visualization.* 2012; 1: 16–26. (In Russian)
12. Mukhina T.S., Sharova E.V., Boldyreva G.N., Zhavoronkova L.A., Smirnov A.S., Kulikov M.A., Aleksandrova E.V., Chelyapina M.V., Masharov E.L., Pronin I.N. The neuroanatomy of active hand movement in patients with severe traumatic brain injury: Analysis of functional magnetic resonance imaging data. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2017; 9 (1): 27–33. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2017-1-27-33> (In Russian)
13. Sharova E., Boldyreva G., Zhavoronkova L., Smirnov A., Azarov A., Mukhina T., Gavron A., Kulikov M., Alexandrova E., Pronin I. fMRI analysis of the human brain's neuroplasticity as a basis of movement disorders compensation after traumatic brain injury. Accepted abstracts of ECCN. *Clin. Neurophysiol.* 2017; 128 (9): e278–e279. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.07.320>
14. Dobrynina L.A., Kremneva E.I., Konovalov R.N., Kadykov A.S. Functional reorganization of sensorimotor cortex in chronic hemispheric ischemic stroke patients with different severity of motor deficit. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2012; 6 (3): 4–13. <https://doi.org/10.17816/psaic267> (In Russian)
15. Diao Q., Liu J., Wang C., Cao C., Guo J., Han T., Cheng J., Zhang X., Yu C. Gray matter volume changes in chronic subcortical stroke: A cross-sectional study. *NeuroImage: Clin.* 14 (2017): 679–684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nicl.2017.01.031>
16. Busheneva S.N., Kadykov A.S., Chernikova L.A. Influence of rehabilitation therapy on functional organization of motor systems after stroke. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2007; 2: 4–8. <https://doi.org/10.17816/psaic439> (In Russian)
17. Abela E., Seiler A., Missimer J.H., Federspiel A., Hess C.W., Sturzenegger M., Weder B.J., Wiest R. Grey matter volumetric changes related to recovery from hand paresis after cortical sensorimotor stroke. *Brain Struct Funct.* 2015; 220: 2533–2550. <https://doi.org/10.1007/s00429-014-0804-y>
18. Yong Zhang, Kuang-Shi Li, Yan-Zhe Ning, Cai-Hong Fu, Hong-Wei Liu, Xiao Han, Fang-Yuan Cui, Yi Ren, Yi-Huai Zou. Altered structural and functional connectivity between the bilateral primary motor cortex in unilateral subcortical stroke. A multimodal magnetic resonance imaging study. *Medicine.* 2016; 95: 31(e4534). <http://dx.doi.org/10.1097/MD.0000000000004534>
19. Gaberova K., Pacheva I., Ivanov I. Task-related fMRI in hemiplegic cerebral palsy – A systematic review. *J. Eval. Clin. Pract.* 2018; 24 (4): 839–850. <https://doi.org/10.1111/jep.12929>



20. McPeak L.A. Physiatric history and examination. In: Braddom R., ed. Physical medicine and rehabilitation. W.B. Saunders Company, 1996: 3–42.
21. Dobrynina L.A., Kremneva E.I., Konovalov R.N., Kadykov A.S. Functional MRI study: passive motor paradigm in the assessment of sensorimotor system. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2011; 5 (3): 10–19. <https://doi.org/10.17816/psaic302> (In Russian)
22. Saenko I.V., Morozova S.N., Zmeykina E.A., Konovalov R.N., Chervyakov A.V., Poydasheva A.G., Chernikova L.A., Suponeva N.A., Piradov M.A., Kozlovskaya I.B. Changes in the Functional Connectivity of Motor Zones in the Use of Multimodal Exoskeleton Complex “Regent” in the Neurorehabilitation of Post-Stroke Patients. *Human Physiology*. 2016; 42 (1): 64–72. <https://doi.org/10.7868/S013116461601015X> (In Russian)
23. Boldyreva G.N., Yarets M.Y., Sharova E.V., Zhavoronkova L.A., Kuptsova S.V., Chelyapina-Postnikova M.V., Masharov E.L., Kulikov M.A., Smirnov A.S., Pronin I.N. Features Of fMRI brain reaction in motor load by patients with mild post-traumatic hemiparesis. *Журнал высшей нервной деятельности*. 2020; 70 (5): 579–589. <https://doi.org/10.31857/S0044467720050044> (In Russian)
24. Kharauzov A.K., Vasil'ev P.P., Shelepin Y.E., Sokolov A.V., Fokin V.A. Functional magnetic resonance imaging analysis of the human brain in texture recognition tasks. *Journal of Optical Technology*. 2018; 85 (8): 22–28. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2018-85-08-22-28> (In Russian)
25. Kou Z., Iraj A. Imaging brain plasticity after trauma. *Neural Regen. Res*. 2014; 9 (7): 693–700. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.131568>
26. Sharova E.V., Boldyreva G.N., Kulikov M.A., Zhavoronkova L.A., Chelyapina-Postnikova M.V., Popov V.A., Troshina E.M., Aleksandrova E.V., Smirnov A.S., Skoryatina I.G., Lysachev D.A. EEG correlates of passive hand movement in patients after traumatic brain injury with preserved fmri motor response. *Human Physiology*. 2019; 45 (5): 30–40. <https://doi.org/10.1134/S0131164619050175>
27. Zang K., Johnson B., Ray W., Sebastianelli W., Slobounov S. Are functional deficits in concussed individuals consistent with white matter structural alterations: combined FMRI and DTI study. *Exp Brain Res*. 2010; 204 (1): 57–70. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2294-3>
28. Kadykov A.S., Barkhatov Y.D. The value of various brain pathways impairment in the post-stroke rehabilitation of walking function. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2014; 8 (3): 45–48. <https://doi.org/10.17816/psaic172> (In Russian)
29. Prosperini L., Di Filippo M. Beyond clinical changes: Rehabilitation induced neuroplasticity in MS. *Multiple Sclerosis J*. 2019; 25 (10): 1348–1362. <https://doi.org/10.1177/1352458519846096>

Для корреспонденции*: Шарова Елена Васильевна – 117485 Москва, ул. Бутлерова, 5А. Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Тел.: +7-499-972-85-59 (не менее 7 гудков). E-mail: ESharova@nsi.ru

Шарова Елена Васильевна – доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории общей и клинической нейрофизиологии ФГБУН “Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4994-4187>. E-mail: esharova@nsi.ru

Болдырева Галина Николаевна – доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории общей и клинической нейрофизиологии ФГБУН “Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1719-2304>. E-mail: GBoldyreva@nsi.ru

Лысачев Дмитрий Анатольевич – аспирант кафедры урологии ФГБУ ВО “Московский медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9872-0959>. E-mail: DLysachev@nsi.ru

Дзюбанова Наталья Анатольевна – канд. мед. наук, врач-невролог отделения спинальной нейрохирургии ФГАУ “Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5015-4118> E-mail: ndzubanova@nsi.ru

Жаворонкова Людмила Алексеевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории общей и клинической нейрофизиологии ФГБУН “Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0884-7455>. E-mail: lzavoronkova@hotmail.com

Смирнов Александр Сергеевич – врач отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ “Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9313-6350>. E-mail: asmirnoff@nsi.ru

Погосбекян Эдуард Леонидович – медицинский физик отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ “Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4803-6948>. E-mail: epogosbekyan@nsi.ru

Машеров Евгений Леонидович – канд. техн. наук., старший научный сотрудник лаборатории клинической нейрофизиологии ФГАУ “Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко” Минздрава России, Москва. E-mail: EMasherov@nsi.ru

Пронин Игорь Николаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики, заместитель директора по науке ФГАУ “НМИЦ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4480-0275>

Contact*: Elena V. Sharova – 117485, Moscow, Butlerova str., 5A. Institute of higher nervous activity and neurophysiology. Phone: +7-499-972-85-59 (rings at least 7). E-mail: ESharova@nsi.ru

Elena V. Sharova – Doct. of Sci. (Biol.), Chief researcher in the Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, oscow. <https://orcid.org/0000-0003-4994-4187>. E-mail: esharova@nsi.ru



Galina N. Boldyreva – Doct. of Sci. (Biol.), Professor, Chief researcher in the Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1719-2304>. E-mail: GBoldyreva@nsi.ru

Dmitry A. Lysachev – Resident in Department of urology at A.I. Yevdokimov Moscow state university of medicine and dentistry, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9872-0959>. E-mail: DLysachev@nsi.ru

Natalia A. Dzyubanova – Cand. of Sci. (Med.), neurologist, Federal State Autonomous Institution “N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5015-4118>. E-mail: ndzubanova@nsi.ru

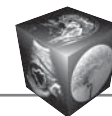
Lyudmila A. Zhavoronkova – Doct. of Sci. (Biol.), leading researcher of the Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0884-7455>. E-mail: lzhavoronkova@hotmail.com

Aleksandr S. Smirnov – med. doctor of Neuroradiology department of Federal State Autonomous Institution “N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9313-6350>. E-mail: asmirnof@nsi.ru

Edward L. Pogosebkyan – medical physicist of Neuroradiology department of Federal State Autonomous Institution “N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4803-6948>. E-mail: epogosebkyan@nsi.ru

Evgeny L. Masherov – Cand. of Technical Sci., Senior Researcher Laboratory of Clinical Neurophysiology of Federal State Autonomous Institution “N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1082-1390>. E-mail: EMasherov@nsi.ru

Igor N. Pronin – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Neuroradiology department, Deputy Director of Federal State Autonomous Institution “N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4480-0275>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1027>

Планирование методов хирургической коррекции мягких тканей лица и шеи

© Алимova С.М.^{1*}, Шаробарo В.И.^{1,2}, Тельнова А.В.², Степанян Э.Э.³

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

² ФГБУ "Федеральный научно-клинический центр" ФМБА России; 115682 Москва, Ореховый бульвар, д. 28, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО "Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова" Минздрава России; 127473, Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

Цель исследования: роль ультразвукового исследования (УЗИ) при планировании хирургической коррекции возрастных изменений мягких тканей лица и шеи.

Материал и методы исследования. Проведен проспективный анализ исследования и лечения 80 пациентов с инволютивными изменениями мягких тканей лица и шеи, находившихся в клинике "Моситалмед" в период с 2018 по 2020 г. Возраст пациентов варьировал от 24 до 60 лет. Средний возраст составил $42 \pm 6,89$ года ($\pm$ SE стандартное отклонение среднее). Пациентов женского пола было 67 (83,7%), мужского – 13 (16,3%).

Результаты. Отмечена диагностическая ценность УЗИ при оценке инволюционных изменений мягких тканей лица и шеи для определения причин контурных деформаций.

Заключение. Ультразвуковая визуализация в вертикальном положении пациента дает возможность определить степень участия каждой ткани в формировании деформации, что является крайне важным для планирования различных методик омоложения лица и шеи.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, эстетическая хирургия, лицо, шея, лечение, хирургическая коррекция

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Алимova С.М., Шаробарo В.И., Тельнова А.В., Степанян Э.Э. Планирование методов хирургической коррекции мягких тканей лица и шеи. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 47–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1027>

Поступила в редакцию: 22.04.2021. Принята к печати: 08.11.2021. Опубликовано online: 29.12.2021.

Planning of methods of surgical correction of soft tissues of the face and neck

© Sekina M. Alimova^{1*}, Valentin I. Sharobaro^{1,2}, Anna V. Telnova², Elza E. Stepanyan³

¹ Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia; 1, Ostrivtyanova str., Moscow 117997, Russian Federation

² Federal Research Clinical Center of the Federal Medical Biological agency; 115682 Moscow, 28, Orekhovy bld., Russian Federation

³ A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; 20/1, Delegatskaya str., Moscow, 127473, Russian Federation

Objective. Role of ultrasound examination in planning surgical correction of age-related changes of the face and neck soft tissues.

Methods. A prospective analysis of the study and treatment of 80 patients with involutive changes in the soft tissues of the face and neck who were carried out from 2018 to 2020 in the Mositalmed Clinic. The age of the patients ranged from 24 to 60 years. The mean age was 42 ± 6.89 years ($\pm$ SE standard deviation mean). There were 67 female patients (83.7%), male patients – 13 (16.3%).



Results. The diagnostic value of ultrasound examination in involutional changes in the soft tissues of the face and neck for determining the causes of contour deformities is noted.

Conclusion. Ultrasound imaging in an upright position of the patient makes it possible to determine the degree of participation of each tissue in the formation of deformity, which is extremely important for planning various techniques for rejuvenating the face and neck.

Keywords: ultrasound diagnostics, aesthetic surgery, face, neck, treatment, surgical correction

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

For citation: Alimova S.M., Sharobaro V.I., Telnova A.V., Stepanyan E.E. Planning of methods of surgical correction of soft tissues of the face and neck. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 47–52.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1027>

Received: 22.04.2021.

Accepted for publication: 08.11.2021.

Published online: 29.12.2021.

Введение

Практически все возрастные изменения мягких тканей лица и шеи характеризуются общим свойством: избытком и сопровождающимся опущением здоровых мягких тканей. Основные мягкие ткани, которые определяют контуры и внешний вид, – это кожа, подкожная жировая клетчатка и мышцы (поверхностная мышечно-апоневротическая система, включая платизму).

К опущению мягких тканей приводят старение кожи, истончение поверхностных и глубоких связок лица, а также перемещение или скопление избытков жировой ткани в области лица и шеи и птоз поверхностной мышечно-апоневротической системы. Выраженность этих изменений определяет возможности и результаты коррекции, однако часто невозможно клинически объективно определить степень участия каждой ткани в формировании деформации и нарушении контуров [1–4]. В связи с этим возрастает роль предоперационной диагностики в планировании методов хирургической коррекции.

Цель исследования

Роль ультразвукового исследования (УЗИ) при планировании хирургической коррекции возрастных изменений мягких тканей лица и шеи.

Материал и методы исследования

Проведен проспективный анализ исследования и лечения 80 пациентов с инволютивными изменениями мягких тканей лица и шеи, находившихся в клинике “Моситалмед” в период с 2018 по 2020 г.

Возраст пациентов варьировал от 24 до 60 лет. Средний возраст составил $42 \pm 6,89$ года ($\pm SE$ – стандартное отклонение среднее). Пациентов женского пола было 67 (83,7%), мужского – 17 (16,3%).

Исследование проводилось на аппарате Voluson E8 (Австрия) линейным датчиком 9L с частотой излучения 3–8 МГц в В-режиме. УЗИ всем пациентам производилось в вертикальном поло-

жении головы и шеи без компрессии мягких тканей для выявления преобладающего компонента птозированных тканей, а также оценки количественного соотношения мягких тканей. Оценивали толщину кожи, подкожно-жировой клетчатки и птозированных мышц, степень участия каждой ткани в формировании деформации. Другие методики УЗИ мягких тканей (оценка состояния кровотока с помощью доплерографии и компрессионная эластография) не проводились из-за неактуальности, по нашему мнению, для определения методов хирургической коррекции возрастных изменений лица и шеи.

Результаты

В настоящее время в медицине используется множество новых технологических методов. Одним из наиболее доступных и неинвазивных методов является УЗИ. Однако, несмотря на это, оно не использовалось в клинической практике для диагностики инволютивных изменений мягких тканей лица и шеи для определения лечебной тактики. В ходе работы нами была отмечена высокая информативность при выборе методов хирургической коррекции возрастных изменений мягких тканей лица и шеи.

Ниже приводим несколько клинических наблюдений.

Клиническое наблюдение 1. Пациентка К., 34 года, обратилась с жалобами на нарушение контуров мягких тканей лица и шеи, “второй” подбородок. Клинический диагноз: Возрастная атрофия мягких тканей нижней трети лица и шеи (L57.4 по МКБ 10).

При осмотре отмечалось незначительное провисание мягких тканей в области нижней трети лица и шеи. Имелись незначительные избытки кожи, тонус кожи снижен незначительно.

При УЗИ в вертикальном положении пациентки отмечалось скопление жировой ткани в области нижней трети лица шеи (68% от толщины мягких тканей, нару-

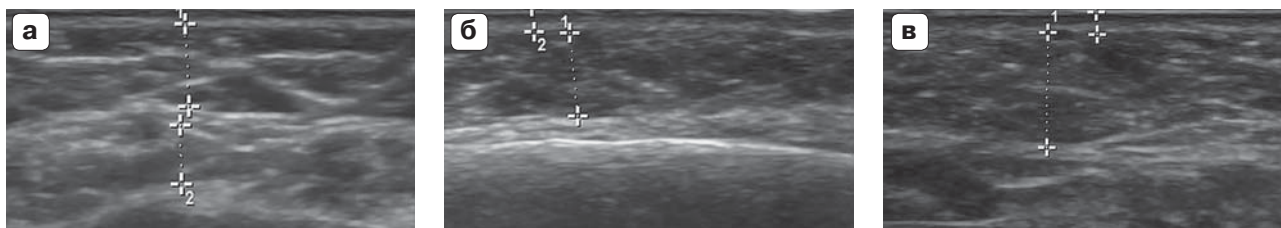
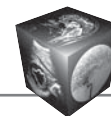


Рис. 1. Ультразвуковое исследование мягких тканей в В-режиме. Скопление жировой ткани в области подбородка (а), по контуру нижней челюсти с двух сторон (б, в).

Fig. 1. Ultrasound examination of soft tissues in B-mode. Accumulation of adipose tissue at the chin area (а), along the contour of the lower jaw on the both sides (б, в).

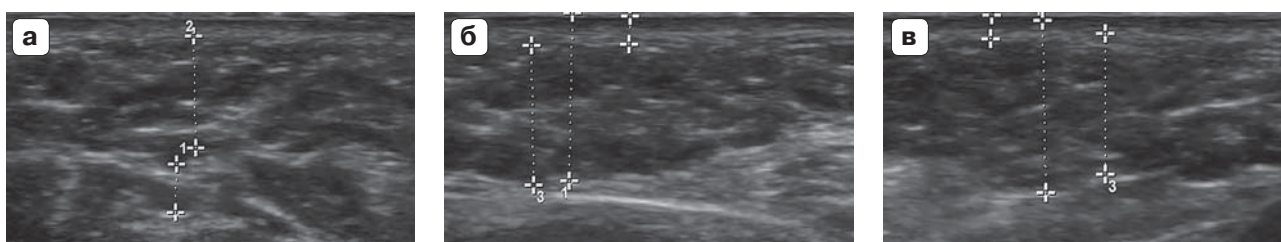


Рис. 2. Ультразвуковое исследование мягких тканей в В-режиме. Скопление жировой ткани в области подбородка (а) и по контуру нижней челюсти (б, в), не превышавшее толщину подкожной жировой клетчатки в смежных областях.

Fig. 2. Ultrasound examination of soft tissues in B-mode. Accumulation of adipose tissue at the chin area (а), along the contour of the lower jaw (б, в) not exceeding the thickness of the subcutaneous fatty tissue in the areas.

шавших контуры нижней челюсти и шеи). Возрастных изменений платизмы не визуализировалось.

В ходе УЗИ стало очевидным, что при данном клиническом случае удаление избыточной подкожной жировой клетчатки по контуру нижней челюсти и подбородка (рис. 1) будет достаточным для восстановления правильных эстетических линий данных областей.

Клиническое наблюдение 2. Пациентка И., 47 лет, обратилась с жалобами на опущение мягких тканей лица и шеи. Клинический диагноз: возрастная атрофия мягких тканей нижней трети лица и шеи (L57.4 по МКБ 10).

Визуально отмечались опущение мягких тканей в области нижней трети лица, сглаженный шейно-подбородочный угол, тонус тканей снижен, незначительные избытки кожи с возможностью перераспределения без иссечения и образования деформирующих складок.

При УЗИ в горизонтальном положении пациентки визуализировалось скопление жировой ткани по контуру нижней челюсти и в области подбородка, и было выявлено, что 73% толщины мягких тканей являлись избыточным отложением подкожной жировой клетчатки.

Нарушение контуров нижней челюсти и шейно-подбородочной области было вызвано именно локальным избыточным отложением подкожной жировой клетчатки, незначительными избытками кожи. Пациентке были проведены липоскация по контуру нижней челюсти

и подподбородочной области, нитевой лифтинг мягких тканей нижней трети лица и шеи. Выполнение данных малоинвазивных методик привело к коррекции нарушенных контуров нижней трети лица и шеи деформаций (рис. 2).

Клиническое наблюдение 3. Пациентка Д., 54 года, обратилась с жалобами на наличие опущения мягких тканей лица и шеи, что вызывало выраженную эстетическую деформацию. Клинический диагноз: возрастная атрофия мягких тканей нижней трети лица и шеи (L57.4 по МКБ 10).

Визуально отмечались атрофия мягких тканей в области нижней трети лица и шеи, выраженные избытки кожи и морщины со складками без возможности перераспределения без иссечения.

При УЗИ отмечалось нарушение контура нижней челюсти за счет атрофии мышц и кожи, толщина “брылей”, нарушавших контуры нижней челюсти, на 88% состояла из птозированной кожи и мышц, толщина жировой клетчатки не превышала таковую по сравнению со смежными областями (рис. 3).

Исходя из данных объективного осмотра и УЗИ, пациентке была выполнена традиционная хирургическая коррекция возрастной атрофии мягких тканей лица и шеи.

Клиническое наблюдение 4. Пациентка К., 59 лет, обратилась с жалобами на выраженное старение тканей

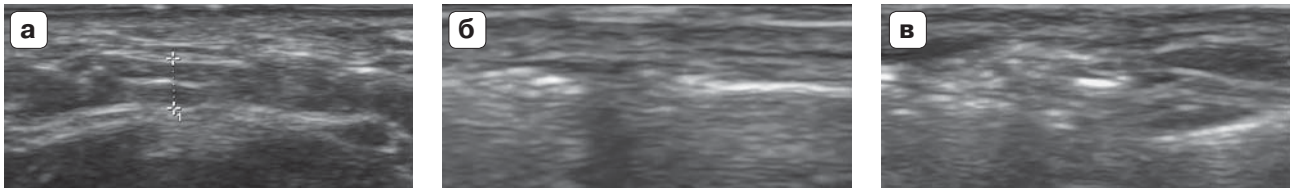


Рис. 3. Ультразвуковое исследование мягких тканей в В-режиме. Нарушение контуров в области подбородка (а), нижней челюсти за счет атрофии мышц и кожи (б, в).

Fig. 3. Ultrasound examination of soft tissues in B-mode. Breaking the contours at the chin area (а), lower jaw due to muscle and skin atrophy (б, в).

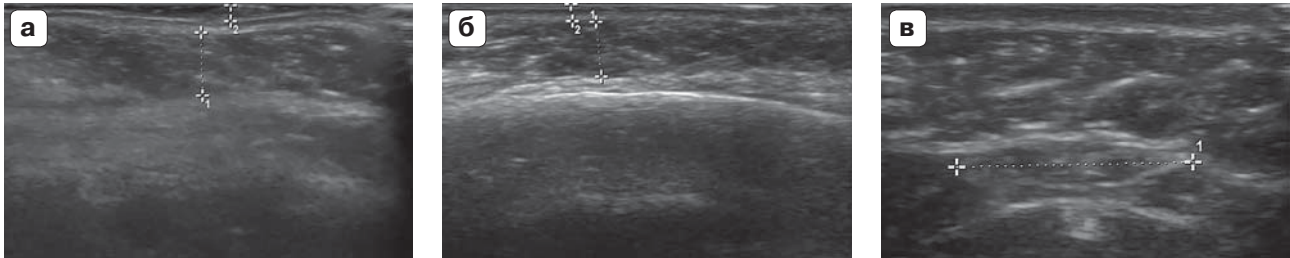


Рис. 4. Ультразвуковое исследование мягких тканей в В-режиме. Нарушение контуров нижней челюсти, шеи за счет атрофии мышц, кожи (а, б), скопления подкожно-жировой клетчатки в области подбородка (в).

Fig. 4. Ultrasound examination of soft tissues in B-mode. Breaking the contours at the lower jaw area, neck due to muscle (а, б), skin and congestion of subcutaneous fat at the chin area (в).

в области нижней трети лица и шеи. Клинический диагноз: возрастная атрофия мягких тканей в области нижней трети лица и шеи (L57.4 по МКБ 10).

Визуально отмечались атрофия мягких тканей в области нижней трети лица и шеи, выраженные избытки кожи и морщины со складками без возможности перераспределения без иссечения и образования деформирующих складок, нарушение контура нижней челюсти, сглаженный шейно-подбородочный угол, тургор кожи снижен.

При УЗИ визуализировалось нарушение контура нижней челюсти за счет атрофии мышц и кожи, толщина “брылей”, нарушавших контуры нижней челюсти, на 86% состояла из птозированной кожи и мышц, толщина жировой клетчатки не превышала таковую по сравнению со смежными областями, в подбородочной области отмечались скопление подкожно-жировой клетчатки, атрофия платизмы.

На основании УЗИ была определена тактика хирургического лечения, пациентке была проведена хирургическая коррекция с пластикой поверхностной мышечно-апоневротической системы, включая платизму, иссечение избытков мягких тканей, липосакция подбородочной области, медиальная платизмопластика с достижением желаемого результата.

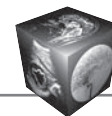
Таким образом, предоперационное УЗИ позволяет оценить степень участия каждой из мягких тканей лица в возрастных инволютивных изменениях у конкретного пациента и четко определить лечебные действия для их коррекции (рис. 4).

Обсуждение

В эстетической хирургии лица стремительно развиваются новые методы визуализации и технологии. Результаты оперативных вмешательств в большей степени зависят от понимания механизмов образования каждой конкретной деформации, умения оценивать их при планировании и проведении хирургической коррекции [5, 6].

Старение лица обусловлено изменениями состояния кожи, мимических мышц и жировой ткани [7]. В области шеи возрастные изменения могут быть определены несколькими факторами, такими как слабость кожи и платизмы, появление видимых птозированных полос платизмы, опущение подчелюстных желез, липодистрофия и даже резорбция челюстей [8]. Выраженные изменения анатомии в области лица и шеи делают некоторые вмешательства более сложными, что может ограничить получение положительных результатов [9].

Несмотря на многообразие техник коррекции возрастных изменений мягких тканей лица и шеи в своей деятельности, многие авторы отмечают важность точной оценки причин нарушения контуров лица и шеи и тем не менее часто пренебрегают использованием методов диагностики [10]. Анализ литературы показывает, что лишь единичные работы посвящены объективной диагностике причин инволюционных изменений мягких тканей лица и шеи [11]. К сожалению, практически все авторы полагаются на субъективную оценку кли-



нической ситуации. Вместе с тем, основываясь на анатомических исследованиях, является очевидным, что необходима дифференциация анатомических структур деформаций мягких тканей в области лица и шеи [12].

N.V. Alfen и соавт. (2012) одними из первых стали применять ультразвук для исследования мышц лица у пациентов с миотонической дистрофией, указав, что ультразвук является перспективным методом для изучения мышц лица при нервно-мышечных расстройствах, мышечной дистрофии Дюшенна, синдроме Мебиуса, для того чтобы определить, являются ли определенные мышцы лица отсутствующими или просто атрофическими. Тем самым авторы указали на перспективу для использования в качестве неинвазивного средства диагностики и наблюдения этих пациентов [13].

G.F. Volk и соавт. (2014) описали диагностическую ценность ультразвука при поражениях лицевого нерва после травм или опухолей, которые приводят к атрофии мышц лица. УЗИ использовали для определения площади поперечного сечения мышц, толщину и интенсивность эха у пациентов с хроническим периферическим параличом лица на разных стадиях денервации и реинервации, при этом позволяя получать индивидуальные оптимизированные поперечные сечения быстро и безболезненно, одновременно предоставляя функциональную и структурную информацию о состоянии мышц [14].

T. Safran и соавт. (2018) отметили важность использования ультразвука в косметологии, измеряя толщину мышц после инъекции ботулотоксина типа А, толщину кожи после имплантации нитей из полимолочной кислоты, перед пластическими операциями в области век и лица, тем самым указав важность визуализации анатомии пациентов в режиме реального времени, а также в качестве эффективного источника энергии для процедур, имея при этом низкую частоту терапевтических осложнений (Global Aesthetic Improvement – утвержденная шкала оценки процедур для лица) и не подвергая пациента радиационному облучению [15].

X. Wortsmani соавт. (2018) указали важность ультразвуковой оценки лицевых структур при различных деформациях, парезах мышц лица, бруксизме. Однако исследования проводились в положении пациентов лежа, т.е. при отсутствии птоза мягких тканей [16].

De Greef S. и соавт. (2005) для определения толщины мягких тканей лица была разработана мобильная и быстрая полуавтоматическая ультра-

звуковая система, которая состоит из ультразвукового устройства, подключенного к портативному ПК с интерфейсным и управляющим программным обеспечением. По 52 цефалометрическим ориентирам проводились оценка и сравнение результатов УЗИ и КТ у 12 пациентов, которым планировалось оперативное лечение челюстно-лицевой области. Результаты УЗИ и КТ показали значимые различия, что авторы связали с разницей в положении головы пациента в положении лежа (КТ) и сидя (УЗИ) [17].

G. Mashkevich и соавт. (2009) использовали УЗИ подподбородочной области при исследовании 10 пациентов, которое помогло выявить, какой именно из компонентов указанной области преимущественно вызывал деформацию, особенно у пациентов с так называемыми тяжелыми шеями [18].

В литературе представлены единичные работы по использованию УЗИ для оценки мягких тканей лица и шеи, но нет анализа использования этого метода для предоперационной оценки степени участия различных тканей в возрастных инволютивных изменениях лица и шеи в вертикальном положении головы и шеи пациента, контроля эффективности и качества лечебных манипуляций.

Заключение

Таким образом, ультразвуковая диагностика в вертикальном положении верхней части туловища, шеи и головы является ценным диагностическим предоперационным методом, предоставляя возможность определить степень участия каждой ткани в формировании возрастной деформации мягких тканей лица и шеи, что является крайне важным для планирования и выполнения различных методик омоложения.

Участие авторов

Алимова С.М. – концепция и дизайн исследования; подготовка, создание опубликованной работы.

Шаробаро В.И. – участие в научном дизайне; утверждение окончательного варианта статьи.

Тельнова А.В. – проведение исследования.

Степанян Э.Э. – статистическая обработка данных.

Authors' participation

Alimova S.M. – concept and design of the study; preparation and creation of the published work.

Sharobaro V.I. – participation in scientific design; approval of the final version of the article.

Telnova A.V. – conducting research.

Stepanyan E.E. – statistical analysis.



Список литературы [References]

- Shadfar S., Perkins S.W. Anatomy and Physiology of the Aging Neck. *Facial Plast. Surg. Clin. N. Am.* 2014; 22: 161–170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsc.2014.01.009>
- Luu N.N., Friedman O. Facelift Surgery: History, Anatomy, and Recent Innovations. *Facial Plast. Surg.* Published online: 2020-09-16. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715616>
- Jacono A.A. A novel volumizing extended deep-plane facelift using composite flap shifts to volumize the midface and jawline. *Facial Plast. Surg. Clin. N. Am.* 2020; 28: 331–368. <https://doi.org/10.1016/j.fsc.2020.03.001>
- Fedok F.G. Another look at platysmaplasty in facelifting. *Facial Plast. Surg.* 2020; 36 (4): 395–403. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1714062>
- Quatela V., Montague A., Manning J.P., Antunes M. Extended Superficial Musculoaponeurotic System Flap Rhytidectomy. *Facial Plast. Surg. Clin. N. Am.* 2020; 28: 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.fsc.2020.03.007>
- Auersvald L.A., Auersvald A. Sternohyoid muscles plication and sternocleidomastoid muscles rejuvenation in neck lift: a retrospective study of 1,019 consecutive patients. *Plast. Aesthet. Res.* 2021; 8: 4. <http://dx.doi.org/10.20517/2347-9264.2020.187>
- Sykes J.M., Riedler K.L., Cotofana S., Palhaz P. Superficial and Deep Facial Anatomy and Its Implications for Rhytidectomy. *Facial Plast. Surg. Clin. N. Am.* 2020; <https://doi.org/10.1016/j.fsc.2020.03.005>
- Ramirez O.M. Multidimensional evaluation and surgical approaches to neck rejuvenation. *Clin. Plast. Surg.* 2014; 41 (1): 99–107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cps.2013.09.011>
- Smith R.M., Papel R.M. Difficult Necks and Unresolved Problems in Neck Rejuvenation. *Clin. Plast. Surg.* 2018; 45: 611–622. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2018.06.009>
- Weinstein A.L., Nahai F. A layered approach to neck lift. *Plast. Aesthet. Res.* 2021; 8: 11. <http://dx.doi.org/10.20517/2347-9264.2020.192>
- Okuda I., Yamakawa Y., Mitani N. et al. Objective evaluation of the relationship between facial expression analysis by the facial action coding system (FACS) and CT/MRI analyses of the facial expression muscles. *Skin Res. Technol.* 2020; 26 (5): 727–733. <https://doi.org/10.1111/srt.12864>
- Okuda I., Akita K., Komemushi T. et al. Basic Consideration for Facial Aging: Analyses of the Superficial Musculoaponeurotic System (SMAS) Based on Anatomy. *Aesthetic Surg. J.* 2021; 41 (3): NP113–NP123. <https://doi.org/10.1093/asj/sjaa305>
- Alfen N.V., Gilhuis H.J., Keijzers J.P. et al. Quantitative facial muscle ultrasound: feasibility and reproducibility. *Muscle Nerve.* 2013; 48: 375–380. <https://doi.org/10.1002/mus.23769>
- Volk G.F., Pohlman M., Sauer M. et al. Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy. *Muscle Nerve.* 2014; 50: 358–365. <http://doi.org/10.1002/mus.24154>
- Safran T., Gorsky K., Viesel-Mathieu A. et al. The role of ultrasound technology in plastic surgery. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 2018; 71: 416–424. <http://doi.org/10.1016/j.bjps.2017.08.031>
- Wortsman X., Ferreira-Wortsman C., Quezada N. Facial Ultrasound Anatomy for Noninvasive Cosmetic and Plastic Surgery Procedures. *Atlas of Dermatologic Ultrasound.* 2018. http://doi.org/10.1007/978-3-319-89614-4_6
- De Greef S., Claes P., Mollemans W. et al. Semi-automated ultrasound facial soft tissue depth registration: method and validation. *J. Forensic Sci.* 2005; 50: 1–7. <http://doi.org/10.1520/JFS2004547>
- Mashkevich G., Wang J., Rawnsley J., Keller G.S. The Utility of Ultrasound in the Evaluation of Submental Fullness in Aging Necks. *Arch. Facial Plast. Surg.* 2009; 11 (4): 240–245.

Для корреспонденции*: Алимова Секина Мурадовна – 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1. РНИМУ имени Н.И. Пирогова, кафедра пластической и реконструктивной хирургии, косметологии и клеточных технологий. Тел.: +7-925-877-10-08. E-mail: alimova-sekina@yandex.ru

Алимова Секина Мурадовна – канд. мед. наук, кафедра пластической и реконструктивной хирургии, косметологии и клеточных технологий РНИМУ имени Н.И. Пирогова, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8602-7826>

Шаробаро Валентин Ильич – доктор мед. наук, профессор кафедры пластической и реконструктивной хирургии, косметологии и клеточных технологий РНИМУ имени Н.И. Пирогова, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1510-9047>

Тельнова Анна Владимировна – врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный научно-клинический центр” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4281-9706>

Степанян Эльза Эдуардовна – клинический ординатор кафедры челюстно-лицевой и пластической хирургии ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4716-278X>

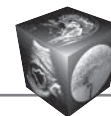
Contact*: Sekina M. Alimova – 1, Ostriviyanova str., Moscow 117997, Russian Federation. Pirogov Russian National Research Medical University. E-mail: alimova-sekina@yandex.ru. Phone: +7-925-877-10-08

Sekina M. Alimova – Cand. of Sci. (Med.), plastic surgeon, department of plastic & reconstructive surgery, cosmetology and cellular technologies of Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8602-7826>

Valentin I. Sharobaro – Doct. of Sci. (Med.), Professor of department of plastic & reconstructive surgery, cosmetology and cellular technologies, Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1510-9047>

Anna V. Telnova – Ultrasound Specialist of Department of Ultrasound Diagnostics, Federal Research Clinical Center of the Federal Medical Biological agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4281-9706>

Elza E. Stepanyan – Clinical resident, Department of Plastic and maxillofacial Surgery, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4716-278X>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-902>

МРТ и КТ-венография в диагностике гемодинамических нарушений у пациентов с хроническими заболеваниями вен нижних конечностей

Часть III. Возможности КТ-исследований в диагностике нарушений венозной гемодинамики

© Шайдаков Е.В.¹, Санников А.Б.^{2, 3*}, Емельяненко В.М.³,
Рачков М.А.², Крюкова Л.Н.², Баранова А.Е.²

¹ ФГБУН "Институт мозга человека имени Н.П. Бехтеревой" РАН; 197376 Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 9, Российская Федерация

² Клиника инновационной диагностики "Медика"; 600031 Владимир, ул. Вокзальная, д. 24, Российская Федерация

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

В результате решения большого количества технических задач (увеличение зоны анатомического покрытия, скорости сканирования и отношения сигнал/шум, улучшение пространственного и контрастного разрешения, построение цветового качественного изображения в 3D-режиме, значительное снижение дозы облучения) метод компьютерно-томографической визуализации сосудистой системы завоевал на сегодня в мире лидирующую позицию. Однако если в диагностике артериальной патологии КТ-ангиография используется повсеместно и ежедневно, то у пациентов с хроническими заболеваниями вен данный метод до сих пор не получил клинического признания.

В данном обзоре литературы проводится анализ опубликованных в мире научных данных о результатах использования КТ-венографии. Описаны методики проведения не прямой и прямой контрастной КТ-венографии. Показаны возможности использования контрастной КТ-венографии в диагностике тромбоза глубоких вен, где точность, чувствительность и специфичность метода, по данным зарубежных авторов, составляют до 97,9, 96,8 и 100% соответственно. Особое значение данный метод приобретает в диагностике тромбоза вен таза и нижней полой вены, где информативность УЗДС оказывается ниже. Вторым клиническим направлением, имеющим активное развитие сегодня, является комбинированное использование КТ-венографии и КТ-ангиопульмонографии в диагностике смертельно опасного осложнения тромбоза легочной артерии. Перспективность этих попыток продиктована следующими преимуществами: однократностью исследования и отсутствием необходимости использования дополнительного введения контрастного препарата, скоростью выполнения сканирования, получением дополнительной информации о состоянии периферической венозной системы при наличии у пациентов венозной тромбоземболии.

Еще одним и незаменимым инструментом контрастно-усиленной КТ-венографии может стать в изучении особенностей топографоанатомического строения венозного русла. На примере собственных исследований авторы демонстрируют возможности прямой КТ-венографии в визуализации венозной системы нижних конечностей.

Необходимость более точной топической диагностики с 3D-визуализацией венозной системы нижних конечностей и таза посредством КТ-венографии обусловлена нарастающим интересом в последние годы сосудистых и интервенционных хирургов к апробации и более активному внедрению во флебологическую практику эндовасальных методов коррекции венозного кровотока.

Ключевые слова: компьютерная томография, компьютерно-томографическая флебография, магнитно-резонансная томография, магнитно-резонансная флебография, хронические заболевания вен, диагностика тромбоза вен нижних конечностей, варикозное расширение вен, анатомическое строение вен нижних конечностей

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.



Для цитирования: Шайдаков Е.В., Санников А.Б., Емельяненко В.М., Рачков М.А., Крюкова Л.Н., Баранова А.Е. МРТ и КТ-венография в диагностике гемодинамических нарушений у пациентов с хроническими заболеваниями вен нижних конечностей. Часть III. Возможности КТ-исследований в диагностике нарушений венозной гемодинамики. *Медицинская визуализация*. 2021; 25(4): 53–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-902>

Поступила в редакцию: 09.05.2020. **Принята к печати:** 22.03.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.

MRI and CT-venography in the diagnosis of hemodynamic disturbances in patients with chronic lower extremities venous disorders. Part III. Possibilities of CT-investigation in diagnosing of venous hemodynamics violations

© Evgenij V. Shajdakov¹, Aleksandr B. Sannikov^{2, 3*}, Vladimir M. Emelyanenko³, Mihail A. Rachkov², Lyudmila N. Kryukova², Anna E. Baranova²

¹ Bekhterev Institute of human brain of the Russian Academy of Sciences (RAS); 9, Acad. Pavlov str., St. Petersburg 197376, Russian Federation

² Innovative Diagnostic Clinic "MEDICA"; 24, Vokzal'naya str., Vladimir 1600031, Russian Federation

³ Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia; 1, Ostriviyanova str., Moscow 117997, Russian Federation

As a result of solving a large number of technical problems (increasing the area of anatomical coverage and scanning speed, increasing the signal-to-noise ratio, improving spatial and contrast resolution, building a color image quality in 3D mode, significantly reducing the radiation dose), the method of computed tomography imaging of the vascular system has won a leading position in the world today. However, if CT Angiography is used everywhere and daily in the diagnosis of arterial pathology, this method has not yet received clinical recognition in patients with chronic venous diseases.

This review of the literature analyzes the scientific data published in the world on the results of CT Venography. Methods of indirect and direct contrast CT Venography are described. The possibility of using contrast CT Venography in the diagnosis of deep vein thrombosis is shown, where the accuracy, sensitivity and specificity of the method according to foreign authors is up to 97.9%, 96.8% and 100%, respectively. This method acquires particular importance in the diagnosis of pelvic vein thrombosis and inferior Vena cava, where the informative value of USDS is lower. The second clinical direction that is actively developing today is the combined use of CT Venography and CT Angiopulmonography in the diagnosis of a deadly complication of pulmonary embolism. The prospects of these attempts are preferable by the following advantages: the single-time study and the absence of the need for additional administration of contrast agents, the speed of scanning, and obtaining additional information about the state of the peripheral venous system in patients with venous thromboembolism.

Another and irreplaceable tool of contrast-enhanced CT Venography can become in the study of the features of the topographic and anatomical structure of the venous bed. Using their own research, the authors demonstrate the possibilities of direct CT Venography in the visualization of the venous system of the lower extremities.

The need for more accurate topical diagnostics with 3D visualization of the venous system of the lower extremities and pelvis by CT-Venography is due to the growing interest in recent years of vascular and interventional surgeons to test and more actively implement endovascular methods of correction of venous blood flow in phlebological practice.

Keywords: computed tomography, computed tomography venography, magnetic resonance imaging, magnetic resonance venography, chronic venous disorders, lower extremities deep vein thrombosis, varicose veins, anatomical structure of lower extremity veins

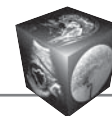
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Shaydakov E.V., Sannikov A.B., Emelyanenko V.M., Kryukova L.N., Baranova A.E., Rachkov M.A. MRI and CT-venography in the diagnosis of hemodynamic disturbances in patients with chronic lower extremities venous disorders. PART III. Possibilities of CT-investigation in diagnosing of venous hemodynamics violations. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 53–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-902>

Received: 09.05.2020.

Accepted for publication: 22.03.2021.

Published online: 29.12.2021.



Введение

Несмотря на то что сам метод компьютерной томографии (КТ) (Computed Tomography – CT) появился гораздо раньше магнитно-резонансных исследований, его активное использование в клинической практике еще долго сдерживалось многими нерешенными техническими задачами. Первые компьютерные томографы, появившиеся в 1973 г., имели рентгеновскую трубку, пучок лучей которой был направлен только на один принимающий детектор. При этом один оборот трубки вокруг объекта позволял получить изображение только одного слоя. В результате такое пошаговое сканирование проводилось с достаточно низкой скоростью, что, наряду с прочими факторами, ограничивало свое применение в клинической практике. Во втором поколении томографов за основу брался веерный тип конструкции, при котором напротив трубки устанавливалось уже несколько детекторов, при этом время обработки изображений в разы сокращалось, давая возможность исследовать более протяженную область за один оборот трубки. С появлением аппаратов третьего, а затем и четвертого поколений, работающих по принципу спирального сканирования, обусловленного одномоментным движением стола и рентгеновской трубки относительно друг друга, стало возможным еще больше сократить время сканирования, снизив при этом лучевую нагрузку на пациента.

Первые попытки проведения непосредственно ангиографических исследований центрального и периферического сосудистого русла с использованием CT были предприняты в конце 90-х годов. Возможности КТ-ангиографии (CT-Angiography – CTA) были продемонстрированы на примерах визуализации внутримозгового кровообращения, артерий брюшной полости и легочной артерии [1–4]. Из-за технических ограничений, связанных с невозможностью при сканировании охватить большие по протяженности участки тела, визуализация проходила на каком-то одном выбранном уровне: грудной или брюшной полости, подвздошно-бедренного или подколенного сегмента нижней конечности [5–7].

Кроме того, отсутствие возможности обработки изображения в 3D-режиме не позволяло добиться во всех случаях качественной визуализации сосудистых магистралей или более мелких артериальных коллатералей. Появление 8-детекторных сканеров дало возможность производить сканирование по всем трем осям (X, Y и Z), что было необходимым условием для построения изображения в 3D-формате. При этом значительно сократилось и время проведения обследования [8–10].

Кроме того, данные технические решения позволили производить одномоментное сканирование сегментов тела протяженностью до 1,5 м, что давало возможность получить визуализацию артериального кровотока всей нижней конечности и таза за один захват сканирования с построением изображения в 3D-режиме [11–13].

Проведение быстрого сканирования при использовании 8-детекторных сканеров в условиях использования тонких срезов позволило получить изображения артерий более высокого качества со значительным уменьшением количества артефактов без необходимости использования дополнительного количества контрастного вещества [14, 15].

Одними из первых о явных преимуществах многодетекторной компьютерной томографии (Multi-Detector CT – MDCT) в визуализации брюшного отдела аорты и артериальной системы нижних конечностей сообщили M.L.Martin и соавт. в 2003 г. [16].

В данных исследованиях авторы продемонстрировали высокую информативность MDCT-Angiography в сравнении с цифровой субтракционной ангиографией (Digital Subtraction Angiography – DSA). Так, чувствительность и специфичность метода в диагностике артериальных окклюзий и выраженных стенозов составили 88,6 и 97,7% и 92,2 и 96,8% соответственно. Кроме того, по мнению авторов, MDCT-Angiography позволила в сравнении с DSA значительно улучшить визуализацию дистального артериального русла на уровне голени, где DSA демонстрировала гораздо худшие результаты из-за больших различий в скорости наполнения артерий [17].

Это делало метод визуализации MDCT-Angiography особо ценным в диагностике окклюзионных поражений артерий ниже коленного сустава для принятия решения о характере и объеме операционных вмешательств [16].

При этом расчетным путем было установлено, что доза облучения при MDCT-Angiography в 3,9 раза была ниже, чем при DSA [15].

Первые 16-детекторные сканеры появились в 2004–2005 гг. В них, помимо еще большего количества детекторов, был использован спиральный принцип сканирования, который изначально имел название винтового [8]. Построение более качественного и цветного 3D-изображения стало возможным с внедрением функционально новых вариантов обработки изображения: многоплоскостного преобразования (Multi-Planer Reformation – MPR) и объемного представления (Volume-Rendering – VR) [18].

Благодаря внедрению многодетекторного спирального сканирования (MDCT) процесс визуали-



зации стал намного быстрее, а полученное изображение имело более высокое разрешение. Использование спирального принципа сканирования решалась одна из основных задач – уменьшение толщины пучка рентгеновского излучения (коллимации). Все дело в том, что в однодетекторных системах размер коллимации равнялся толщине томографического среза и составлял 5–8 или 10 мм. Четырехдетекторные системы позволили уменьшить размер коллимации. В результате этого 4 детектора при коллимации 1 мм позволяли получить 4 изображения с толщиной среза 1 мм, 2 изображения по 2 мм или 1 изображение с толщиной среза (размером коллимации) 4 мм с продольной интерполяцией изображения при одном обороте детекторов на 360° или 180°. В данном случае продольная интерполяция изображения представляла собой не что иное как способ увеличения количества пикселей в растровом изображении [19]. Понятно, что при спиральном способе обработки сигнала в условиях 16 детекторов количество пикселей на определенной площади увеличивалось. В данном случае все зависело от шага спирали. Второй величиной, влияющей на быстроту получения изображений, являлась скорость смещения стола, увеличивая которую, например в два раза за одинаковое количество оборотов рентгеновской трубки, протяженность зоны сканирования вырастала вдвое при равном времени сканирования [20]. Другим следствием увеличения скорости движения стола являлась возможность уменьшения величины коллимации при сохранении общего времени сканирования и протяженности зоны исследования [18].

Таким образом, конечный результат сканирования определялся не только толщиной пучка рентгеновского излучения (размером коллимации), но и формой спирали, ее “растяжением” вдоль продольной оси. Более точной и полной характеристикой спирального сканирования является понятие “шаг спирали” – питч (pitch), который представляет собой отношение смещения стола за один оборот рентгеновской трубки (table feed per rotation) к толщине пучка рентгеновского излучения (slice collimation). $\text{Pitch (p)} = \text{d/s} = \text{table feed per rotation (mm)/slice collimation (mm)}$, где: p (pitch) – шаг спирали, d (distance) – смещение стола за один оборот трубки, а slice collimation – коллимация слоя. Например, если коллимация слоя составляет 8 мм, а смещение стола за один оборот – 12 мм, то показатель шага спирали будет равен $12/8 = 1,5$. В спиральной СТ шаг спирали может изменяться от 0,1 до 2. Чем больше величина шага спирали, тем быстрее осуществляется сканирование при равной толщине томографиче-

ского слоя и протяженности зоны сканирования [21]. Другими словами, в многодетекторных спиральных компьютерах толщина томографического слоя превышала величину коллимации рентгеновского излучения, из-за чего при получении более качественного изображения снижалась доза облучения [20]. При использовании многодетекторной спиральной СТ толщина слоя уменьшилась до 1 мм, что позволило увеличить скорость сканирования и пространственное разрешение вдоль продольной оси сканирования в 8–10 раз по сравнению с обычными “толстыми” томографическими слоями [21].

После такого краткого, но столь необходимого погружения в суть физических явлений, лежащих в основе спиральной СТ, становится понятным, какие возможности в получении объемной визуализации сосудистой системы могли ожидать специалисты с появлением 32-, 64- и 128-срезовых томографов, которые были представлены миру фирмами-разработчиками уже в 2004–2005 гг. [21].

Очередным шагом повышения качества получаемого изображения мелких артериальных ветвей стало использование синхронизации сканирования с работой сердца. В первую очередь это касалось возможности получения высококачественного изображения кардиоторакальной системы, где наличие постоянно присутствующих артефактов движения на получение конечного изображения имело особо важное значение. Для проведения сканирования в наиболее подходящий момент работы сердца (диастолы) его ритм был синхронизирован с компьютерным томографом с помощью ЭКГ (ECG). С этой целью были разработаны специальные математические модели ECG-triggered sequential scanning и ECG-gated [22–24].

Сканирование с использованием ECG-trigger осуществлялось последовательно с заранее заданной задержкой, которая отсчитывалась от предыдущего сердечного сокращения. После получения первого изображения стол в соответствии с сердечным ритмом в основную фазу исследования перемещался с заданной скоростью для осуществления всего цикла сканирования. Последующая реконструкция изображений осуществлялась путем ретроспективного выбора данных в определенную фазу сокращения сердца из имеющегося полного набора данных на основе записанной ЭКГ. Возможность реконструкции изображений в различных фазах сердечного сокращения (обычно используется диастола), устойчивость к неправильному ритму, возможность редакции данных ЭКГ и способность к реконструкции изображений с перекрытием по толщине делают на сегодня спиральную СТ с ЭКГ-синхронизацией

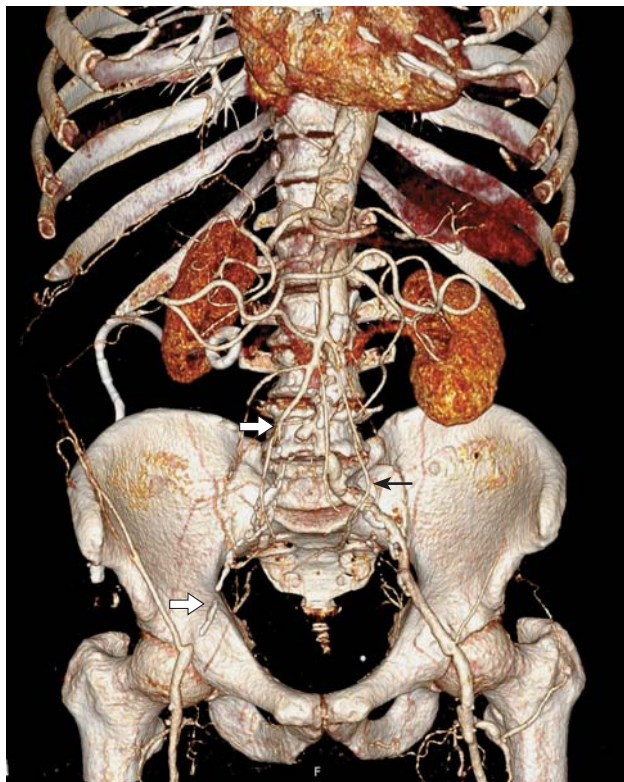
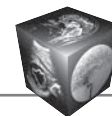


Рис. 1. Контрастно-усиленная CT-Angiography (CE CTA) нижних конечностей с 3D-реконструкцией. Протяженное двустороннее атеросклеротическое поражение общих подвздошных артерий. Окклюзия наружной подвздошной артерии справа (стрелка). Окклюзионный стеноз наружной подвздошной артерии и множественные аневризмы слева (тонкая черная стрелка).

Fig. 1. Contrast-enhanced CT-Angiography of the lower extremities with 3D reconstruction. CE CT-Angiography shows extensive bilateral atherosclerotic lesions of the common iliac arteries: occlusion of the external iliac artery on the right (arrow), occlusal stenosis of the external iliac artery and multiple aneurysms on the left (thin black arrow).

предпочтительным методом неинвазивной коронарографии [21, 25, 26]. В дальнейшем этот же принцип был использован и при проведении магнитно-резонансных исследований коронарных артерий [27, 28].

В 2007–2010 гг. компанией Toshiba были сконструированы 256-срезовые, а позже и экспериментальные образцы 320-срезовых CT-томографов, которые стали новым этапом развития метода. Такое оборудование сегодня позволяет получать не только высокоинформативные изображения, но и буквально в реальном времени наблюдать за процессами, происходящими в сердце и сосудах [29].

Таким образом, в результате решения большого количества технических задач (увеличение

зоны анатомического покрытия, скорости сканирования и отношения сигнал/шум, улучшение пространственного разрешения, построение качественного монохромного и цветового изображения в режиме 3D, значительное снижение дозы облучения) метод компьютерно-томографической визуализации артериальной сосудистой системы (рис. 1) завоевал на сегодня в мире лидирующую позицию [21, 30, 31].

Здесь следует отметить, что часто употребляемый на сегодня в отечественной литературе термин “мультиспиральная компьютерная томография” (МСКТ) с точки зрения физических основ, заложенных в этот принцип сканирования, не совсем верен, в связи с чем сегодня зарубежные коллеги его практически не используют. Гораздо правильнее будет звучать “мультidetекторная спиральная компьютерная томография”, а еще точнее “спиральная компьютерная томография множественных срезов” (Multi-Slice Spiral Computed Tomography). Учитывая, что во всех используемых на сегодня для сканирования системах заложен спиральный принцип вращения нескольких детекторов, общепринятым в мире стало употребление термина CT (Computed Tomography), а в отношении того отдела сосудистой системы, которая подлежит визуализации, – Computed Tomography Angiography (CT-Angiography, или CTA) и Computed Tomography Venography (CT-Venography, или CTV).

Возможности КТ-венографии в диагностике тромбоза глубоких вен и венозного тромбоэмболизма

Бесспорно, ангиологи и сосудистые хирурги почти сразу обратили внимание на то, что метод CT-Angiography наряду с артериальной системой позволяет визуализировать и венозное русло нижних конечности (рис. 2, 3).

Учитывая, что тромбоз глубоких вен (Lower Extremities Deep Vein Thrombosis – LEDVT, или DVT) и тромбоэмболия легочной артерии (Pulmonary Embolism – PE) являются по существу проявлением одного заболевания, а именно венозной тромбоэмболии (Venous Thrombo-Embolism – VTE), логичным представлялась попытка объединения диагностики этих двух состояний в один метод. Поэтому стремление сосудистых хирургов совместно с врачами-рентгенологами диагностировать тромбоэмболию и одновременно получить достоверную и подробную информацию о локализации ее источника имело все основания. Перспективность этих попыток была продиктована следующими преимуществами: однократно-стью исследования и отсутствием необходимости



Рис. 2. Контрастно-усиленная прямая CT-Venography (CE DCTV) голени и бедра с 3D-реконструкцией. Отчетливая визуализация тибиальных вен (стрелки) и подколенной вены (тонкая стрелка) с нормально выраженной поверхностной венозной сетью.

Fig. 2. Contrast-enhanced direct CT-Venography of the lower extremities with 3D reconstruction. CE DCT-Venography shows a quality visualization of the tibial veins (arrows) and popliteal vein (thin arrow) with a normally expressed superficial venous network.

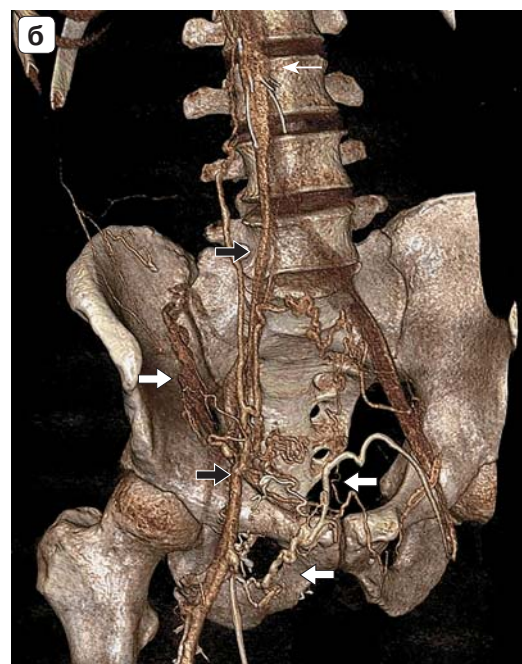
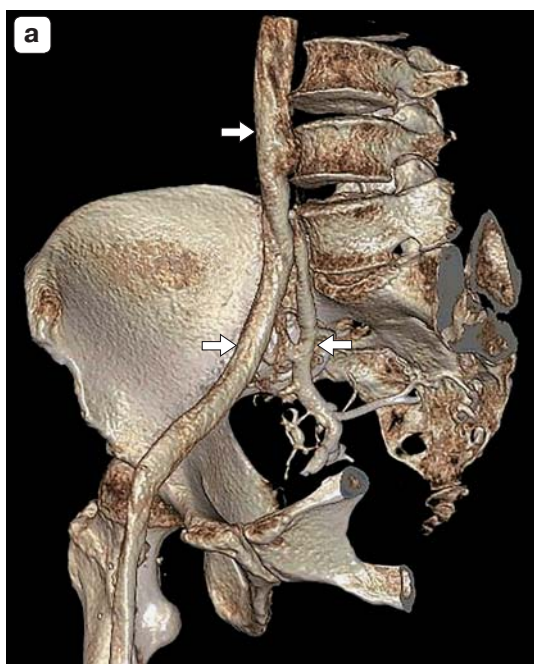
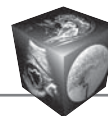


Рис. 3. Контрастно-усиленная прямая CT-Venography (CE DCTV) таза. Визуализация нижней полой вены и подвздошных вен (белые стрелки) (а). Наличие частичной посттромботической реканализации наружной подвздошной вены (черные стрелки) с выраженной коллатеральной сетью (белые стрелки) и наличием кава-филтра (тонкая белая стрелка) (б).

Fig. 3. Contrast-enhanced direct CT-Venography of the pelvic. CE DCT-Venography shows complete patency of the inferior vena cava and iliac veins (white arrows) (a), the presence of partial post-thrombotic recanalization of the external iliac vein (black arrows) with a pronounced collateral network (white arrows) and the presence of a cava-filtrum (thin white arrow) (b).



использования дополнительного введения контрастного препарата [32], скоростью выполнения сканирования, например в сравнении с магнитно-резонансной томографией (Magnetic Resonance Imaging – MRI) [33], получением дополнительной информации о состоянии периферической венозной системы при наличии у пациентов PE [34, 35], тем более что чувствительность и специфичность CT-Angiography при визуализации венозной системы нижних конечностей уже по результатам первых исследований оказалась сопоставимой с данными ультразвукового дуплексного сканирования (duplex Ultra-Sound – US) [34]. В некоторых исследованиях были показаны неоспоримые преимущества CT-Angiography перед US в распознавании тромбоза вен брюшной полости и таза [36].

Изначально при выполнении CT-Angiography с целью визуализации венозной системы специалисты пробовали вводить контрастное вещество через кубитальную вену. Так как основной целью было достижение визуализации вен, данный метод получил название непрямой компьютерно-томографической венографии (Indirect CT-Venography, или ICTV). Технически в основе проведения непрямой (верхней) ICTV лежала отсрочка сканирования нижних конечностей от 2,5 до 4 мин после болюсного введения в кубитальную вену 80–100 мл контрастного препарата со скоростью от 2,5 до 4,5 мл/с [37]. Несмотря на полученные некоторыми авторами в своих исследованиях флебограммы нижних конечностей и таза хорошего качества, практически все специалисты столкнулись с проблемами. Основной сложностью в исследовании венозной системы нижних конечностей при таком методе введения контраста была невозможность четкого временного дифференцирования венозной фазы кровотока в зависимости от подвергаемого исследованию сегмента тела человека [38]. Так, по данным J.F. Uhl и C. Gillot, при активном внедрении метода на практике они столкнулись с проблемой невозможности четкого дозирования количества контрастного препарата и определения времени начала сканирования, что не позволило отчетливо и воспроизводимо визуализировать венозную магистраль на протяжении всей нижней конечности и таза, а следовательно, подтвердить или исключить наличие DVT в более чем половине случаев [39]. По этой причине каждый исследователь вынужден был разрабатывать свой собственный способ или совершенствовать уже существующие методики проведения CT-Venography в зависимости от поставленных задач, чего в принципе не требовалось для артерий нижних конечностей, где методика проведения CT-Angiography довольно быстро была отработана и по се-

годняшний день остается “золотым стандартом” при планировании реконструктивных операций на магистральном и периферическом артериальном русле.

S.P. Kalva и соавт., A.M. Kelly и соавт. в результате проведенных ими исследований пришли к выводу не только о большой вероятности получения сомнительных результатов при проведении ICTV, но и полной бесполезности ее в 15,2% случаев по причине банального отсутствия контрастирования вен нижних конечностей из-за невозможности уловить венозную фазу, которая по многим причинам была индивидуальна и часто время ее наступления устанавливалось просто интуитивно [32, 33]. По этой же причине специалисты часто сталкивались с невозможностью построения 3D-модели, которая должна была стать основным преимуществом CTV в сравнении с DSV [40].

Последнее крупное многоцентровое ретроспективное исследование, включающее сравнительный анализ одновременного комбинированного использования контрастной CT-Angiopulmonography и непрямой CT-Venography, было проведено S. Slater и соавт. в 2012 г. с привлечением всех ведущих рентгенологов Великобритании [41]. В исследовании участвовало более 800 пациентов. В результате проведенного углубленного анализа специалисты полностью согласились с выводами, сделанными J.F. Uhl и C. Gillot [39] ранее и были вынуждены сделать заключение о малой перспективности дальнейшего использования непрямого метода CT-Venography с целью диагностики DVT при комбинированном его использовании у симптоматических пациентов с PE или в изолированном виде с целью подтверждения LEDVT. Особенно частыми оставались сомнения в визуализации небольшого и локально расположенного тромба [41].

Также было отмечено, что методика проведения ICTV требовала дополнительного и гораздо большего объема кубитального введения контрастного препарата (до 150 мл), чем этого требовала изолированная CT-Angiopulmonography. Необходимо было учитывать и дополнительную лучевую нагрузку на пациента. Таким образом, обоснованность применения комбинированного СТА- и ICTV-сканирования на сегодня является спорной и оно не включено на настоящий момент в обязательные протоколы обследования пациентов с подозрением на тромбоз легочной артерии (PE) большинства европейских стран [38].

В результате крайне негативного отношения к использованию с целью визуализации вен ICTV J.F. Uhl и C. Gillot в 2012 г. в очередной раз призвали мировое флебологическое сообщество отказаться



ся от попыток проведения у пациентов данного метода контрастирования вен и вернуться к проверенной десятилетиями дистальной флебографии, но теперь испытать этот метод в условиях компьютерно-томографического исследования (CT-Venography), то есть по сути к методу прямой компьютерно-томографической венографии (Direct CT-Venography, или DCTV).

Первыми попытку проведения DCTV при дистальном введении контрастного препарата путем пункции одной из вен на тыле стопы предприняли М.К. Stehling и соавт. в 1994 г. Основными этапами предложенного М.К. Stehling и соавт. метода являлись: катетеризация вены стопы, наложение двух турникетов на среднюю треть бедра и нижнюю треть голени, приподнимание конечности над уровнем стола за счет двух поддерживателей, введение контрастного вещества и последующее сканирование конечности в один этап в течение 60 с [42]. Основным недостатком данной методики проведения DCTV-исследования было частое отсутствие четкого контрастирования всех вен на протяжении всего сканируемого сегмента. Причиной тому могла быть ошибка в правильности выбора времени задержки сканирования или недостаточный объем вводимого рентгеноконтрастного раствора. В результате этого “компьютер не успевал снять все изображение целиком”, так как в одних (дистальных) сегментах конечности контраст задерживался, а в других (проксимальные отделы и таз) к моменту начала сканирования покидал сосудистое русло еще до этого момента.

Указанные недостатки могли быть связаны и с отсутствием в то время многодетекторных систем, сканирующих в спиральном режиме. К тому же используемые сегодня методики постобработки изображения вен в 3D-режиме на тот период времени еще не были разработаны. Это не позволило авторам более активно ввести в клиническую практику данный метод визуализации венозной системы нижних конечностей. Однако и с появлением многодетекторных систем, несмотря на кажущуюся простоту проведения исследования, визуализация венозной системы нижних конечностей оставляла желать лучшего [40].

Проблемы были связаны с выбором оптимального времени задержки старта сканирования от момента введения рентгеноконтрастного вещества, определением объемов дополнительного введения болюсом физиологического раствора, поиском наиболее оптимального количества сканирований и его направленности, определением характера и необходимости проведения функциональных проб.

С целью повышения качества визуализации вен нижних конечностей Р.Г. Аскерхановым, М.А. Казакмурзаевым и М.Г. Махатиловым в 2013 г. был разработан “Способ мультиспиральной компьютерной томографии-флебографии вен нижних конечностей”, в котором авторы попытались стандартизировать вышеуказанные критерии [43]. В соответствии с описанием сканирование нижней конечности выполнялось последовательно в две фазы, где первую фазу сканирования запускали на 20-й секунде от введения рентгеноконтрастного вещества с 30-секундной задержкой дыхания пациентом, а вторую фазу сканирования – на 60-й секунде при свободном дыхании пациента. При этом первое сканирование было направлено от стопы к тазовой области, а второе – от тазовой области к стопе (Патент на изобретение RU № 2548139, приоритет от 22.08.2013). В результате использования данных последовательностей удалось достигнуть значительно лучшей визуализации магистральных вен обследуемой нижней конечности в целом. Однако не удалось достичь идеальной картины изображения глубоких вен голени. Необходимость проведения функциональной пробы с задержкой дыхания (пробы Вальсальвы) превратилась в недостаток, так как больше половины пациентов выполняли ее недостаточно эффективно, что существенным образом оказывало влияние на скорость продвижения рентгеноконтрастного вещества и полноту контрастирования магистральных вен. Таким образом, выполнение одной только функциональной пробы с задержкой дыхания не позволило отчетливо осуществить задержку эвакуации контраста и тем самым наиболее полным образом добиться контрастирования всех венозных коллекторов нижней конечности.

К дальнейшему поиску решений имеющихся задач по стандартизации проведения DCTV в 2016 г. присоединился и наш творческий коллектив (Патент на изобретение RU № 2638920 от 03.08.2016). В основе предложенного нами метода было поэтапное двухколбовое болюсное введение рентгеноконтрастной смеси в одну из вен на тыле стопы со скоростью 4 мл/с, состоящей из 50 мл неионного контрастного вещества и изотонического раствора хлорида натрия из расчета 1 мл 0,9% физиологического раствора на 1 см роста исследуемого. После предварительного сканирования задавалась область сканирования (вся нижняя конечность и область таза) с направленностью от таза к стопе. В программу сканирования вводились изменения и временные параметры в соответствии с разработанной нами схемой проведения DCTV нижних конечностей и таза. Над

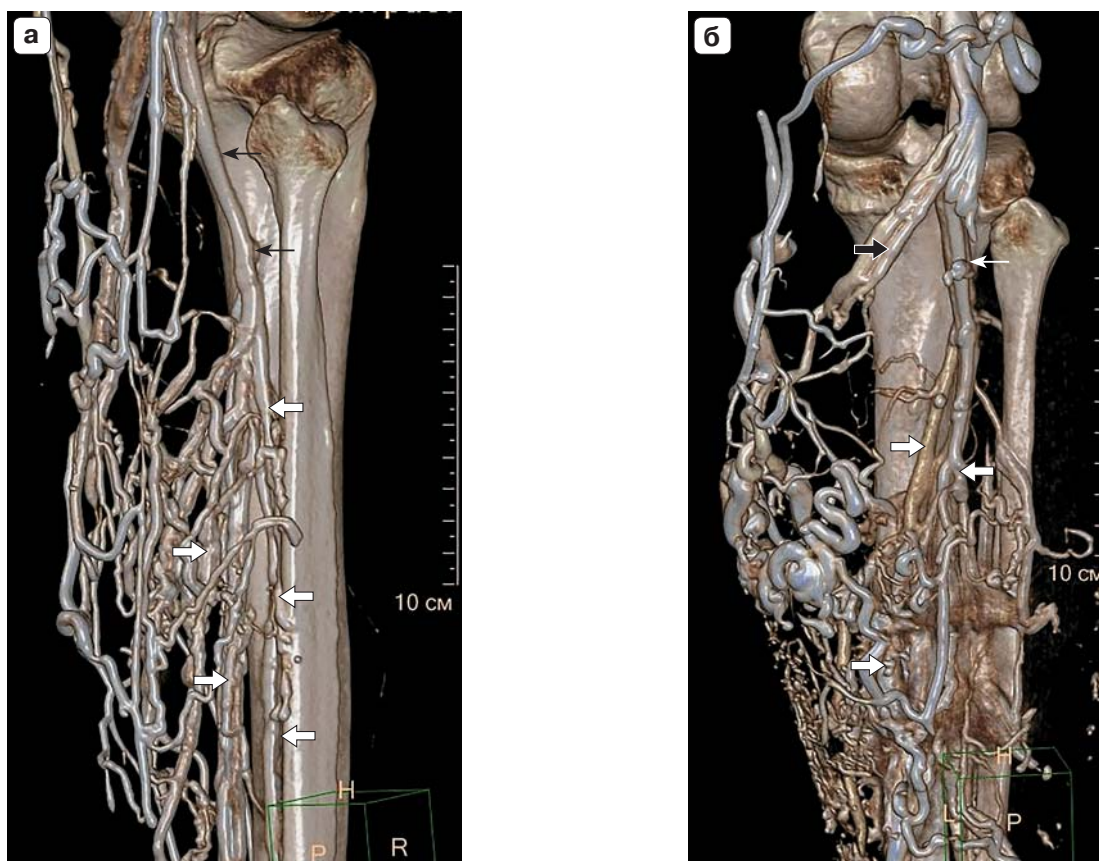
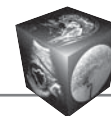


Рис. 4. Контрастно-усиленная прямая CT-Venography (CE D CTV) голени с 3D-реконструкцией. Формирование подколенной вены (тонкие черные стрелки) с отчетливой визуализацией тибальных вен (белые стрелки) (а) и (б). Отчетливая визуализация в боковой проекции магистральных вен икроножного венозного коллектора (черная стрелка) (б).

Fig. 4. Contrast-enhanced direct CT-Venography of the calf with 3D reconstruction. CE DCT-Venography shows the formation of the popliteal vein (thin black arrows) with a clear visualization of the tibial veins (white arrows) (a) and (b), high-quality visualization of the calf intramuscular venous collector in the lateral projection (black arrow) (b).

лодыжками накладывалась пневматическая манжета, давление в которой поднималось до 60 мм рт.ст., после чего начиналось введение рентгеноконтрастной смеси, которое в зависимости от расчетного объема длилось около 40 с. После окончания введения всего объема контраста и изотонического раствора хлорида натрия давление во второй манжете, наложенной на середине бедра, поднимали до 60 мм рт.ст., и пациент делал глубокий вдох, задерживал дыхание и натуживал мышцы передней брюшной стенки. С этого момента начинали 1-е основное сканирование, общая продолжительность которого составляла 12–15 с. После окончания 1-го основного сканирования пациент делал выдох и выполнял несколько тыльных сгибательных движений стопой. После завершения теста пациент принимал исходное положение. В среднем по истечении 40-секундного временного интервала, которое было потрачено на проведение функционального теста, начинали

2-е основное сканирование, которое, как и 1-е, выполняли в направлении от таза к стопам. После завершения 2-го основного сканирования исследование заканчивали и производили реконструкцию трехмерного изображения вен конечности и таза с помощью автоматических протоколов обработки данных Intelli Space Portal, заложенных в компьютере. Использование данного метода проведения CT-Venography позволило добиться отчетливой визуализации не только проксимальных отделов (см. рис. 3а), но и вен голени, что для диагностики DVT имело принципиальное значение (рис. 4, 5).

Одно из последних исследований по улучшению CT-визуализации тромботического поражения венозного русла нижних конечностей за рубежом было проведено китайскими специалистами в 2016 г. [44]. W.-Y. Shi и соавт. с целью диагностики DVT была предложена методика DCTV, суть которой состояла в одновременном комбинирова-

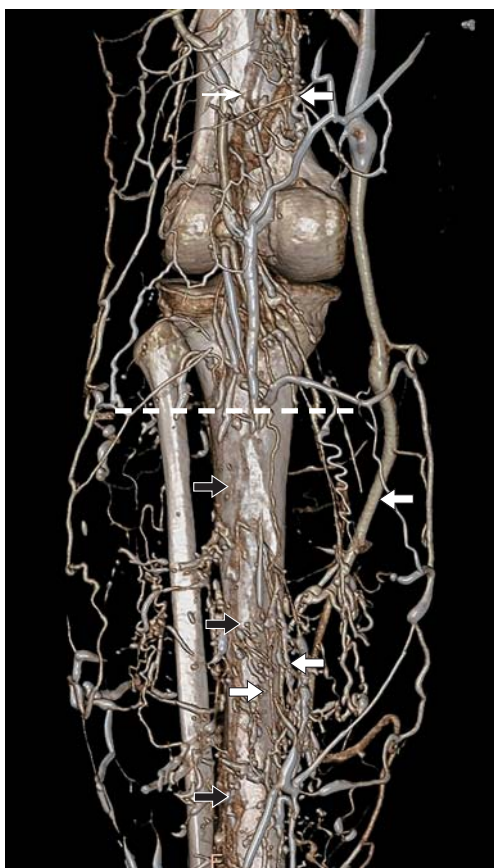


Рис. 5. Контрастно-усиленная прямая CT-Venography (CE DCTV) голени и бедра. Отсутствие визуализации вен голени на всем протяжении (черные стрелки) до уровня подколенной вены (пунктирная линия) и обильно выраженной коллатеральной сетью (белые стрелки), включая магистральный ствол базальной подкожной вены. Незначительная реканализация поверхностной бедренной вены (тонкая белая стрелка).

Fig. 5. Contrast-enhanced direct CT-Venography of the calf and thigh with 3D reconstruction. CT-Venography shows a lack of visualization of the lower leg veins throughout (black arrows) to the level of the popliteal vein (dotted line) and a profusely expressed collateral network (white arrows) including the main trunk of the GSV and minor recanalization of the superficial femoral vein (thin white arrow).

нии не прямой и прямой CT-Venography. Исследование состояло из трех последовательных этапов. Изначально в кубитальную вену вводилось 80 мл контрастного вещества со скоростью 4 мл/с. Затем через 1,5 мин в катетеризированную вену стопы вводилось 60 мл рентгеноконтрастной смеси со скоростью 1,5 мл/с, состоящей из 12 мл контраста и 48 мл физиологического раствора, с наложенным выше лодыжки жгутом. Сканирование начиналось через 60 с после завершения дистального введения рентгеноконтрастной смеси. Исследования были проведены на 96 пациен-

тах, а результаты подвергнуты контролю методом DSV и US. Анализ полученных результатов показал, что точность методики в установлении локализации и протяженности DVT составила от 96,9 до 97,9%, чувствительность – от 95,2 до 96,8%, специфичность – 100%, положительная прогностическая ценность – 100%, а отрицательная прогностическая ценность имела диапазон от 91,7 до 94,3%. Исходя из этих данных, авторы сделали вывод о перспективной диагностической точности предложенной ими методики и явных преимуществах комбинированной CT-Venography перед прямой и не прямой, выполняемой в отдельности [44]. И хотя авторы были полностью удовлетворены полученными результатами, в дальнейшей перспективе нам не удалось найти ссылки на использование данной методики другими специалистами.

Учитывая, что среди пациентов с DVT до 40% имеют ассоциированный и бессимптомный РЕ, а в случаях подтвержденного диагноза РЕ почти в 90% наблюдений источником его являются вены нижних конечностей, своевременная и точная диагностика венозного тромбоэмболизма (VTE) всегда имела первоочередное значение [45, 46]. С внедрением в клиническую практику диагностики РЕ CT-Angiography она практически сразу заняла лидирующую роль, так как показала свою более высокую чувствительность и специфичность (94–96% и 94–100% соответственно) перед традиционно используемыми ранее для диагностики РЕ вентильно-перфузионным радионуклидным сканированием (V/Q) и рентгенографией грудной клетки, в то же самое время не уступая при этом по своей информативности классической ангиопульмонографии, которая на протяжении многих лет в диагностике РЕ считалась “золотым стандартом” [47, 48].

На сегодня все технические детали проведения CT-ангиопульмонографии полностью стандартизированы. Проводится данное исследование по единому во всем мире протоколу. Сканирование производится в каудокраниальном направлении от верхней апертуры грудной клетки до купола диафрагмы. Интенсивность дыхательных артефактов значительно ниже в верхних отделах легких по сравнению с нижними, поэтому артефакты в конце исследования имеют в этом случае меньшее значение. Коллимация и скорость движения стола альтернативно могут увеличиваться. Наиболее часто используются следующие параметры исследования: 120 кВ, 210–250 мАс, толщина среза 1 мм, скорость движения стола 5 мм/с⁻¹ (pitch 1,7) и индекс реконструкции 2 мм. Отсрочка времени сканирования зависит от клинического

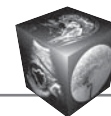


Рис. 6. Контрастно-усиленная СТ-Ангиопулмонography. Массивная тромбоземболия легочных артерий.

Fig. 6. Contrast-enhanced CT-Angiopulmonography diagnoses massive pulmonary embolism.



статуса пациента. У большинства пациентов отсрочка 15 с достаточно для получения оптимального контрастирования сосудов. У пациентов с анамнезом, признаками и симптомами легочной гипертензии, правожелудочковой сердечной недостаточностью время отсрочки может варьировать между 15-й и 30-й секундами и должно определяться индивидуально. При использовании центрального венозного катетера отсрочка может составлять 5 с. Введение неионного контрастного вещества требует использования автоматического инъектора. С успехом могут использоваться контрастные вещества как низкой, так и высокой концентрации. При низкой концентрации вводится 120–150 мл контрастного вещества с содержанием 120–200 мг йода мл со скоростью от 4 до 5 мл/с. При использовании контраста высокой концентрации вводится 100–120 мл контрастного вещества с уровнем содержания 270–320 мг йода и скоростью введения 2–3 мл/с [11]. CT-Angiography, проводимая в режиме ангиопульмонографии, обеспечивает прямую визуализацию тромбозов внутри легочных артерий в виде дефектов наполнения низкой плотности внутри сосудов, частично или полностью окруженных контрастированной кровью, или как полный дефект наполнения, который делает дистальные сосуды полностью неконтрастируемыми (рис. 6). Использование мультidetекторной CT в условиях контрастирования позволяет на современных аппаратах визуализировать сосуды легкого до ветвей шестого порядка с возможностью реформации изображения в различных плоскостях, эмболы в которых распознаются как дефекты внутрипросветного наполнения, которые частично или полностью закупоривают сосуд. При этом детальное изображение паренхимы легких дает дополнительную информацию. Трудности в интерпретации спиральных КТ-ангиограмм могут быть обусловлены дыхательными артефактами, которые способны давать псевдогиподенсные области, мимикрирующие сгусток или неконтрастирующую область в сосуде [38].

Обсуждение

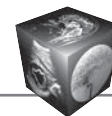
Касаясь непосредственно диагностики нарушений гемодинамики у пациентов с CVD, еще раз необходимо отметить, что ультразвуковое дуплексное сканирование (US) продолжает оставаться на сегодня “золотым стандартом” флебологической диагностики [49, 50]. В отношении использования томографических методов диагностики речь идет только о случаях, с которыми мы можем столкнуться на практике при ультразвуковой визуализации отдельных венозных сегментов [51].

В первую очередь это касается оценки проходимости подвздошных вен и нижней полой вены [52]. Очень часто в таких сложных диагностических ситуациях заключение строится не на непосредственной визуализации, а на результатах проб с дистальной компрессией или проксимальной декомпрессией. Ошибки также довольно часто могут наблюдаться в месте соединения подколенной и поверхностной бедренной вены в начале аддукторного канала. В данной анатомической области поверхностная бедренная вена в 20% случаев может проходить двумя стволами, что и приводит к диагностической ошибке, когда оператор видит хорошую проходимость одного венозного ствола и не обращает внимания на тромбоз дублирующей венозной магистрали [38].

В некоторых случаях хотелось бы получить большую чувствительность и специфичность ультразвукового дуплексного исследования при обследовании дистальных отделов венозной системы, а именно внутримышечных вен голени, высокий процент нераспознанного тромбоза которых при бессимптомном течении настораживает, например у женщин на фоне длительного приема гормональных препаратов [53, 54]. Проблемы с отчетливой визуализацией суральных вен, по мнению M. Righini и соавт., могут возникнуть у пациентов с выраженным ожирением или отеком [53]. J.D. Fraser и D.R. Anderson в рандомизированном исследовании была показана ограниченная диагностическая ценность US ввиду относительно высокой вероятности получения недостоверной информации при обследовании пациентов, перенесших эндопротезирование тазобедренных суставов [55]. Также высока вероятность получения ложноположительных результатов при проведении US у пациентов при наличии трофических расстройств с развитием липодерматосклероза и сопутствующим отеком при невозможности проведения теста на сжимаемость [51].

По мнению большого количества зарубежных специалистов, исключение диагноза DVT во всех описанных клинических ситуациях требовало уточняющего обследования, так как риск развития даже бессимптомного PE оставался высоким, а отсутствие сведений о вероятном источнике не позволило своевременно назначать соответствующую антикоагулянтную терапию или проводить ее коррекцию, основываясь исключительно на результатах повторных скрининговых US [55].

Одним из таких уточняющих методов в обследовании вен таза и нижней полой вены может стать MRI, которая благодаря внедрению современных протоколов позволила визуализировать венозную систему в очень высоком простран-



венном разрешении, основным преимуществом которой перед СТ, бесспорно, является отсутствие лучевой нагрузки на пациента.

Учитывая, что данный материал был подготовлен в первую очередь для врачей разных специальностей, занимающихся лечением заболеваний вен, которые хотели бы расширить арсенал диагностических средств в определении степени нарушения венозного кровотока, в части I нашего обзора мы подробно остановились на описании физических явлений, лежащих в основе магнитно-резонансных исследований. Понимание физики MRI в данном случае так же важно, как знание нормальной анатомии для хирурга. Это позволило нам научиться разбираться в импульсных последовательностях, которые используются для получения изображения при проведении MR-Angiography и которые используются сегодня для визуализации вен при MR-Venography. Непосредственно оценке возможностям MR-Venography в диагностике нарушений гемодинамики у пациентов с CVD и DVT, в частности, была посвящена полностью часть II. Анализ проведенных в мире исследований показал высокую дальнейшую перспективность данного метода при обследовании пациентов во всех сложных для диагностики клинических случаях при использовании бесконтрастных методик проведения MR-Venography. Подтверждением этому являются проведенные в 2017 г. исследования по дальнейшей разработке и использованию в MRI-диагностике бесконтрастной прямой визуализации венозного тромба (MRDI) [56], а также значительно усовершенствованных методов бесконтрастной прямой визуализации венозного тромба – BBTI и DANTE [57]. Китайские специалисты в 2018 г. показали, что, используя эти новые комбинированные импульсные последовательности обработки изображения, можно получать высококачественную визуализацию магистральных вен и при использовании наиболее распространенных в практике на сегодня сканирующих систем с магнитным полем 1,5 Тл [58]. Не потеряли своей актуальности и контрастные методы CE MR-Venography. Можно предположить, что в ближайшем будущем с дальнейшей разработкой новых контрастных препаратов “пула крови” MR-Venography сможет показать высокую диагностическую ценность и при обследовании дистальных сегментов нижней конечности. Особую информативность при наличии дополнительного контрастного усиления с использованием данной группы препаратов можно ожидать при проведении одновременного комбинированного MRI сканирования легких и периферической венозной системы [38]. На данный момент исследования

такие проводятся, однако окончательного решения этой задачи можно будет ожидать лишь в будущем. Еще одним принципиальным показанием к назначению MR-Venography, по мнению зарубежных авторов, является необходимость исключения DVT во время беременности. В этих условиях результаты US часто двусмысленны, особенно на последних сроках беременности. Грозным венозным осложнением у данной группы пациенток может стать тромбоз яичниковых вен, или послеродовой тромбофлебит этих вен, который, по данным американских авторов, до 25% приводит к развитию сепсиса и VTE [59].

Что касается СТ-исследования, то следует отметить, что данный метод исследования в условиях дополнительного непрямого контрастирования на сегодня продолжает оставаться “золотым стандартом” диагностики PE [32, 33, 49, 50]. Многократные попытки добиться отчетливого контрастирования периферических отделов венозной системы путем не прямой СТ-Venography (ICTV) изолированно или одновременно с проведением СТ-Angiopulmonography не привели к устойчивому позитивному результату [34, 35, 60], так как в большом количестве исследований из-за размытости контраста в периферических венах построение 3D-модели венозного кровотока оказалось невыполнимо [40].

Иные возможности визуализации вен нижних конечностей открылись после внедрения в диагностическую практику прямой СТ-Venography (DCTV) с помощью болюсного введения контраста путем пункции одной из вен тыла стопы [61]. По мнению одного из основоположников проведения DCTV-исследований французского сосудистого хирурга и анатома Жана-Франсуа Уля (J.F. Uhl), данный метод открыл новые перспективы [39, 40]. Однако и здесь на сегодня не удается достигнуть 100% результата, а следовательно, вероятность ошибки остается. Основная причина неудовлетворительных результатов данного исследования заключается в отсутствии стандартизации и четкой методологии проведения исследования. Именно по этой причине чувствительность и специфичность DCTV имеют диапазон от 89 до 100% и от 94 до 100% соответственно [62]. При этом наибольшую специфичность и чувствительность СТ-Venography имеет при диагностике бедренного тромбоза, а наименьшую – при обследовании вен голени [63].

Обобщив полученные результаты применения СТ-исследований в практике большого количества флебологов США, показаниями к проведению данного исследования в соответствии с рекомендациями Американского венозного форума поми-



мо диагностики РЕ является изучение обструкций крупных вен грудной клетки, живота, нижней полой и подвздошных вен [64]. Аналогичным образом определены сегодня показания к проведению СТ-исследований у пациентов с хроническими заболеваниями вен и в Российских клинических рекомендациях [49, 50].

Еще одним и незаменимым инструментом контрастно-усиленной СЕ СТ-Venography может стать в изучении особенностей топографоанатомического строения венозного русла (рис. 7–9). Полученные данные прижизненной визуализации венозных коллекторов нижних конечностей позволили иначе взглянуть на прикладное значение не только анатомических данных в развитии варикоз-

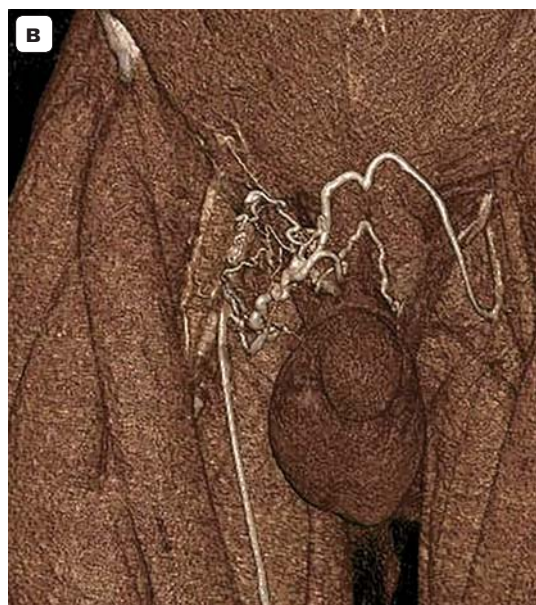


Рис. 7. Контрастно-усиленная прямая СТ-Venography (CE DCTV) нижних конечностей с 3D-реконструкцией. Визуализация поверхностной венозной системы стопы (а), голени и бедра (б). Анатомические особенности формирования сафенофеморального анастомоза (в).

Fig. 7. The study of the features of the anatomic structure of the venous system of the lower extremities according to contrast enhanced direct CT-Venography (CE DCTV) of the lower extremities with 3D reconstruction. A visualization of the superficial venous system of the foot (a), calf and thigh (b), anatomical features of the formation of sapheno-femoral anastomosis (b).

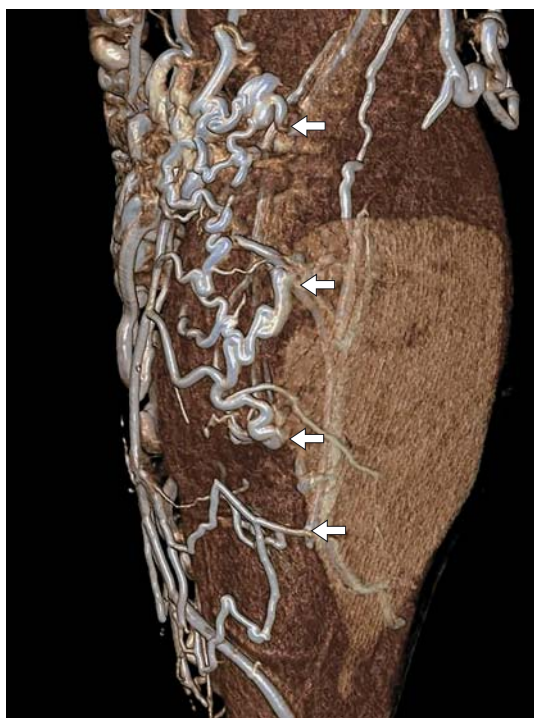
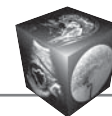


Рис. 8. Контрастно-усиленная прямая CT-Venography (CE DCTV) голени с 3D-реконструкцией. Варикозная трансформация поверхностных вен в бассейне большой подкожной вены на голени. Визуализация перфорантных вен медиальной группы икроножной мышцы (показано стрелками).

Fig. 8. Contrast-enhanced direct CT-Venography of the calf with 3D reconstruction. CT-Venography demonstrates the varicose transformation of superficial veins in the great saphenous vein on the calf and visualization of the perforant veins of the medial group of the gastrocnemius muscle (shown by arrows).

ного синдрома [65, 66], но и уточнить некоторые гемодинамические механизмы формирования хронической венозной недостаточности [67]. Особую признательность в мире получили исследования, проведенные Жаном-Франсуа Улем по изучению с помощью CE CT-Venography функциональной анатомии голеностопной мышечно-венозной помпы, с точки зрения участия в венозном оттоке из нижних конечностей не только основных венозных коллекторов, но и перфорантных вен [68–70].

Однако анализ материалов последних международных конференций показывает, что интерес к MR-Venography со стороны практикующих флебологов все же выше, чем к CT-Venography. По мнению И.М. Игнатьева, неоценимую помощь данный вид диагностики может оказать в установлении причин артериовенозных мальформаций, в изучении синдрома аортомезентериальной компрессии, при выработке показаний гибридных

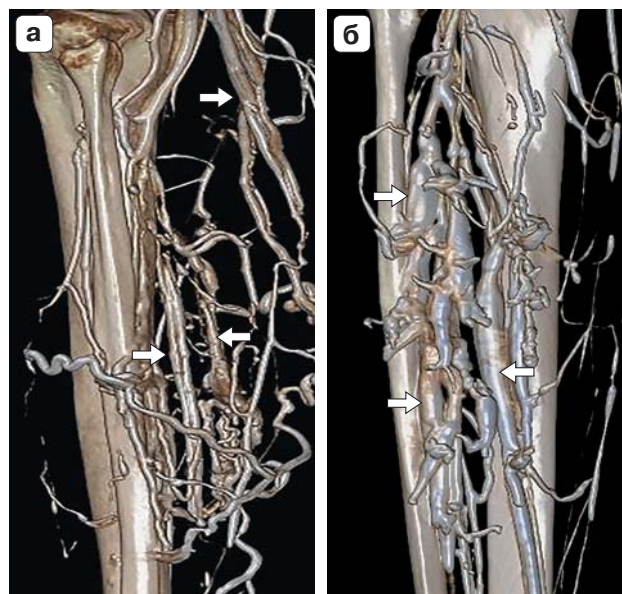


Рис. 9. Контрастно-усиленная прямая CT-Venography (CE DCTV) с 3D-реконструкцией качественно визуализирует икроножные и камбаловидные венозные коллекторы голени. На MR-венограммах демонстрируется цилиндрическая форма внутримышечных вен голени в норме (а) и протяженная фузиформная эктазия внутримышечных вен голени у пациентов с варикозной болезнью C3–C4 клинических классов по CEAP (б).

Fig 9. Contrast-enhanced direct CT-Venography (CE DCTV) with 3D reconstruction qualitatively visualizes of the gastrocnemius and solens venous collectors of the calf. Mr-venograms demonstrate the cylindrical shape of the intramuscular veins of the calf in norm (a) and extended fusiform ectasia of the intramuscular veins of the calf in patients with varicose disease C3–C4 clinical classes according to CEAP (б).

операций при обструктивных поражениях вен подвздошно-бедренного сегмента у пациентов с посттромботической болезнью, в комплексной оценке лимфовенозной недостаточности у пациентов с хронической венозной недостаточностью нижних конечностей, в оценке результатов и осложнений имплантации противоэмболических кава-фильтров [71].

Заключение

Таким образом, в результате представленного обзора и анализа опубликованных данных можно сделать вывод, что интерес к проведению MRI- и CT-Venography-исследований у пациентов с хроническими заболеваниями вен будет только возрастать. Во-первых, это продиктовано тесной взаимосвязью CVD с DVT и PE, являющихся, по сути, проявлениями одного заболевания, а именно венозной тромбоземболии VTE, что требует своевременной диагностики обоих состояний.



Во-вторых, необходимость более точной топической диагностики с 3D-визуализацией венозной системы нижних конечностей и таза обусловлена нарастающим в последние годы интересом сосудистых и интервенционных хирургов к более активному внедрению во флебологическую практику эндовасальных методов коррекции венозного кровотока. Очевидно и то, что использование методов MRI- и CT-визуализации в исследовательской работе позволит уточнить данные клинической анатомии, а следовательно, иначе взглянуть на некоторые основные патогемодинамические звенья развития CVD у пациентов не только с DVT или посттромботическими изменениями, но и первичным варикозным расширением вен.

Ни в одном из большого количества зарубежных источников, посвященных вопросам разработки и внедрения этих современных методов диагностики в клиническую практику, мы не встретили даже краткого упоминания о российских ученых, которые гораздо раньше, а иногда и задолго до своих зарубежных коллег совершали научные открытия.

Мы не встретили упоминания о выпускнике Санкт-Петербургской Военной инженерной академии имени А.Ф.Можайского Владиславе Александровиче Иванове, который, будучи лейтенантом инженерных войск, еще в 1960 г., то есть за 13 лет до американцев, в своей научной работе выдвинул идею о возможности получения изображения с помощью ядерного магнитного резонанса. Суть заключалась в том, что в неоднородном магнитном поле осуществляется свободная прецессия ядер атомов с испусканием сигналов, которые можно отделить друг от друга специальным (частотным) фильтром и использовать для построения изображения. Однако из-за своей экстраординарности мысль молодого ученого не нашла поддержки в отечественной научной среде и заявка на изобретение попросту была отклонена. И лишь в 1973 г. после появления в научном журнале "Nature" сообщения американского профессора радиологии P. Lauterburg под заголовком "Создание изображения с помощью индуцированного локального взаимодействия: примеры на основе магнитного резонанса" про В.А. Иванова вспомнили, и ему было выдано авторское свидетельство "Способ определения внутреннего строения материальных объектов". Однако время было упущено, а вскоре появилась научная работа еще одного американца R. Damadian по получению им впервые в мире с помощью сконструированного аппарата МРТ-изображения живой мыши. Таким образом, спустя 20 лет стало очевидным, что изобретение, на которое В.А. Иванов подал

заявку, могло быть первым шагом в создании первого магнитно-резонансного томографа именно в России. В 2003 г. американским ученым была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине за вклад в разработку МРТ. На что Владислав Александрович, будучи профессором Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики, в интервью американскому журналисту и писателю Брайону Мак Уильямсу (Bryon MacWilliams) с небольшой улыбкой ответил: "В науке так бывает. Особенно когда мы имеем дело с серьезными достижениями. Вы не можете держать идею долгое время взаперти, так как у нее есть свой импульс. В моем случае этот импульс был подавлен. А ведь все было так просто. Я полагал, что поскольку человек состоит в основном из воды, метод ядерного магнитного резонанса может быть использован и на живых организмах. Атомы воды внутри человека могут быть использованы для подачи сигнала, показывающего, что существует или находится внутри". Это интервью под заголовком "Russian claims first in magnetic imaging" было опубликовано в журнале "Nature" (<https://doi.org/10.1038/426375a>) в год получения американскими физиками Нобелевской премии, на что американец Реймон Дамадьян заметил: "Если бы я никогда не родился, то сегодня не было бы и МРТ". Это было за 4 года до смерти великого российского ученого.

Ни в одном из большого количества иностранных источников мы не встретили упоминание имени российского инженера Владимира Ивановича Феоктистова, который в 1934 г. сконструировал первый в мире рентгеновский томограф, ставший прообразом томографа компьютерного. Нет упоминания и о российском физике, академике АН СССР Викторе Амазасовиче Амбарцумяне, который, будучи 28-летним ученым, нашел решение задачи Эддингтона–Тесла, которое стало математической основой создания принципа компьютерной томографии.

Участие авторов

Шайдаков Е.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

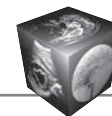
Санников А.Б. – сбор и обработка данных, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Емельяненко В.М. – подготовка и редактирование текста.

Рачков М.А. – подготовка, создание опубликованной работы.

Крюкова Л.Н. – сбор и обработка данных.

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



Authors participation

Shaydakov E.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Sannikov A.B. – collection and analysis of data, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Emelynenko V.M. – text preparation and editing.

Rachkov M.A. – preparation and creation of the published work.

Kryukova L.N. – collection and analysis of data.

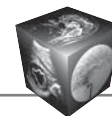
Baranova A.E. – preparation and creation of the published work.

Список литературы

1. Skutta B., Furst G., Eilers J., Ferbert A., Kuhn F.P. Intracranial stenocclusive disease: double-detector helical CT angiography versus digital subtraction angiography. *Am. J. Neuroradiol.* 1999; 20 (5): 791–779. PMID 10369348. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>
2. Kaatee R., Beek F.J., de Lange E.E. Renal artery stenosis: detection and quantification with spiral CT angiography versus optimized digital subtraction angiography. *Radiology.* 1997; 205: 121–127. <https://doi.org/10.1148/radiology.205.1.9314973>
3. Fishman E.K. From the RSNA Refresher Courses. *RadioGraphics.* 2001; 21 (1): 3–16. https://doi.org/10.1148/radiographics.21.suppl_1.g01oc23s3
4. Kim K.I., Muller N.L., Mayo J.R. Clinically suspected pulmonary embolism: utility of spiral CT. *Radiology.* 1999; 210 (3): 693–697. <https://doi.org/10.1148/radiology.210.3.r99mr01693>
5. Lawrence J.A., Kim D., Kent K.C., Stehling M.K., Rosen M.P., Raptopoulos V. Lower extremity spiral CT angiography versus catheter angiography. *Radiology.* 1995; 194: 903–908. <https://doi.org/10.1148/radiology.194.3.7862999>
6. Rieker O., Duber C., Neufang A., Pitton M., Schweden F., Thelen M. CT angiography versus intraarterial digital subtraction angiography for assessment of aortoiliac occlusive disease. *Am. J. Roentgenol.* 1997; 169: 1133–1138. <https://doi.org/10.2214/ajr.169.4.9308477>
7. Rieker O., Duber C., Schmiedt W., von Zitzewitz H., Schweden F., Thelen M. Prospective comparison of CT angiography of the legs with intraarterial digital subtraction angiography. *Am. J. Roentgenol.* 1996; 166: 269–276. <https://doi.org/10.2214/ajr.166.2.8553929>
8. Donnelly L.F., Frush D.P., Nelson R.C. Multislice helical CT to facilitate combined CT of the neck, chest, abdomen and pelvis in children. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 174 (6): 1620–1622. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.6.1741620>
9. Lawler L.P., Fishman E.K. Multi-detector row CT of thoracic disease with emphasis on 3-D volume rendering and CT angiography. *RadioGraphics.* 2001 21 (5): 1257–1273. <https://doi.org/10.1148/radiographics.21.5.g01se021257>
10. Siegel M.J. Multislice computed tomography: Practice Guidelines. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. <https://www.link.springer.com>. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18758-2_3
11. Claussen C.D., Elliot K., Marincek B., Reiser M. Multislice CT. Springer-Link, 2004. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-18758-2>
12. Rubin G.D., Zarins C.K. MR and Spiral CT Imaging of Low Extremity Occlusive Disease. *J. Surg. Clin. N. Am.* 1995; 75 (4): 607–619. [https://doi.org/10.1016/s0039-6109\(16\)46685-5](https://doi.org/10.1016/s0039-6109(16)46685-5)
13. Rubin G.D., Schmidt A.J., Logan L.J., Sofilos M.C. Multi-detector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience. *Radiology.* 2001; 221: 146–158. <https://doi.org/10.1148/radiol.2211001325>
14. Fleischmann D., Rubin G.D., Paik D.S., Yen S.Y., Hifiker P.R. Stair-step artifacts with single versus multiple detectorrow helical CT. *Radiology.* 2000; 216: 185–196. <https://doi.org/10.1148/radiology.216.1.r00jn13185>
15. Rubin G.D., Shiao M.C., Leung A.N., Kee S.T., Logan L.J., Sofilos M.C. Aorta and iliac arteries: single versus multiple detector-row helical CT angiography. *Radiology.* 2000; 215: 670–676. <https://doi.org/10.1148/radiology.215.3.r00jn18670>
16. Martin M.L., Tay K.H., Flak B., Fry P.D. Multidetector CT Angiography of the Aortoiliac System and Lower Extremities: A Prospective Comparison with Digital Subtraction Angiography. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 180 (4): 1085–1091. <https://doi.org/10.2214/ajr.180.4.1801085>
17. Owen R.S., Carpenter J.P., Baum R.A., Perloff L.J., Cope C. Magnetic resonance imaging of angiographically occult runoff vessels in peripheral arterial occlusive disease. *N. Engl. J. Med.* 1992; 326: 1577–1581. <https://doi.org/10.1056/nejm199206113262428>
18. Flohr T.G., Schaller S., Stierstorfer K., Bruder H., Ohnesorge B.M., Schoepf U.J. Multi-Detector Row CT Systems and Image-Reconstruction Techniques. *J. Radiol.* 2005; 235: 756–773. <https://doi.org/10.1148/radiol.235304037>
19. Polacin A., Kalender W.A., Marchal G. Evaluation of section sensitivity profiles and image noise in spiral CT. *J. Radiol.* 1992; 185: 29–35. <https://doi.org/10.1148/radiology.185.1.1523331>
20. Rubin G.D., Napel S. Increased scan pitch for vascular and thoracic spiral CT. *J. Radiol.* 1995; 197: 316–317. <https://doi.org/10.1148/radiology.197.1.316-c>
21. Pelberg R., Mazur W. Vascular CT Angiography Manual. Springer, 2010. ISBN 978-1-84996-260-5. <https://www.springer.com>
22. Kachelriess M., Ulzheimer S., Kalender W. ECG-correlated image reconstruction from subsecond multi-slice spiral CT scans of the heart. *Med. Phys.* 2000; 27: 1881–1902. <https://doi.org/10.1118/1.1286552>
23. Ohnesorge B., Flohr T., Becker C. Cardiac imaging by means of electrocardiographically gated multisection spiral CT: initial experience. *J. Radiol.* 2000; 217: 564–571. <https://doi.org/10.1148/radiology.217.2.r00nv30564>
24. Flohr T., Bruder H., Stierstorfer K., Simon J., Schaller S., Ohnesorge B. New technical developments in multislice CT. Sub-multimeter 16-slice scanning and increased gantry rotation speed for cardiac imaging. *Rofo.* 2002; 174: 1022–1027. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32930>
25. Lell M., Wildberger J., Heuschmid M. CT-angiography of carotid artery: first results with a novel 16-slice spiral CT scanner. *Rofo.* 2002; 174: 1165–1069. <https://doi.org/10.1055/s-2002-33935>
26. Nieman K., Cademartiri F., Lemos P.A., Raaijmakers R., Pattynama P.M. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation.* 2002; 106: 2051–2054. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000037222.58317.3d>
27. Pennell D.J., Sechtem U.P., Prasad S., Rademakers F.E. Cardiovascular Magnetic Resonance. Book Chapter



- published in The ESC Textbook of Cardiovascular Medicine. 2009. <https://doi.org/10.1093/med/9780199566990.003.005>
28. Plein S., Greenwood J., Ridway J.P. Cardiovascular MR Manual. Springer, 2015. ISBN 978-3-319-20940-1. <https://www.springer.com>
29. Sidorova E., Kondratyev E., Shirocov V., Karmazanovsky G. Minimalisation of contrast media volume with 256-slice CT angiography of the abdominal aorta and arteries of low extremities. *Congress ECR*. 2010. <https://doi.org/10.1594/ecr2010/C-3053>
30. The 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases in collaboration with the European Society for Vascular Surgery. *Eur. J. Vasc. and Endovasc. Surg.* 2018; 55 (3). <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.03.004>
31. Mukherjee D., Rajagopalan S. CT and MR Angiography of the Peripheral Circulation. Practical Approach with Clinical Protocols. CRC Press, 2019. ISBN 9780367389062. <https://www.routledge.com>
32. Kalva S.P., Jagannathan J.P., Hahn P.F., Wicky S.T. Venous thromboembolism: indirect CT venography during CT pulmonary angiography should the pelvis be imaged? *Radiology*. 2008; 246: 605–611. <https://doi.org/10.1148/radiol.2462070319>
33. Kelly A.M., Patel S., Carlos R.C., Cronin P., Kazerooni E.A. Multidetector row CT pulmonary angiography and indirect venography for the diagnosis of venous thromboembolic disease in intensive care unit patients. *Acad. Radiol.* 2006; 13: 486–495. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2006.01.041>
34. Kulkarni N.M., Sahani D.V., Desai G.S., Kalva S.P. Indirect computed tomography venography of the lower extremities using single-source dual-energy computed tomography: advantage of Low-Kiloelectron volt monochromatic images. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2012; 23: 879–886. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2012.04.012>
35. Coche E.E., Hamoir X.L., Hammer F.D., Hainaut P., Goffette P.P. Using dual-detector helical CT angiography to detect deep venous thrombosis in patients with suspicion of pulmonary embolism: diagnostic value and additional findings. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176: 1035–1039. <https://doi.org/10.2214/ajr.176.4.1761035>
36. Das M., Muhlenbruch G., Mahnken A.H. Optimized image reconstruction for detection of deep venous thrombosis at multidetector-row CT venography. *Eur. Radiol.* 2006; 16: 269–275. <https://doi.org/10.1007/s00330-005-2868-9>
37. Gregory Cheng. Deep Vein Thrombosis, edited by Dr. Gregory Cheng. "INTECH", 2012. <https://doi.org/10.5772/1171>
38. Reicherta M., Henzler T., Krissak R., Apfalter P., Huck K., Buesing K., Sueselbeck T. Venous thromboembolism: Additional diagnostic value and radiation dose of pelvic CT venography in patients with suspected pulmonary embolism. *Eur. J. Radiol.* 2011; 80: 50–53. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.12.101>
39. Uhl J.F., Gillot C. Embriology and threedimensional anatomy of the superficial venous system of the lower limbs. *Phlebology*. 2007; 22 (5): 194–206. <https://doi.org/10.1258/026835507782101717>
40. Uhl J.F. Three-dimensional modelling of the venous system by direct multislice helical computed tomography venography: technique, indications and results. *Phlebology*. 2012; 27: 270–288. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012j07>
41. Slater S., Oswal D., Bhartia B. A retrospective study of the value of indirect CT venography: a British perspective. *Br. J. Radiol.* 2012; 85: 917–920. <https://doi.org/10.1259/bjr/28355108>
42. Stehling M.K., Rosen M.P., Weintraub J., Kim D., Raptopoulos V. Spiral CT Venography of the lower extremity. *Am. J. Roentgenol.* 1994; 163: 451–453. <https://doi.org/10.2214/ajr.163.2.8037048>
43. Аскерханов Р.Г., Казакмурзаев М.А., Махатилов М.Г. Способ мультиспиральной компьютерной томографии-флебографии вен нижних конечностей. Патент на изобретение RU №2548139 C2, приоритет от 22.08.2013, опубликован 27.02.2015, Бюл №6. <https://www.fips.ru>
44. Wan-Yin Shi, Li-Wei Wang, Shao-Suan Wang, Xin-Dao Yin, Jian-Ping Gu. Combined Direct and Indirect CT Venography (Combined CTV) in Detecting Lower Extremity Deep Vein Thrombosis. *Medicine*. 2016; 95 (11): 1–7. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000003010>
45. Sevt S., Gallagher N. Venous thrombosis and pulmonary embolism. A clinic-pathological study in injured and burned patient. *Br. J. Surg.* 1961; 48: 475–489. <https://doi.org/10.1002/bjs.18004821103>
46. Mozer K.M. Frequent asymptomatic pulmonary embolism in patients with deep venous thrombosis. *JAMA*. 1994; 271 (3): 223–225. <https://doi.org/10.1001/jama.271.3.223>
47. Johnson M.S. Current strategies for diagnosis of pulmonary embolism. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2002; 13: 13–23. [https://doi.org/10.1016/s1051-0443\(07\)60003-7](https://doi.org/10.1016/s1051-0443(07)60003-7)
48. Blachere H., Latrabe V., Montaudon M., valli N., Coouffinal T., Raheissou C., Leccia F., Laurent F. Pulmonary embolism revealed on helical CT angiography: comparison with ventilation-perfusion radionuclide lung scanning. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 174: 1041–1047. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.4.1741041>
49. Российские клинические рекомендации по диагностике и лечению хронических заболеваний вен. *Флебология*. 2018; 3: 146–240. ISSN 1997-6976. <https://doi.org/10.17116/flebo20187031146>
50. Российские клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике венозных тромбозов и осложнений. *Флебология*. 2015; 9 (2): 52 с. ISSN 1997-6976. <https://www.mediasphera.ru>
51. Постнова Н.А. Ультразвуковая диагностика заболеваний вен нижних конечностей. М.: ООО "Фирма СТРОМ", 2011. ISBN 978-5-900094-37-3.
52. Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М. Клиническая флебология. М.: Пресс, 2016. ISBN 978-5-91976-090-0.
53. Malinowski A.K., Porish S. Venous thromboembolism in the obese pregnant patient. Chapter in Book: Pregnancy and Obesity by eds. Maxwell C., Farine D. Berlin, Boston: De Gruyter, 2017. <https://doi.org/10.1515/9783110487817>
54. Olie V., Canonico M., Scarabin P. Postmenopausal hormone therapy and venous thromboembolism. *Thrombosis Research*. 2011; 127: 26–29. [https://doi.org/10.1016/s0049-3848\(11\)70008-1](https://doi.org/10.1016/s0049-3848(11)70008-1)
55. Fraser J.D., Anderson D.R. Deep venous thrombosis: recent advances and optimal investigation with US. *Radiology*. 1999; 211 (1): 9–24. <https://doi.org/10.1148/radiology.211.1.r99ap459>
56. Mendichovszky I.A., Priest A.N., Bowden D.J., Hunter S., Joubert I., Hilborne S., et al. Combined MR direct thrombus imaging and non-contrast magnetic resonance venography reveal the evolution of deep vein thrombosis:



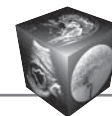
- a feasibility study. *Eur. Radiol.* 2017; 27: 2326–2332. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4555-4>
57. Guoxi Xie, Hanwei Chen, Xueping He, Jianke Liang, Wei Deng, Zhuonan He, Yufeng Ye. Black-blood thrombus imaging (BTI): a contrast-free cardiovascular magnetic resonance approach for the diagnosis of non-acute deep vein thrombosis. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2017; 19 (1). <https://doi.org/10.1186/s12968-016-0320-8>
 58. Hanwei Chen, Xueping He, Guoxi Xie, Jianke Liang, Yufeng Ye, Wei Deng et al. Cardiovascular magnetic resonance black-blood thrombus imaging for the diagnosis of acute deep vein thrombosis at 1,5 Tesla. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2018; 20 (1). <https://doi.org/10.1186/s12968-018-0459-6>
 59. Spritzer C.E. Progress in MR imaging of the venous system. *Perspect. Vasc. Surg. Endovasc. Ther.* 2009; 21(2): 105–116. <https://doi.org/10.1177/1531003509337259>
 60. Loud P.A., Katz D.S., Bruce D.A. Deep venous thrombosis with suspected pulmonary embolism: detection with combined CT venography and pulmonary angiography. *Radiology.* 2001; 219: 498–502. <https://doi.org/10.1148/radiology.219.2.r01ma26498>
 61. Ghaye B., Szapiro D., Willems V. Pitfalls in CT venography of lower limbs and abdominal veins. *Am. J. Roentgenol.* 2002; 178: 1465–1471. <https://doi.org/10.2214/ajr.178.6.1781465>
 62. Uhl J.F., Verdeille S., Martin-Bouyer Y. Three-dimensional spiral CT venography for the preoperative assessment of varicose patients. *Vasa.* 2003; 32 (2): 91–94. <https://doi.org/10.1024/0301-1526.32.2.91>
 63. Uhl J.F., Caggiati A. Three-dimensional evaluation of the venous system in varicose limbs by multidetector spiral CT. In: Catalano C. Passariello, eds. Multidetector-Row CT Angiography. Berlin; Heidelberg: Springer, 2005: 199–206. https://doi.org/10.1007/3-540-26984-3_15
 64. Gliviczki P. The care of patients with varicose veins and associated chronic venous diseases: Clinical Practice Guidelines of the Society for Vascular Surgery and the American Venous Forum. *J. Vasc. Surg.* 2011; 53 (5): 2–48. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2011.01.079>
 65. Санников А.Б., Емельяненко В.М., Рачков М.А., Дроздова И.В. Анатомическое строение венозного коллектора икроножной мышцы по данным МСКТ-флебографии. *Вестник Национального Медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* 2019; 14 (1): 81–87. <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2019.77.81.017>
 66. Санников А.Б., Емельяненко В.М., Рачков М.А. Особенности строения внутримышечных вен голени в норме и при хронических заболеваниях по данным мультиспиральной компьютерной флебографии. *Флебология.* 2018; 4(12): 292–299. <https://doi.org/10.17116/flebo201812041292>
 67. Шайдаков Е.В., Санников А.Б., Емельяненко В.М., Рачков М.А., Дроздова И.В. Варианты развития эктазии внутримышечных вен голени у пациентов с хроническими заболеваниями вен по данным мультиспиральной компьютерной томографии-флебографии. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия.* 2019; 3 (3): 22–30. <https://doi.org/10.17116/operhirurg2019302122-30>
 68. Uhl J.F. A New Tool to Study the 3D Venous Anatomy of the Human Embryo: The Computer-Assisted Anatomical Dissection. *J. Vasc Surg: Venous and Lymphatic Disorders.* 2014; 2 (1): 111–112. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2013.10.025>
 69. Uhl J.F., Gillot C. Anatomy of the veno-muscular pumps of the lower limb. *Phlebology: J. Venous Dis.* 2015; 30 (3): 180–193. <https://doi.org/10.1177/0268355513517686>
 70. Uhl J.F., Gillot C. Anatomy of the foot venous pump: physiology and influence on chronic venous disease. *Phlebology: J. Venous Dis.* 2012; 27 (5): 219–230. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012b01>
 71. Игнатьев И.М. Реконструктивная хирургия посттромботической болезни. Казань: Медицина, 2017. ISBN 978-5-7645-0636-4.

References

1. Skutta B., Furst G., Eilers J., Ferbert A., Kuhn F.P. Intracranial stenocclusive disease: double-detector helical CT angiography versus digital subtraction angiography. *Am. J. Neuroradiol.* 1999; 20 (5): 791–779. PMID 10369348. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>
2. Kaatee R., Beek F.J., de Lange E.E. Renal artery stenosis: detection and quantification with spiral CT angiography versus optimized digital subtraction angiography. *Radiology.* 1997; 205: 121–127. <https://doi.org/10.1148/radiology.205.1.9314973>
3. Fishman E.K. From the RSNA Refresher Courses. *RadioGraphics.* 2001; 21 (1): 3–16. https://doi.org/10.1148/radiographics.21.suppl_1.g01oc23s3
4. Kim K.I., Muller N.L., Mayo J.R. Clinically suspected pulmonary embolism: utility of spiral CT. *Radiology.* 1999; 210 (3): 693–697. <https://doi.org/10.1148/radiology.210.3.r99mr01693>
5. Lawrence J.A., Kim D., Kent K.C., Stehling M.K., Rosen M.P., Raptopoulos V. Lower extremity spiral CT angiography versus catheter angiography. *Radiology.* 1995; 194: 903–908. <https://doi.org/10.1148/radiology.194.3.7862999>
6. Rieker O., Duber C., Neufang A., Pitton M., Schweden F., Thelen M. CT angiography versus intraarterial digital subtraction angiography for assessment of aortoiliac occlusive disease. *Am. J. Roentgenol.* 1997; 169: 1133–1138. <https://doi.org/10.2214/ajr.169.4.9308477>
7. Rieker O., Duber C., Schmiedt W., von Zitzewitz H., Schweden F., Thelen M. Prospective comparison of CT angiography of the legs with intraarterial digital subtraction angiography. *Am. J. Roentgenol.* 1996; 166: 269–276. <https://doi.org/10.2214/ajr.166.2.8553929>
8. Donnelly L.F., Frush D.P., Nelson R.C. Multislice helical CT to facilitate combined CT of the neck, chest, abdomen and pelvis in children. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 174 (6): 1620–1622. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.6.1741620>
9. Lawler L.P., Fishman E.K. Multi-detector row CT of thoracic disease with emphasis on 3-D volume rendering and CT angiography. *RadioGraphics.* 2001 21 (5): 1257–1273. <https://doi.org/10.1148/radiographics.21.5.g01se021257>
10. Siegel M.J. Multislice computed tomography: Practice Guidelines. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. <https://www.link.springer.com>. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18758-2_3
11. Claussen C.D., Elliot K., Marincek B., Reiser M. Multislice CT. Springer-Link, 2004. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-18758-2>
12. Rubin G.D., Zarins C.K. MR and Spiral CT Imaging of Low Extremity Occlusive Disease. *J. Surg. Clin. N. Am.*



- 1995; 75 (4): 607–619.
[https://doi.org/10.1016/s0039-6109\(16\)46685-5](https://doi.org/10.1016/s0039-6109(16)46685-5)
13. Rubin G.D., Schmidt A.J., Logan L.J., Sofilos M.C. Multi-detector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience. *Radiology*. 2001; 221: 146–158. <https://doi.org/10.1148/radiol.2211001325>
 14. Fleischmann D., Rubin G.D., Paik D.S., Yen S.Y., Hifiker P.R. Stair-step artifacts with single versus multiple detectorrow helical CT. *Radiology*. 2000; 216: 185–196. <https://doi.org/10.1148/radiology.216.1.r00jn13185>
 15. Rubin G.D., Shiau M.C., Leung A.N., Kee S.T., Logan L.J., Sofilos M.C. Aorta and iliac arteries: single versus multiple detector-row helical CT angiography. *Radiology*. 2000; 215: 670–676. <https://doi.org/10.1148/radiology.215.3.r00jn18670>
 16. Martin M.L., Tay K.H., Flak B., Fry P.D. Multidetector CT Angiography of the Aortoiliac System and Lower Extremities: A Prospective Comparison with Digital Subtraction Angiography. *Am. J. Roentgenol.* 2003; 180 (4): 1085–1091. <https://doi.org/10.2214/ajr.180.4.1801085>
 17. Owen R.S., Carpenter J.P., Baum R.A., Perloff L.J., Cope C. Magnetic resonance imaging of angiographically occult runoff vessels in peripheral arterial occlusive disease. *N. Engl. J. Med.* 1992; 326: 1577–1581. <https://doi.org/10.1056/nejm199206113262428>
 18. Flohr T.G., Schaller S., Stierstorfer K., Bruder H., Ohnesorge B.M., Schoepf U.J. Multi-Detector Row CT Systems and Image-Reconstruction Techniques. *J. Radiol.* 2005; 235: 756–773. <https://doi.org/10.1148/radiol.235304037>
 19. Polacin A., Kalender W.A., Marchal G. Evaluation of section sensitivity profiles and image noise in spiral CT. *J. Radiol.* 1992; 185: 29–35. <https://doi.org/10.1148/radiology.185.1.1523331>
 20. Rubin G.D., Napel S. Increased scan pitch for vascular and thoracic spiral CT. *J. Radiol.* 1995; 197: 316–317. <https://doi.org/10.1148/radiology.197.1.316-c>
 21. Pelberg R., Mazur W. Vascular CT Angiography Manual. Springer, 2010. ISBN 978-1-84996-260-5. <https://www.springer.com>
 22. Kachelriess M., Ulzheimer S., Kalender W. ECG-correlated image reconstruction from subsecond multi-slice spiral CT scans of the heart. *Med. Phys.* 2000; 27: 1881–1902. <https://doi.org/10.1118/1.1286552>
 23. Ohnesorge B., Flohr T., Becker C. Cardiac imaging by means of electrocardiographically gated multisection spiral CT: initial experience. *J. Radiol.* 2000; 217: 564–571. <https://doi.org/10.1148/radiology.217.2.r00nv30564>
 24. Flohr T., Bruder H., Stierstorfer K., Simon J., Schaller S., Ohnesorge B. New technical developments in multislice CT. Sub-multimeter 16-slice scanning and increased gantry rotation speed for cardiac imaging. *Rofo*. 2002; 174: 1022–1027. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32930>
 25. Lell M., Wildberger J., Heuschmid M. CT-angiography of carotid artery: first results with a novel 16-slice spiral CT scanner. *Rofo*. 2002; 174: 1165–1069. <https://doi.org/10.1055/s-2002-33935>
 26. Nieman K., Cademartiri F., Lemos P.A., Raaijmakers R., Pattynama P.M. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation*. 2002; 106: 2051–2054. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000037222.58317.3d>
 27. Pennell D.J., Sechtem U.P., Prasad S., Rademakers F.E. Cardiovascular Magnetic Resonance. Book Chapter published in The ESC Textbook of Cardiovascular Medicine. 2009. <https://doi.org/10.1093/med/9780199566990.003.005>
 28. Plein S., Greenwood J., Ridway J.P. Cardiovascular MR Manual. Springer, 2015. ISBN 978-3-319-20940-1. <https://www.springer.com>
 29. Sidorova E., Kondratyev E., Shirocov V., Karmazanovsky G. Minimalisation of contrast media volume with 256-slice CT angiography of the abdominal aorta and arteries of low extremities. *Congress ECR*. 2010. <https://doi.org/10.1594/ecr2010/C-3053>
 30. The 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases in collaboration with the European Society for Vascular Surgery. *Eur. J. Vasc. and Endovasc. Surg.* 2018; 55 (3). <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.03.004>
 31. Mukherjee D., Rajagopalan S. CT and MR Angiography of the Peripheral Circulation. Practical Approach with Clinical Protocols. CRC Press, 2019. ISBN 9780367389062. <https://www.routledge.com>
 32. Kalva S.P., Jagannathan J.P., Hahn P.F., Wicky S.T. Venous thromboembolism: indirect CT venography during CT pulmonary angiography should the pelvis be imaged? *Radiology*. 2008; 246: 605–611. <https://doi.org/10.1148/radiol.2462070319>
 33. Kelly A.M., Patel S., Carlos R.C., Cronin P., Kazerooni E.A. Multidetector row CT pulmonary angiography and indirect venography for the diagnosis of venous thromboembolic disease in intensive care unit patients. *Acad. Radiol.* 2006; 13: 486–495. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2006.01.041>
 34. Kulkarni N.M., Sahani D.V., Desai G.S., Kalva S.P. Indirect computed tomography venography of the lower extremities using single-source dual-energy computed tomography: advantage of Low-Kiloelectron volt monochromatic images. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2012; 23: 879–886. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2012.04.012>
 35. Coche E.E., Hamoir X.L., Hammer F.D., Hainaut P., Goffette P.P. Using dual-detector helical CT angiography to detect deep venous thrombosis in patients with suspicion of pulmonary embolism: diagnostic value and additional findings. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176: 1035–1039. <https://doi.org/10.2214/ajr.176.4.1761035>
 36. Das M., Muhlenbruch G., Mahnken A.H. Optimized image reconstruction for detection of deep venous thrombosis at multidetector-row CT venography. *Eur. Radiol.* 2006; 16: 269–275. <https://doi.org/10.1007/s00330-005-2868-9>
 37. Gregory Cheng. Deep Vein Thrombosis, edited by Dr. Gregory Cheng. "INTECH", 2012. <https://doi.org/10.5772/1171>
 38. Reicherta M., Henzler T., Krissak R., Apfalter P., Huck K., Buesing K., Sueselbeck T. Venous thromboembolism: Additional diagnostic value and radiation dose of pelvic CT venography in patients with suspected pulmonary embolism. *Eur. J. Radiol.* 2011; 80: 50–53. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.12.101>
 39. Uhl J.F., Gillot C. Embriology and threedimensional anatomy of the superficial venous system of the lower limbs. *Phlebology*. 2007; 22 (5): 194–206. <https://doi.org/10.1258/026835507782101717>
 40. Uhl J.F. Three-dimensional modelling of the venous system by direct multislice helical computed tomography venography: technique, indications and results. *Phlebology*. 2012; 27: 270–288. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012j07>



41. Slater S., Oswal D., Bhartia B. A retrospective study of the value of indirect CT venography: a British perspective. *Br. J. Radiol.* 2012; 85: 917–920. <https://doi.org/10.1259/bjr/28355108>
42. Stehling M.K., Rosen M.P., Weintraub J., Kim D., Raptopoulos V. Spiral CT Venography of the lower extremity. *Am. J. Roentgenol.* 1994; 163: 451–453. <https://doi.org/10.2214/ajr.163.2.8037048>
43. Askerhanov R.G., Kazakmurzaev M.A., Mahatillov M.G. *Method multislice computed tomography venography of the veins of the lower extremities*. Patent RU №2548139 C2, priority 22.08.2013, date of publication 27.02.2015, Bulletin №6. <https://www.fips.ru> (In Russian)
44. Wan-Yin Shi, Li-Wei Wang, Shao-Suan Wang, Xin-Dao Yin, Jian-Ping Gu. Combined Direct and Indirect CT Venography (Combined CTV) in Detecting Lower Extremity Deep Vein Thrombosis. *Medicine.* 2016; 95 (11): 1–7. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000003010>
45. Sevvit S., Gallagher N. Venous thrombosis and pulmonary embolism. A clinic-pathological study in injured and burned patient. *Br. J. Surg.* 1961; 48: 475–489. <https://doi.org/10.1002/bjs.18004821103>
46. Mozer K.M. Frequent asymptomatic pulmonary embolism in patients with deep venous thrombosis. *JAMA.* 1994; 271 (3): 223–225. <https://doi.org/10.1001/jama.271.3.223>
47. Johnson M.S. Current strategies for diagnosis of pulmonary embolism. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2002; 13: 13–23. [https://doi.org/10.1016/s1051-0443\(07\)60003-7](https://doi.org/10.1016/s1051-0443(07)60003-7)
48. Blachere H., Latrabe V., Montaudon M., valli N, Coouffinal T., Raherisson C., Leccia F., Laurent F. Pulmonary embolism revealed on helical CT angiography: comparison with ventilation-perfusion radionuclide lung scanning. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 174: 1041–1047. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.4.1741041>
49. Diagnostics and treatment of Chronic Venous Disease: Guidelines of Russian Phlebology Association clinical guidelines for the diagnosis and treatment of chronic venous diseases. *Flebologiya. Journal of Venous Disorders.* 2018; 3: 146–240. ISSN 1997-6976. <https://doi.org/10.17116/flebo20187031146> (In Russian)
50. Russian clinical guidelines for the diagnosis, treatment and prevention of venous thromboembolic complications. *Flebologiya. Journal of Venous Disorders.* 2015; 9 (2): 52 p. ISSN 1997-6976. <https://www.mediasphera.ru> (In Russian)
51. Postnova N.A. *Ultrasound diagnosis of venous diseases of the lower extremities*. M.: “STROM”, 2011. ISBN 978-5-900094-37-3. (In Russian)
52. Shevchenko Yu.L., Stojko Yu.M. *Clinical phlebology*. M.: Press, 2016. ISBN 978-5-91976-090-0. (In Russian)
53. Malinowski A.K., Porrish S. Venous thromboembolism in the obese pregnant patient. Chepter in Book: *Pregnancy and Obesity by eds. Maxwell C., Farine D.* Berlin, Boston: De Gruyter, 2017. <https://doi.org/10.1515/9783110487817>
54. Olie V., Canonico M., Scarabin P. Postmenopausal hormone therapy and venous thromboembolism. *Thrombosis Research.* 2011; 127: 26–29. [https://doi.org/10.1016/s0049-3848\(11\)70008-1](https://doi.org/10.1016/s0049-3848(11)70008-1)
55. Fraser J.D., Anderson D.R. Deep venous thrombosis: recent advances and optimal investigation with US. *Radiology.* 1999; 211 (1): 9–24. <https://doi.org/10.1148/radiology.211.1.r99ap459>
56. Mendichovszky I.A., Priest A.N., Bowden D.J., Hunter S., Joubert I., Hilborne S., et al. Combined MR direct thrombus imaging and non-contrast magnetic resonance venography reveal the evolution of deep vein thrombosis: a feasibility study. *Eur. Radiol.* 2017; 27: 2326–2332. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4555-4>
57. Guoxi Xie, Hanwei Chen, Xueping He, Jianke Liang, Wei Deng, Zhuonan He, Yufeng Ye. Black-blood thrombus imaging (BTI): a contrast-free cardiovascular magnetic resonance approach for the diagnosis of non-acute deep vein thrombosis. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2017; 19 (1). <https://doi.org/10.1186/s12968-016-0320-8>
58. Hanwei Chen, Xueping He, Guoxi Xie, Jianke Liang, Yufeng Ye, Wei Deng et al. Cardiovascular magnetic resonance black-blood thrombus imaging for the diagnosis of acute deep vein thrombosis at 1,5 Tesla. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2018; 20 (1). <https://doi.org/10.1186/s12968-018-0459-6>
59. Spritzer C.E. Progress in MR imaging of the venous system. *Perspect. Vasc. Surg. Endovasc. Ther.* 2009; 21(2): 105–116. <https://doi.org/10.1177/1531003509337259>
60. Loud P.A., Katz D.S., Bruce D.A. Deep venous thrombosis with suspected pulmonary embolism: detection with combined CT venography and pulmonary angiography. *Radiology.* 2001; 219: 498–502. <https://doi.org/10.1148/radiology.219.2.r01ma26498>
61. Ghaye B., Szapiro D., Willems V. Pitfalls in CT venography of lower limbs and abdominal veins. *Am. J. Roentgenol.* 2002; 178: 1465–1471. <https://doi.org/10.2214/ajr.178.6.1781465>
62. Uhl J.F, Verdeille S, Martin-Bouyer Y. Three-dimensional spiral CT venography for the preoperative assessment of varicose patients. *Vasa.* 2003; 32 (2): 91–94. <https://doi.org/10.1024/0301-1526.32.2.91>
63. Uhl J.F, Caggiati A. Three-dimensional evaluation of the venous system in varicose limbs by multidetector spiral CT. In: Catalano C. Passariello, eds. *Multidetector-Row CT Angiography*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2005: 199–206. https://doi.org/10.1007/3-540-26984-3_15
64. Gloviczki P. The care of patients with varicose veins and associated chronic venous diseases: Clinical Practice Guidelines of the Society for Vascular Surgery and the American Venous Forum. *J. Vasc. Surg.* 2011; 53 (5): 2–48. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2011.01.079>
65. Sannikov A.B., Emel'yanenko V.M., Rachkov M.A., Drozdova I.V. The anatomical structure of the venous collector of the gastrocnemius muscle according to multispiral computed tomography venography. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center.* 2019; 14 (1): 81–87. <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2019.77.81.017> (In Russian)
66. Sannikov A.B., Emel'yanenko V.M., Rachkov M.A. The specific anatomical features of structure of the calf intramuscular veins in the healthy subjects and the patients presenting with chronic venous disease: Data Obtained by multi-spiral computed phlebography. *Flebologiya. Journal of Venous Disorders.* 2018; 4 (12): 292–299. <https://doi.org/10.17116/flebo201812041292> (In Russian)
67. Shajdakov E.V., Sannikov A.B., Emel'yanenko V.M., Rachkov M.A. Variants of ecstatic development of the leg intramuscular veins in patients with chronic venous diseases according to multispiral computed tomography



- phlebography. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy*. 2019; 3 (3): 22–30. <https://doi.org/10.17116/operhirurg2019302122-30> (In Russian)
68. Uhl J.F. A New Tool to Study the 3D Venous Anatomy of the Human Embryo: The Computer-Assisted Anatomical Dissection. *J. Vasc Surg: Venous and Lymphatic Disorders*. 2014; 2 (1): 111–112. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2013.10.025>
69. Uhl J.F., Gillot C. Anatomy of the veno-muscular pumps of the lower limb. *Phlebology: J. Venous Dis*. 2015; 30 (3): 180–193. <https://doi.org/10.1177/0268355513517686>
70. Uhl J.F., Gillot C. Anatomy of the foot venous pump: physiology and influence on chronic venous disease. *Phlebology: J. Venous Dis*. 2012; 27 (5): 219–230. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012b01>
71. Ignat'ev I.M. Reconstructive surgery of post-thrombotic disease. Kazan': Medicina, 2017. ISBN 978-5-7645-0636-4. (In Russian)

Для корреспонденции*: Санников Александр Борисович – 600031 Владимир, а/я 14. Тел.: 8-999-776-47-73. E-mail: aliplast@mail.ru

Шайдаков Евгений Владимирович – доктор мед. наук, профессор ФГБУН “Институт мозга человека имени Н.П. Бехтеревой” РАН, президент Санкт-Петербургской ассоциации флебологов (SPSP), Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7260-4968>. E-mail: evgenyshaydakov@gmail.com

Санников Александр Борисович – канд. мед. наук, заместитель главного врача, сосудистый хирург Клиники инновационной диагностики “Медика”, Владимир; доцент кафедры дополнительного профессионального образования специалистов здравоохранения РНИМУ имени Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1792-2434>. E-mail: aliplast@mail.ru

Емельяненко Владимир Михайлович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой дополнительного профессионального образования специалистов здравоохранения РНИМУ имени Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0909-1693>. E-mail: vla05@yandex.ru

Рачков Михаил Александрович – врач-рентгенолог кабинета КТ Клиники инновационной диагностики “Медика”, Владимир. <https://orcid.org/0000-0002-7674-8221>. E-mail: rachkoff@gmail.com

Крюкова Людмила Николаевна – врач-рентгенолог кабинета МРТ Клиники инновационной диагностики “Медика”, Владимир. <https://orcid.org/0000-0001-5128-5075>. E-mail: masha1ivanova@yandex.ru

Баранова Анна Евгеньевна – врач-рентгенолог кабинета МРТ Клиники инновационной диагностики “Медика”, Владимир. <https://orcid.org/0000-0002-2448-4885>. E-mail: annashik.baranova@mail.ru

Contact*: Aleksandr B. Sannikov – mailbox 14, 600031, Vladimir, Russian Federation. Phone: +7-999-776-47-73. E-mail: aliplast@mail.ru

Evgenij V. Shajdakov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Bekhterev Institute of human brain of the Russian Academy of Sciences (RAS); President of the Saint Petersburg Association of Phlebologists (SPSP), Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7260-4968>. E-mail: evgenyshaydakov@gmail.com

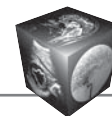
Aleksandr B. Sannikov – Cand. of Sci. (Med.), assistant of chief physician, vascular surgeon of the Clinic of Innovative Diagnostics “Medika”, Vladimir; assistant of professor of the Department of additional professional education of health professionals of the Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1792-2434>. E-mail: aliplast@mail.ru

Vladimir M. Emelyanenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, chief of the department of additional professional education of health professionals of the Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0909-1693>. E-mail: vla05@yandex.ru

Mihail A. Rachkov – radiologist of the CT office of the Clinic of Innovative Diagnostics “Medika”, Vladimir. <https://orcid.org/0000-0002-7674-8221>. E-mail: rachkoff@gmail.com

Lyudmila N. Kryukova – radiologist of the MRI office of the Clinic of Innovative Diagnostics “Medika”, Vladimir. <https://orcid.org/0000-0001-5128-5075>. E-mail: masha1ivanova@yandex.ru

Anna E. Baranova – radiologist of the MRI office of the Clinic of Innovative Diagnostics “Medika”, Vladimir. <https://orcid.org/0000-0002-2448-4885>. E-mail: annashik.baranova@mail.ru



Сопоставимость методик оценки коронарных рисков по данным ультра-НДКТ грудной клетки и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией

© Николаев А.Е.^{1*}, Коркунова О.А.¹, Хуторной И.В.², Пахомов П.В.², Гаврилов П.В.³, Петрайкин А.В.¹, Сучилова М.М.¹, Шапиев А.Н.^{4,5}, Дадакина И.С.⁶, Серебрякова И.В.⁷, Першина Е.С.⁸, Гомболевский В.А.¹, Морозов С.П.¹

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

² ФГБОУ ВО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”; 119192 Москва, Ломоносовский просп., 27, к. 1, Российская Федерация

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

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

⁵ Российская детская клиническая больница ФГАОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова” Минздрава России; 119571 Москва, Ленинский проспект, д. 117, Российская Федерация

⁶ ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация

⁷ ООО “ПЭТ-Технолоджи”, Москва; 121552 Москва, ул. Оршанская, д. 16, Российская Федерация

⁸ ГБУЗ города Москвы “ГКБ №1 имени Н.И. Пирогова Департамента здравоохранения города Москвы”; 119049 Москва, Ленинский просп., 8, Российская Федерация

Цель исследования: оценить сопоставимость показателей коронарного кальция по данным исследований ультранизкодозной компьютерной томографии (ультра-НДКТ) без ЭКГ-синхронизации и: а) бесконтрастной КТ с ЭКГ-синхронизацией, б) КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией.

Материал и методы. В исследование вошло 283 исследования, состоящие из 68 парных исследований, выполненных за одно посещение, бесконтрастной ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и бесконтрастной КТ с ЭКГ-синхронизацией, а также исследований 49 пациентов с наличием бесконтрастной ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации, бесконтрастной КТ с ЭКГ-синхронизацией и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией и внутривенным введением контрастного препарата, выполненные за одно посещение, удовлетворяющие всем критериям включения и исключения из исследования.

Количественные показатели коронарного кальция рассчитывались по индексу Агатстона, а также с использованием шкалы CAC-DRS (оценка степени кальцификации по баллам от 0 до 3 и количества пораженных артерий от 0 до 4 баллов). Степень стеноза коронарных артерий анализировалась с использованием шкалы CAD-RADS (0-5).

Производилось сравнение указанных выше показателей с использованием визуальной/количественной оценки коронарного кальция при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и показателей визуальной/количественной оценки при КТ с ЭКГ-синхронизацией, а также со степенью стеноза при КТ-коронарографии у одних и тех же пациентов.

Результаты. По результатам сравнения показателей точности определена возможность при интерпретации результатов ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации использовать количественную шкалу (индекс Агатстон, количественная шкала CAC-DRS) для оценки коронарного кальция в скрининге рака легкого в сравнении с КТ с ЭКГ-синхронизацией.

При составлении корреляционной матрицы для оценки взаимосвязи между визуальной, количественной шкалами оценки кальцификации коронарных артерий при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией в сравнении с КТ-коронарографией определяются очень сильные положительные статистически значимые корреляционные взаимосвязи.



Выводы. Методики оценки коронарного кальциноза по данным ультра-НДКТ грудной клетки и КТ с ЭКГ-синхронизацией сопоставимы, поэтому оценивать коронарный кальций в скрининге рака легкого по данным ультра-НДКТ возможно на достоверно высоком уровне как при помощи количественной, так и визуальной шкалы CAC-DRS.

Ключевые слова: коронарный кальций, ультра-НДКТ, низкодозная компьютерная томография, скрининг рака легкого, CAD-RADS

Конфликт интересов: авторы заявляют, что предмет и содержание данного исследования не затрагивают конкурирующих интересов.

Финансирование: исследование не финансировалось какими-либо источниками.

Для цитирования: Николаев А.Е., Коркунова О.А., Хуторной И.В., Пахомов П.В., Гаврилов П.В., Петрайкин А.В., Сучилова М.М., Шапиев А.Н., Дадакина И.С., Серебрякова И.В., Першина Е.С., Гомболевский В.А., Морозов С.П. Сопоставимость методик оценки коронарных рисков по данным ультра-НДКТ грудной клетки и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 75–92. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1047>

Поступила в редакцию: 10.07.2021. **Принята к печати:** 28.10.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.

Comparability of coronary risk assessment methods with chest ultra-LDCT and CT coronography with ECG synchronization

© Aleksandr E. Nikolaev^{1*}, Olga A. Korkunova¹, Ivan V. Khutornoy², Pavel V. Pakhomov², Pavel V. Gavrilov³, Alexey V. Petraikin¹, Maria M. Suchilova¹, Arsen N. Shapiev^{4, 5}, Iya S. Dadakina⁶, Irina V. Serebryakova⁷, Ekaterina S. Pershina⁸, Viktor A. Gomboleviskij¹, Sergey P. Morozov¹

¹ State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Health Care Department"; 24-1, Petrovka str., Moscow, 127051, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University; 27-1, Lomonosovskiy prospekt, Moscow, 119192, Russian Federation

³ Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2-4, Ligovsky prospekt, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

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

⁵ Russian Children's Clinical Hospital of Russian National Research Medical University; 117, Leninsky prospekt, Moscow, 119571, Russian Federation

⁶ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russian Federation

⁷ PET Technology; 16, Orshanskaya str., Moscow, 121552, Russian Federation

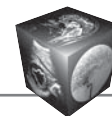
⁸ N.I. Pirogov First City Clinical Hospital (City Hospital No1); 8, Leninsky prospekt, Moscow, 119049, Russian Federation

Purpose. To assess the comparability of coronary calcium values measured on ultralow-dose computed tomography studies without ECG-synchronization versus a) non-contrast computed tomography with ECG synchronization, b) CT coronography with ECG synchronization.

Materials and methods. The study comprised 283 studies: 68 patients who underwent contrast-free ultra-LDCT without ECG synchronization and contrast-free CT with ECG synchronization performed in a single visit, and 49 patients with contrast-free ultra-LDCT without ECG synchronization, non-contrast CT with ECG synchronization, and CT coronography with ECG synchronization and intravenous injection of contrast agent, also carried out in one visit, meeting all inclusion and exclusion criteria of the study.

Quantitative coronary calcium values were calculated with the Agatston score and the CAC-DRS scale (score of calcification degree from 0 to 3 and the number of affected arteries from 0 to 4 points). The degree of coronary artery stenosis was analyzed with CAD-RADS scale (0-5).

The above parameters were compared using visual/quantitative assessment of coronary calcium on ultra-LDCT without ECG synchronization and visual/quantitative assessment for CT with ECG synchronization, as well as the degree of stenosis on CT coronography in the same patients.



Results. Based on the results of accuracy indices comparison, the possibility to use quantitative scale (Agatston score, CAC-DRS quantitative scale) to assess coronary calcification in the lung cancer screening in comparison with ECG-synchronized CT was determined during interpretation of ultra-LDCT without ECG synchronization. The correlation matrix to assess correlation between visual, quantitative scales of coronary artery changes and calcification at ultra-LDCT without ECG synchronization and quantitative scale at CT with ECG synchronization vs. CT coronagraphy identifies very strong positive statistically significant correlations.

Conclusion. Methods of coronary calcinosis assessment with chest ultra-LDCT and CT with ECG synchronization are comparable, therefore it is possible to assess coronary calcium in lung cancer screening by ultra-LDCT data at a reliable-high level using both quantitative and visual CAC-DRS scales.

Keywords: coronary calcium, ultra-LDCT, low-dose CT, lung cancer screening, CAD-RADS

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Funding: The study was not funded by any source.

For citation: Comparability of coronary risk assessment methods with chest ultra-LDCT and CT coronagraphy with ECG synchronization Nikolaev A.E., Korkunova O.A., Khutornoy I.V., Pakhomov P.V., Gavrilo P.V., Petraikin A.V., Suchilova M.M., Shapiey A.N., Dadakina I.S., Serebryakova I.V., Pershina E.S., Gombolevskij V.A., Morozov S.P. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 75–92. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1047>

Received: 10.07.2021.

Accepted for publication: 28.10.2021.

Published online: 29.12.2021.

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания отличаются клинической, демографической и социально-экономической значимостью [1]. Одним из известных предикторов ишемической болезни сердца (ИБС) является выраженность коронарного кальциноза. Взаимосвязь между уровнем коронарного кальция и развитием острых состояний – осложнений сердечно-сосудистых заболеваний – показана в нескольких международных популяционных исследованиях [2]. Развитие методов скрининга является актуальной мультидисциплинарной задачей. Для оценки сердечно-сосудистых рисков используются различные шкалы (CAC-DRS, CAD-RADS), и дискуссия об их эффективности и универсальности ведется очень активно [2–4]. По данным бесконтрастной КТ органов грудной клетки возможно оценивать такое изменение коронарных артерий, как их кальцификацию [5].

В последнее время МСКТ сердца все шире применяется в кардиологической практике и как следствие проблема оценки стеноза коронарных артерий при помощи методов лучевой диагностики все больше изучается и отечественными специалистами [6, 7]. В ряде исследований продемонстрирована прямая взаимосвязь выявляемости коронарного кальция со смертностью от ИБС в популяции [8, 9].

Для стратификации изменений, выявленных по данным низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) органов грудной клетки, компьютерной томографии (КТ) грудной клетки без ЭКГ-синхронизации или КТ с ЭКГ-синхронизацией, на данном этапе широко используется шкала CAC-DRS, разработанная и рекомендованная к использованию в клинической практике обществами SCCT

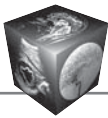
(Society of Cardiovascular Computed Tomography) и STR (Society of Thoracic Radiology) [10, 11].

Для КТ-коронарографии в 2016 г. группой авторов была разработана система оценки КТ-коронарографии под названием Coronary Artery Disease Reporting and Data System (CAD-RADS), которая была разработана Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), American College of Radiology (ACR) и North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI) [12].

Ультранизкодозная компьютерная томография (ультра-НДКТ) для скрининга рака легкого с 2020 г. рекомендована Европейским обществом рентгенологов и Европейским респираторным обществом при дозе лучевой нагрузки менее 1 мЗв [13]. В России доза лучевой нагрузки ограничена 1 мЗв для профилактических рентгеновских исследований [14]. Поэтому с 2017 по 2020 г. под руководством ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ” в Москве реализован пилотный проект по скринингу рака легкого с использованием ультра-НДКТ [15]. В доступной литературе не обнаружено исследований, которые сравнивают количественные показатели коронарного кальция по данным ультра-НДКТ с “золотым стандартом”, в связи с этим возникает вопрос о возможности применения шкалы CAC-DRS для стратификации изменений, выявленных по данным ультра-НДКТ, а также сопоставимы ли выявленные риски с данными КТ-коронарографии.

Цель исследования

1. Оценить сопоставимость показателей коронарного кальция по данным бесконтрастной КТ с ЭКГ-синхронизацией и ультра-НДКТ грудной клетки без ЭКГ-синхронизации.



2. Оценить сопоставимость шкал стратификации по данным КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией и ультра-НДКТ грудной клетки без ЭКГ-синхронизации.

Материал и методы

Дизайн исследования: аналитическое проспективное поперечное исследование.

Исследование согласовано с Независимым этическим комитетом Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов (протокол №3/2020 от 23 июля 2020 г.).

Отбор пациентов: все пациенты на базе Городской клинической больницы №1 имени Н.И. Пирогова ДЗМ, МНОЦ МГУ имени М.В. Ломоносова, ГКБ №71 ДЗМ, направленные на КТ-коронарографию с 1 марта 2020 г.

Объем выборки:

1) 68 пациентов с наличием бесконтрастной ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации, бесконтрастной КТ с ЭКГ-синхронизацией.

2) 49 пациентов с наличием бесконтрастной ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации, бесконтрастной КТ с ЭКГ-синхронизацией и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией и внутривенным введением контрастного препарата.

Критерии включения в исследования:

- пациент имеет направление от лечащего врача на проведение КТ-коронарографии;
- возраст пациента от 50 лет до 75 лет; курение более 20 пачек/лет;
- значение частоты сердечных сокращений (ЧСС) у пациента непосредственно перед исследованием ≤ 80 в минуту;
- отсутствуют противопоказания к внутривенному введению контрастного препарата.

Критерии исключения из исследования:

- беременные или кормящие женщины;
- почечная недостаточность (кроме пациентов на диализе);
- тяжелая и/или анафилактическая реакция на введение йодсодержащего контрастного вещества в анамнезе;
- неспособность пациента адекватно задерживать дыхание.

Условия досрочного выбывания пациентов из исследования:

- отказ пациента от участия в исследовании;
- возникновение аллергических реакции на йодсодержащий контрастный препарат при проведении КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией;

• обнаружение артефактов, затрудняющих интерпретацию изображений.

- $p = 0,05$
- Желаемая мощность 80%
- Стандартное отклонение $\sigma = 100$ (индекс Агатстона).
- Минимальное клинически значимое расхождение – 50 (индекс Агатстона).

Статистическая обработка

При проведении статистического анализа использовали валидные данные, восстановление пропущенных значений не проводилось.

Для представления категориальных переменных использовали объединенные столбчатые диаграммы с указанием процентных долей каждой из категорий.

При проведении корреляционного анализа использовали непараметрические коэффициенты корреляции Спирмена и tau-b Кендалла с указанием значения коэффициента и точного значения p . Результаты визуализировались с помощью корреляционных матриц.

Сравнение в связанных группах проводилось с помощью критерия Вилкоксона с указанием точного значения p , нулевая гипотеза отвергалась при точной двусторонней значимости $< 0,05$.

Сбор данных реализован с помощью Microsoft Office, статистическая обработка реализована с помощью программного пакета Jamovi (v.1.6.21.).

Протоколы сканирования и оборудование

Исследования проводились на 3 компьютерных томографах (Toshiba Aquilion 64, Canon Medical Systems, Япония; Philips iCT 256, США; Somatom Drive 2x128, Siemens, Германия). Исследования были выполнены по ультра-НДКТ-протоколам в скрининге рака легкого [16] и согласно рекомендациям по проведению КТ-коронарографии [17].

Пациентам проводились КТ-коронарография и ультра-НДКТ органов грудной клетки за 1 посещение. Доза лучевой нагрузки во время этого исследования ультра-НДКТ не превышала 1 мЗв, что соответствует требованиям СанПиН 2.6.1.1192–03 для проведения профилактических медицинских рентгенологических процедур и научных исследований.

Во время КТ-коронарографии пациенту внутривенно вводили контрастный препарат йоверсол 350 объемом 100 мл. В каждом исследовании индекс коронарного кальция и стенозирование коронарных артерий по данным КТ-коронарографии

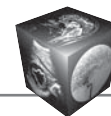


Рис. 1. Дизайн исследования.
Fig. 1. Study design.

с ЭКГ-синхронизацией были оценены 3 рентгенологами независимо друг от друга. Схема исследования представлена на рис. 1.

Перед началом исследования нами были выдвинуты следующие гипотезы

Гипотеза №1

При использовании количественной шкалы выявленные риски коронарных событий по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации сопоставимы с выявленными рисками коронарных событий по данным КТ с ЭКГ синхронизацией.

Альтернативная гипотеза (H_a): при использовании количественной шкалы выявленные риски коронарных событий по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации не сопоставимы с выявленными рисками коронарных событий по данным КТ с ЭКГ синхронизацией.

Гипотеза №2

При использовании визуальной шкалы выявленные риски коронарных событий по данным

ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации сопоставимы с выявленными рисками коронарных событий по данным КТ с ЭКГ синхронизацией.

Альтернативная гипотеза (H_a): при использовании визуальной шкалы выявленные риски коронарных событий по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации не сопоставимы с выявленными рисками коронарных событий по данным КТ с ЭКГ синхронизацией.

Гипотеза №3

Выявленные риски коронарных событий по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации сопоставимы с выявленными рисками коронарных событий по данным КТ-коронарографии.

Альтернативная гипотеза (H_a): выявленные риски коронарных событий по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации не сопоставимы с выявленными рисками коронарных событий по данным КТ-коронарографии.

Для проверки гипотез выполнялись следующие сравнения, представленные в табл. 1–4.



Таблица 1. Сравнение показателей с использованием визуальной оценки коронарного кальция на ультра-НДКТ без ЭКГ синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией у одних и тех же пациентов

Table 1. Comparison of indices using visual assessment of coronary calcium on ultra-LDCT without ECG synchronization and CT with ECG synchronization in the same patients

Ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации	КТ с ЭКГ-синхронизацией
А – индекс Агатстона = 0 (CAC-DRS = 0) Б – индекс Агатстона = 1–100 (CAC-DRS = 1) В – индекс Агатстона = 101–300 (CAC-DRS = 2) Г – индекс Агатстона = 301+ (CAC-DRS = 3)	А – индекс Агатстона = 0 (CAC-DRS = 0) Б – индекс Агатстона = 1–100 (CAC-DRS = 1) В – индекс Агатстона = 101–300 (CAC-DRS=2) Г – индекс Агатстона = 301+ (CAC-DRS = 3)

Таблица 2. Сравнение показателей с использованием количественной оценки коронарного кальция на ультра-НДКТ без ЭКГ синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией у одних и тех же пациентов

Table 2. Comparison of indices using quantitative assessment of coronary calcium on ultra-LDCT without ECG synchronization and CT with ECG synchronization in the same patients

Ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации	КТ с ЭКГ-синхронизацией
А – индекс Агатстона = 0 (CAC-DRS = 0) Б – индекс Агатстона = 1–100 (CAC-DRS = 1) В – индекс Агатстона = 101–300 (CAC-DRS = 2) Г – индекс Агатстона = 301+ (CAC-DRS = 3)	А – индекс Агатстона = 0 Б – индекс Агатстона = 1–100 В – индекс Агатстона = 101–300 Г – индекс Агатстона = 301+

Таблица 3. Сравнение показателей с использованием визуальной оценки коронарного кальция на ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и количественной оценки для КТ с ЭКГ-синхронизацией у одних и тех же пациентов

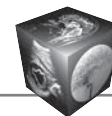
Table 3. Comparison of indices using visual assessment of coronary calcium on ultra-LDCT without ECG synchronization and quantitative assessment of coronary calcium on CT with ECG synchronization in the same patients

Ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации	КТ с ЭКГ-синхронизацией
А – индекс Агатстона = 0 (CAC-DRS = 0) Б – индекс Агатстона = 1–100 (CAC-DRS = 1) В – индекс Агатстона = 101–300 (CAC-DRS = 2) Г – индекс Агатстона = 301+ (CAC-DRS = 3)	А – индекс Агатстона = 0 (CAC-DRS = 0) Б – индекс Агатстона = 1–100 (CAC-DRS = 1) В – индекс Агатстона = 101–300 (CAC-DRS = 2) Г – индекс Агатстона = 301+ (CAC-DRS = 3)

Таблица 4. Сравнение показателей коронарного кальция на ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и степенью стеноза на КТ-коронарографии у одних и тех же пациентов

Table 4. Comparison of coronary calcium indices on ultra-LDCT without ECG synchronization and the degree of stenosis on CT coronography in the same patients

Ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации	КТ с ЭКГ-синхронизацией
А – индекс Агатстона = 0 (CAC-DRS = 0) Б – индекс Агатстона = 1–100 (CAC-DRS = 1) В – индекс Агатстона = 101–300 (CAC-DRS = 2) Г – индекс Агатстона = 301–1000 (CAC-DRS = 3) Д – индекс Агатстона = 1001+ (CAC-DRS = 3)	А – CAD-RADS 0 стеноз = 0% Б – CAD-RADS 1 стеноз = 1–24% В – CAD-RADS 2 стеноз = 25–49% Г – CAD-RADS 3 средний стеноз = 50–69 % Д – CAD-RADS 4–5 тяжелый стеноз 70–100%



Результаты

Согласно ранее выдвинутых гипотез нами был произведен сравнительный анализ изменений полученных данных с использованием визуальной и количественной шкал по данным ультра-НДКТ с количественной шкалой по данным КТ с ЭКГ-синхронизацией, а также показатели визуальной, количественной шкал по данным ультра-НДКТ и количественной шкалы по данным КТ с ЭКГ-

синхронизацией сравнивались с количественной шкалой по данным КТ-коронарографии, что представлено в табл. 5 и рис. 2 в виде распределения баллов ранговых шкал по частоте встречаемости с дальнейшим сравнением между друг другом, как по выраженности изменений артерий сердца, так и по количеству выявленных пораженных коронарных артерий при использовании разных методик.

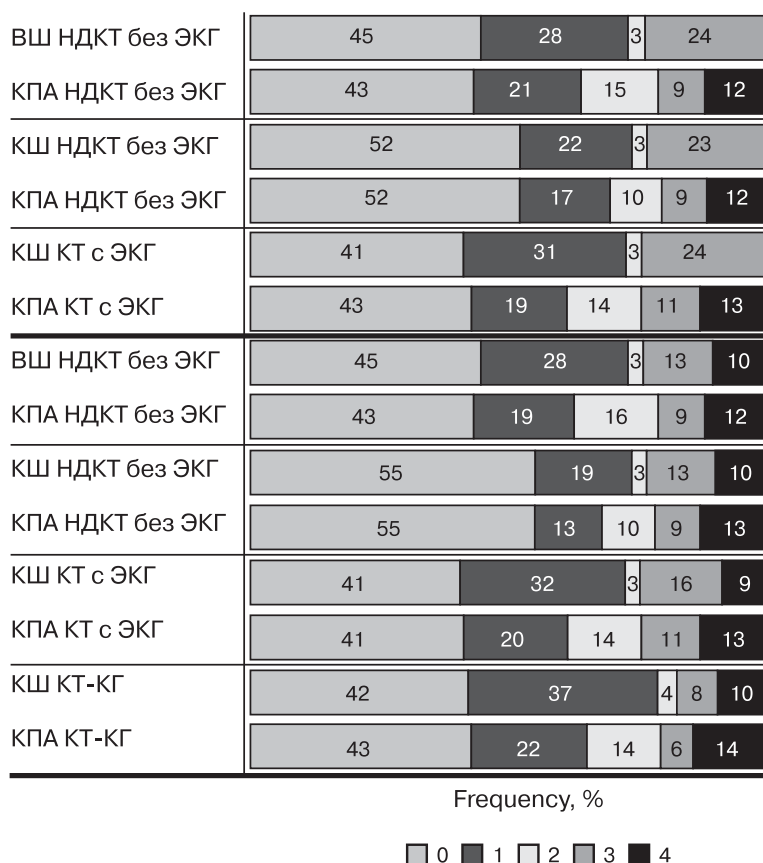


Рис. 2. Распределение баллов по частоте встречаемости.

Сравнения визуальной и количественной шкал по данным ультра-НДКТ с количественной шкалой по данным КТ с ЭКГ-синхронизацией (в первых 6 строках 1, 3 и 5 строки (баллы от 0 до 3)) и количества пораженных артерий (в первых 6 строках 2,4 и 6 строки (баллы от 0 до 4)).

Сравнения визуальной, количественной шкал по данным ультра-НДКТ, количественной шкалы по данным КТ с ЭКГ-синхронизацией с количественной шкалой по данным КТ-коронарографии (нижние 8 строк (баллы от 0 до 4)).

ВШ – визуальная шкала; КПА – количество пораженных артерий; КШ – количественная шкала; КПА – количество пораженных артерий; КТ-КГ – КТ-коронарография; КПА-количество пораженных артерий.

Fig. 2. Distribution of points by occurrence frequency.

Comparison of visual and quantitative scales according to ultra-LDCT WITH a quantitative scale based on cardiac-CT with ECG (in the first 6 lines 1, 3 and 5 lines (ranks from 0 to 3)) and the number of affected arteries (in the first 6 lines 2,4 and 6 lines (ranks from 0 to 4)). Comparison of visual, quantitative scales according to ultra-LDCT AND quantitative scale according to cardiac-CT with ECG WITH quantitative scale according to CT-coronarography (low 8 lines (ranks from 0 to 4)).

ВШ – visual scale; КПА – number of affected arteries; КШ – quantitative scale; КПА – number of affected arteries; КТ-КГ – CT coronary angiography with ECG; КПА – number of affected arteries.

**Таблица 5.** Сравнение ранговых переменных связанных выборок**Table 5.** Comparison of rank variables of related samples

Пара сравнения		Критерий	Статистика	p
КШ НДКТ без ЭКГ	КШ КТ с ЭКГ	Wilcoxon W	0,00	0,01¹
КПА НДКТ без ЭКГ	КПА КТ с ЭКГ		0,00	0,00²
ВШ НДКТ без ЭКГ	КШ КТ с ЭКГ		0,00	0,35
КПА НДКТ без ЭКГ	КПА КТ с ЭКГ		4,00	0,07
КШ НДКТ без ЭКГ	КШ КТ-КГ		56,00	0,51
КПА НДКТ без ЭКГ	КПА КТ-КГ		15,50	0,01³
КШ КТ с ЭКГ	КШ КТ-КГ		32,50	0,04⁴
КПА КТ с ЭКГ	КПА КТ-КГ		0,00	NaN
ВШ НДКТ без ЭКГ	КШ КТ-КГ		28,00	0,15
КПА НДКТ без ЭКГ	КПА КТ-КГ		0,00	0,06

Примечание. ВШ – визуальная шкала, КШ – количественная шкала, КПА – количество пораженных артерий, КТ – компьютерная томография, НДКТ – низкодозная КТ, КТ-КГ – КТ-коронарография.

1. Общее сравнение шкал при интерпретации бесконтрастных (ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации) изображений и КТ-коронарографии с ЭКГ-синхронизацией

1а. Ниже представлена корреляционная матрица для оценки взаимосвязи между визуальной, количественной шкалами изменений и кальцификации коронарных артерий при НДКТ без ЭКГ и количественной шкалы при КТ с ЭКГ-синхронизацией против КТ-коронарографии (статистические материалы: табл. 6, график 1).

При составлении корреляционной матрицы для оценки взаимосвязи между визуальной, количественной шкалами изменений и кальцификации коронарных артерий при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и количественной шкалы при КТ с ЭКГ-синхронизацией против КТ-коронарографии определяются очень сильные положительные статистически значимые корреляционные взаимосвязи.

1б. Ниже представлена корреляционная матрица для оценки взаимосвязи между количеством пораженных коронарных артерий при ультра-НДКТ без ЭКГ (как визуальная, так и количественная шкалы) и количественной шкалы при КТ с ЭКГ синхронизацией в сравнении с КТ-коронарографии. (статистические материалы: табл. 7, график 2).

При составлении корреляционной матрицы для оценки взаимосвязи между количеством пораженных артерий при визуальном подсчете при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации против КТ с ЭКГ-синхронизацией против КТ коронарографии с ЭКГ-синхронизацией определяются очень силь-

ные положительные статистически значимые корреляционные взаимосвязи.

2. По результатам сравнения показателей точности была определена возможность при интерпретации ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации использовать количественную шкалу (индекс Агатстона, количественная шкала CAC-DRS) для оценки коронарного кальция в скрининге рака легкого в сравнении с КТ с ЭКГ-синхронизацией.

2а. Ниже представлена корреляционная матрица оценки взаимосвязи индекса Агатстона, определяемого по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации в сравнении с КТ с ЭКГ-синхронизацией, на которой определяется очень сильная положительная статистически значимая корреляционная взаимосвязь (Spearman's rho=0,930 p-value <0,001; Kendall's Tau B = 0,859 p-value <0,001) (статистические материалы: табл. 8, График 3).

2б. Сравнение показателей с использованием количественной оценки коронарного кальция при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией у одних и тех же пациентов (статистические материалы: табл. 9, График 4).

При составлении корреляционной матрицы для сравнения данных оценки по количественной шкале изменений коронарных артерий при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации против КТ с ЭКГ-синхронизацией определяется очень сильная положительная статистически значимая корреляционная взаимосвязь (Spearman's rho = 0,974 p-value <0,001; Kendall's Tau B = 0,969 p-value <0,001).

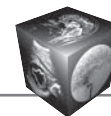


Таблица 6. Корреляционная матрица для оценки взаимосвязи между визуальной, количественной шкалами изменений и кальцификации коронарных артерий при НДКТ без ЭКГ и количественной шкалы при КТ с ЭКГ-синхронизацией и КТ-коронарографии

Table 6. Correlation matrix to assess the relationship between visual, quantitative scales of changes and coronary artery calcification in LDCT without ECG synchronization and quantitative scales in CT with ECG synchronization and CT coronaryography

		ВШ SAC-DRS V (ультра-НДКТ без ЭКГ)	КШ SAC-DRS A (КТ с ЭКГ)	КШ SAC-DRS A (ультра-НДКТ без ЭКГ)
КШ SAC-DRS A (КТ с ЭКГ)	Коэффициент корреляции Спирмена	0,973	–	
	p-value	<0,001	–	
	Показатель Тау-b Кендалла	0,965	–	
КШ SAC-DRS A (ультра-НДКТ без ЭКГ)	p-value	<0,001	0,906	***
	Коэффициент корреляции Спирмена	0,927	<0,001	–
	p-value	<0,001	0,887	***
КШ CAD-RADS (КТ-коронаро- графия)	Показатель Тау-b Кендалла	0,914	<0,001	–
	p-value	<0,001	0,985	***
	Коэффициент корреляции Спирмена	0,950	<0,001	<0,001
	p-value	<0,001	0,959	0,821
	Показатель Тау-b Кендалла	0,926	<0,001	<0,001
	p-value	<0,001	<0,001	<0,001

Note. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Здесь и в табл. 7–10: Показатель Тау-b Кендалла – это непараметрическая мера корреляции для порядковых или ранговых переменных, которая учитывает возможные совпадения значений. Коэффициент корреляции Спирмена – это мера линейной связи между случайными величинами, используемая для оценки силы связи между ранговыми показателями.

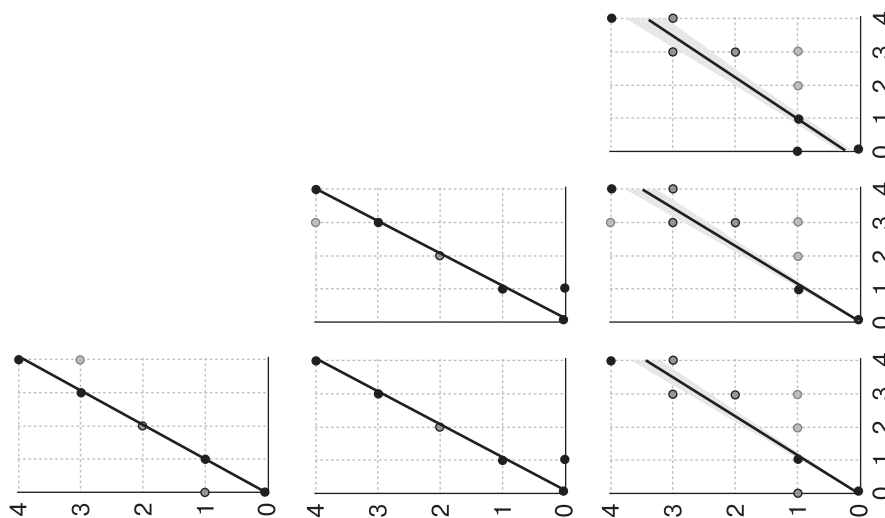


График 1. Корреляционная матрица для оценки взаимосвязи между визуальной, количественной шкалами изменений и кальцификации коронарных артерий при НДКТ без ЭКГ и количественной шкалы при КТ с ЭКГ-синхронизацией и КТ-коронарографии.

Diagram 1. Correlation matrix to assess the relationship between visual, quantitative scales of changes and coronary artery calcification in LDCT without ECG synchronization and quantitative scales in CT with ECG synchronization and CT coronaryography.



Таблица 7. Корреляционная матрица для оценки взаимосвязи между количеством пораженных коронарных артерий при оценке ультра-НДКТ без ЭКГ (как визуальная, так и количественная шкалы) и КТ с ЭКГ-синхронизацией в сравнении с КТ-коронарографией

Table 7. Correlation matrix to assess the relationship between the number of coronary artery lesions in ultra-LDCT without ECG (both visual and quantitative scales) and quantitative scales indices for CT with ECG synchronization versus CT coronaryography

	КПА ВШ (ультра-НДКТ без ЭКГ) (3)		КПА КШ (ультра-НДКТ без ЭКГ) (4)		КПА КШ (КТ с ЭКГ) (3)	
КПА ВШ (ультра-НДКТ без ЭКГ) (4)	Коэффициент корреляции Спирмена	0,894	***	–		
	p-value	<0,001				
	Показатель Tau-b Кендалла	0,860	***	–		
	p-value	<0,001		–		
КПА КШ (КТ с ЭКГ) (3)	Коэффициент корреляции Спирмена	0,985	***	0,886	***	–
	p-value	<0,001		<0,001		–
	Показатель Tau-b Кендалла	0,969	***	0,837	***	–
	p-value	<0,001		<0,001		–
КПА КШ (КТ КГ)	Коэффициент корреляции Спирмена	0,979	***	0,838	***	1,000
	p-value	<0,001		<0,001		<0,001
	Показатель Tau-b Кендалла	0,960	***	0,782	***	1,000
	p-value	<0,001		<0,001		<0,001

Note. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

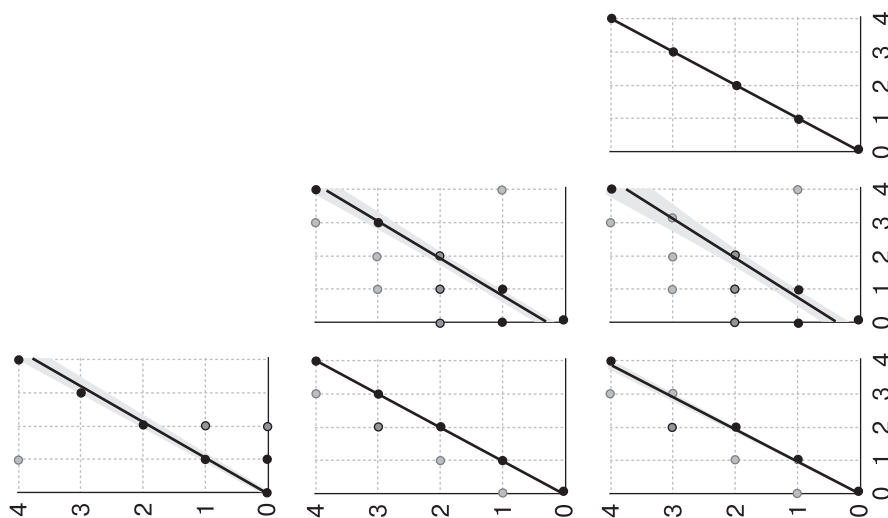


График 2. Корреляционная матрица для оценки взаимосвязи между количеством пораженных коронарных артерий при оценке ультра-НДКТ без ЭКГ (как визуальная, так и количественная шкалы) и КТ с ЭКГ-синхронизацией в сравнении с КТ-коронарографией.

Diagram 2. Correlation matrix to assess the relationship between the number of coronary artery lesions in ultra-LDCT without ECG (both visual and quantitative scales) and quantitative scales indices for CT with ECG synchronization versus CT coronaryography.

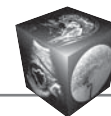


Таблица 8. Корреляционная матрица оценки взаимосвязи индекса Агатстона, определяемого по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации в сравнении с КТ с ЭКГ-синхронизацией

Table 8. Correlation matrix assessing the correlation of Agatston score index determined with ultra-LDCT without ECG synchronization versus CT with ECG synchronization

Индекс Агатстон на КТ с ЭКГ-синхронизацией	Индекс Агатстон на НДКТ без ЭКГ		
	Коэффициент корреляции Спирмена	0,930	
	p-value	<0,001	
	Показатель Tau-b Кендалла	0,859	
	p-value	<0,001	

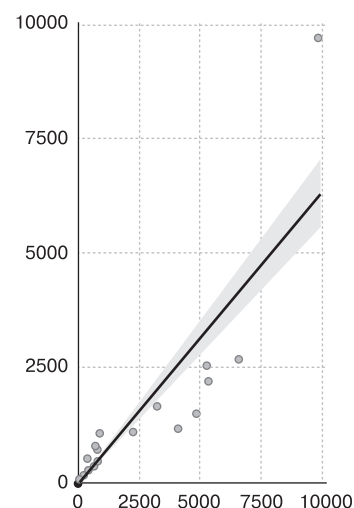


График 3. Корреляционная матрица оценки взаимосвязи индекса Агатстона, определяемого по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации в сравнении с КТ с ЭКГ-синхронизацией.

Diagram 3. Correlation matrix assessing the correlation of Agatston score index determined with ultra-LDCT without ECG synchronization versus CT with ECG synchronization.

Таблица 9. Сравнение показателей с использованием количественной оценки коронарного кальция при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией у одних и тех же пациентов

Table 9. Comparison of coronary calcium quantification indices on ultra-LDCT without ECG synchronization and CT with ECG synchronization in the same patients

КШ CAC-DRS A (КТ с ЭКГ)	КШ CAC-DRS A (ультра-НДКТ без ЭКГ)		
	Коэффициент корреляции Спирмена	0,974	***
	p-value	<0,001	
	Показатель Tau-b Кендалла	0,969	***
	p-value	<0,001	

Note. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

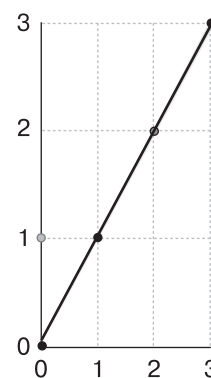


График 4. Сравнение показателей с использованием количественной оценки коронарного кальция при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией у одних и тех же пациентов.

Diagram 4. Comparison of coronary calcium quantification indices on ultra-LDCT without ECG synchronization and CT with ECG synchronization in the same patients.



Таблица 10. Корреляционная матрица для оценки количества пораженных артерий при визуальном подсчете при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и при КТ с ЭКГ-синхронизацией

Table 10. Correlation matrix to estimate the number of affected arteries during visual assessment of ultra-LDCT without ECG synchronization and of CT with ECG synchronization

КПА (КТ с ЭКГ)	КПА (ультра-НДКТ без ЭКГ)		
	Коэффициент корреляции Спирмена	0,982	***
	p-value	<0,001	
	Показатель Тау-b Кендалла	0,964	***
	p-value	<0,001	

Note. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

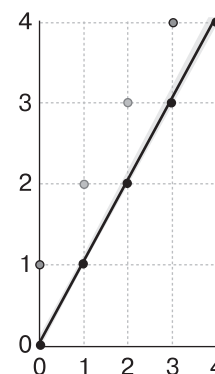


График 5. Корреляционная матрица для оценки количества пораженных артерий при визуальном подсчете при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и при КТ с ЭКГ-синхронизацией.

Diagram 5. Correlation matrix to estimate the number of affected arteries during visual assessment of ultra-LDCT without ECG synchronization and of CT with ECG synchronization.

2с. Корреляционная матрица для оценки количества пораженных артерий при визуальном подсчете при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и при КТ с ЭКГ-синхронизацией (статистические материалы: табл. 10, График 5).

При составлении корреляционной матрицы для сравнения количества пораженных артерий при количественном подсчете при использовании ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией определяется очень сильная положительная статистически значимая корреляционная взаимосвязь (Spearman's rho = 0,982 p-value <0,001; Kendall's Tau B = 0,964 p-value <0,001).

Обсуждение

Кальциноз коронарных артерий – наиболее часто встречаемая находка в скрининге рака легкого с частотой встречаемости от 26 до 93% [18–21]. В нашем исследовании были отобраны пациенты, удовлетворяющие критериям включения в скрининг рака легкого (возраст пациента от 50 до 75 лет; курение более 20 пачек/лет) со средним возрастом 61,9 года (мужчины 58%, женщины 42%). В целях создания максимально репрезентативной выборки исследователи не исключали пациентов с индексом Агатстона, равным 0, так как стеноз коронарных артерий может быть обусловлен не только кальцинированной, но и смешанной, и мягкой бляшкой. Исследований с 0 кальциевым индексом от общего количества был 41% (28/68) (см. рис. 2), что коррелирует с данными исследо-

ваний встречаемости коронарного кальция в популяции, изучаемой в рамках скрининга [4, 18, 20].

При сравнении индекса Агатстона по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией определяется сильная положительная статистически значимая корреляционная взаимосвязь, что представлено в табл. 8 и на рис. 5, тем не менее данная количественная оценка по индексу Агатстона имеет менее сильную взаимосвязь, чем при сравнении данных ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией с использованием количественной шкалы CAC-DRS. Вариабельность индекса Агатстона по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации в сравнении с КТ с ЭКГ-синхронизацией обусловлена высоким уровнем шума (рис. 3), что в свою очередь приводит к высоким значениям абсолютной ошибки. Тем не менее данный факт возможно исправить при использования поправочных коэффициентов для каждого фактора кальцификации [22]. В табл. 6 и на графике 3 продемонстрированы данные сопоставимости количественной шкалы CAC-DRS для ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и КТ с ЭКГ-синхронизацией, которые имеют большую статистически значимую корреляционную взаимосвязь в сравнении с оценкой по данным шкалы Агатстона так, как CAC-DRS является ранговой шкалой.

Несмотря на то что при ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации высокий уровень шума при сравнении сопоставимости визуальной шкалы, исполь-

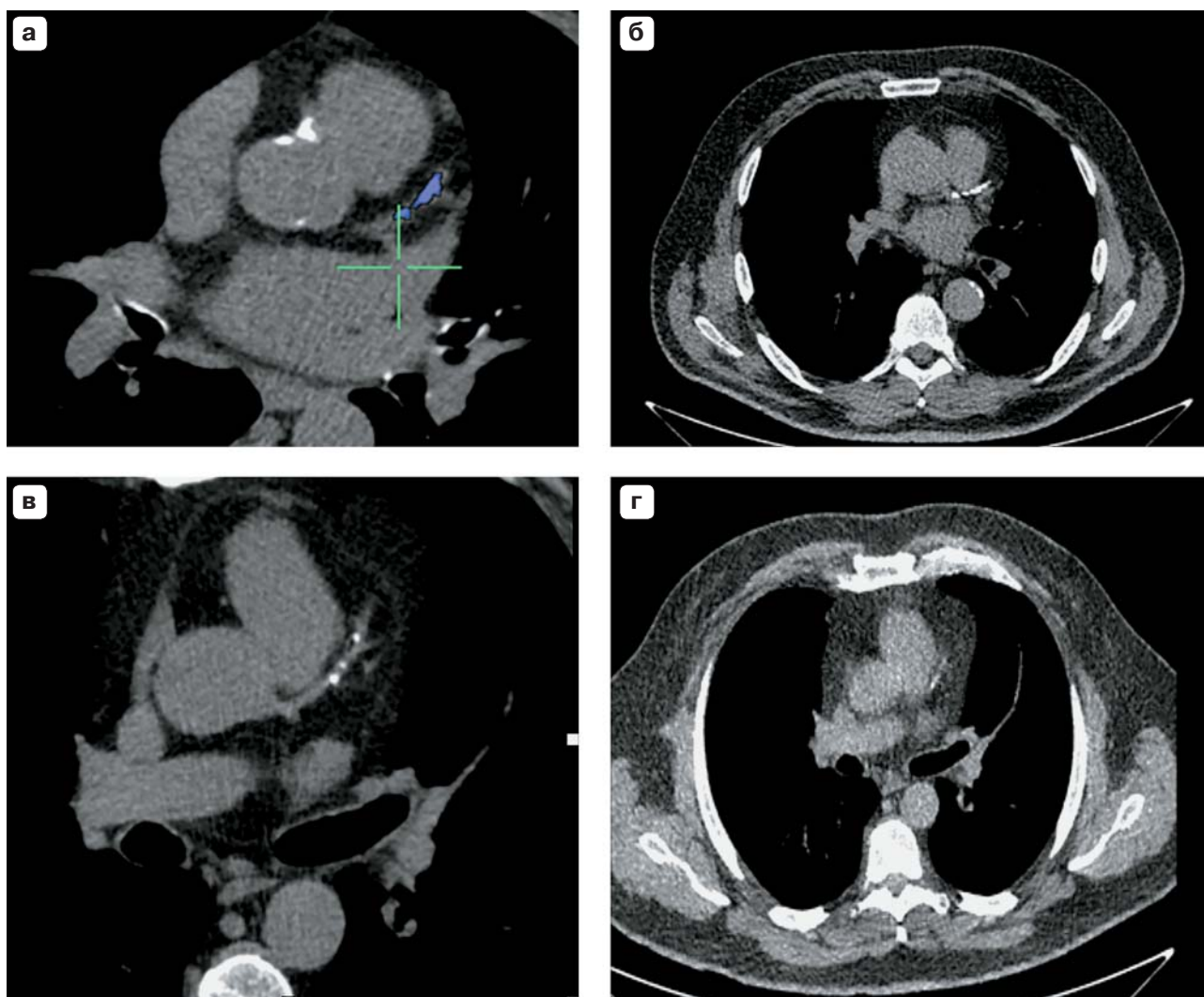
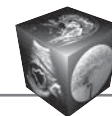
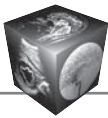


Рис. 3 (а–г). При КТ с ЭКГ-синхронизацией и ультра-НДКТ изображениях (а, б), выполненных с целью оценки коронарного кальция и скрининга рака легкого, соответственно, визуализируется выраженная кальцинация левой передней нисходящей артерии >300 по индексу Агатстона. Так как поражена только одна артерия, но с высокими индексами Агатстона, то по CAC-DRS данному пациенту присваивается CAC-DRS A3/N1, как по данным КТ с ЭКГ-синхронизацией, так и по ультра-НДКТ. На КТ с ЭКГ-синхронизацией и ультра-НДКТ изображениях (в, г), выполненных с целью оценки коронарного кальция и скрининга рака легкого соответственно, визуализируется мягкая кальцинация левой передней нисходящей артерии <100 по индексу Агатстона (CAC-DRS A1/N1).

Fig. 3 (a–g). Cardiac CT with ECG and ultra-LDCT (а, б) performed to assess coronary calcium and lung nodules in cancer screening. On both CT visualize severe calcification of the left anterior descending artery (Agatston >300). Only one artery is affected, but with high Agatston score, according to CAC-DRS is assigned A3/N1 for this patient, both according to CT with ECG synchronization and ultra-LDCT. Soft calcification of the left anterior descending artery (CAC-DRS A1/N1, Agatston <100) visualize on cardiac CT with ECG and ultra-LDCT (в, г) from lung cancer screening.

зованных при оценке ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации в сравнении количественной шкалы по данным КТ с ЭКГ-синхронизацией отмечается очень сильная положительная статистически значимая корреляционная взаимосвязь. Исходя из этого представляется возможным оценивать изображения из скрининга рака легкого на предмет коронарного кальциноза на достоверном

уровне, что продемонстрировано в табл. 8 и графике 5. Использование визуальной шкалы для оценки коронарного кальция особенно актуально у исследуемых с выраженным уровнем шума, что, например, может быть обусловлено высоким индексом массы тела, что снижает чувствительность к оконтуриванию при автоматических и полуавтоматических методиках подсчета.



По результатам сопоставления показателей количественной шкалы CAC-DRS для ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации и степени стеноза по шкале CAD-RADS при КТ-коронарографии в последнем сравнении была определена взаимосвязь показателя ранка коронарного кальция по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации со степенью стеноза по данным КТ-коронарографии, которая продемонстрирована в табл. 6, 7 и на графиках 3, 4. В нашей выборке исследований даже в исследованиях КТ с ЭКГ-синхронизацией с нулевым коронарным кальцием не было выявлено исследований с необструктивным (25–49%) стенозом по КТ-коронарографии. В 3 (6,12%) из 49 исследований ранковая стратификация по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации была выше, чем по данным КТ-коронарографии на 1 пункт. В сопоставлении использования визуальной и количественной шкал, стратифицирующих коронарные риски по данным ультра-НДКТ без ЭКГ-синхронизации, в сравнении с рисками, оцененными по данным КТ-коронарографии, определяются очень сильные положительные статистически значимые корреляционные взаимосвязи (см. табл. 6 и график 3).

По данным большого ретроспективного исследования, оценка содержания кальция в коронарных артериях (CAC) как характеристика бляшек надежнее предсказывает будущий риск сердечно-сосудистых событий у пациентов с подозрением на ИБС, чем наличие сужения просвета сосудов. Риск сердечно-сосудистых заболеваний возрастает вместе с увеличением количества и объема бляшек независимо от того, было ли выявлено с помощью КТ-коронарографии сужение в какой-либо коронарной артерии на 50% или более [23]. При оценке показателя кальциевого индекса возможно дальнейшее реклассифицирование бессимптомных пациентов на категории с низким и высоким риском развития ИБС и сердечно-сосудистых заболеваний, несмотря на наличие факторов риска [24].

Согласно данным ретроспективного исследования, самым оптимальным методом по оценке коронарного кальциноза при НДКТ без ЭКГ-синхронизации является артерии-ассоциированный метод, заключающийся в оценке каждой артерии по баллам 0–3 (0 – нет кальциноза, 1 – слабый, 2 – умеренный, 3 – выраженный кальциноз), затем баллы суммируют и оценивают по 4 категориям: 0, 1–3, 4–6 и 7–12 баллов. При данном методе точность выше, чем при оценке сразу всех артерий, а также время оценки уменьшается по сравнению с использованием сегмент-ассоциированного метода [25]. Повышение скорости оценки количе-

ственного показателя коронарного кальция можно достичь путем применения в практике алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ). Однако будущие алгоритмы должны сигнализировать о высоком уровне шума при ультра-НДКТ и о необходимости в данном случае использовать для оценки визуальную шкалу, что позволит снизить количество ложноотрицательных результатов ИИ [26].

Выводы

1. Методики оценки коронарного кальциноза по данным ультра-НДКТ грудной клетки и КТ с ЭКГ-синхронизацией сопоставимы, поэтому оценивать коронарный кальций в скрининге рака легкого по данным ультра-НДКТ возможно на достоверно высоком уровне как при помощи количественной, так и визуальной шкалы CAC-DRS.

2. С учетом отсутствия большого количества ложноотрицательных результатов при сравнении ультра-НДКТ с контрастной КТ-коронарографией и выявленной сильной положительной статистически значимой корреляции при сравнении ультра-НДКТ с КТ с ЭКГ-синхронизацией надеемся на широкое использование шкал оценок CAC-DRS в московском скрининге рака легкого.

Дополнительные сведения

Источник финансирования. Исследование и публикация статьи осуществлены на личные средства авторского коллектива.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность Ростовцеву Михаилу Владиславовичу, Глаголеву Владимиру Эстеновичу, а также коллективам отделений лучевой диагностики медицинских организаций Департамента здравоохранения Москвы.

Участие авторов

Николаев А.Е. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Коркунова О.А. – сбор и обработка данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Хуторной И.В. – статистическая обработка данных.

Пахомов П.В. – сбор и обработка данных.

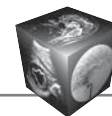
Гаврилов П.В. – участие в научном дизайне.

Петрайкин А.В. – участие в научном дизайне.

Сучилова М.М. – подготовка и редактирование текста.

Шапиев А.Н. – сбор данных, создание опубликованной работы.

Дадакина И.С. – сбор и обработка данных.



Серебрякова И.В. – участие в научном дизайне.

Першина Е.С. – участие в научном дизайне.

Гомболевский В.А. – утверждение окончательного варианта статьи.

Морозов С.П. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Nikolaev A.E. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

Khutornoy I.V. – statistical analysis.

Pakhomov P.V. – collection and analysis of data.

Gavrilov P.V. – participation in scientific design.

Petravkin A.V. – participation in scientific design.

Suchilova M.M. – text preparation and editing.

Shapiev A.N. – collection of data and creation of the published work.

Dadakina I.S. – collection and analysis of data.

Serebryakova I.V. – participation in scientific design.

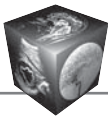
Pershin E.S. – participation in scientific design.

Gombolevskij V.A. – approval of the final version of the article.

Morozov S.P. – approval of the final version of the article.

Список литературы

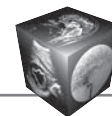
1. Чазова И.Е., Ощепкова Е.В. Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями: проблемы и пути их решения на современном этапе. *Вестник Росздравнадзора*. 2015; 5: 7–10.
2. Greenland P., Blaha M.J., Budoff M.J., Erbel R., Watson K.E. Coronary Calcium Score and Cardiovascular Risk. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 72 (4): 434–447. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.05.027>
3. Arcadi T., Maffei E., Sverzellati N., Mantini C., Guaricci A.I., Tedeschi C., Martini C., La Grutta L., Cademartiri F. Coronary artery calcium score on low-dose computed tomography for lung cancer screening. *Wld J. Radiol.* 2014; 6 (6): 381–387. <http://doi.org/10.4329/wjr.v6.i6.381>
4. Chiles C., Duan F., Gladish G.W., Ravenel J.G., Baginski S.G., Snyder B.S., DeMello S., Desjardins S.S., Munden R.F.; NLST Study Team. Association of Coronary Artery Calcification and Mortality in the National Lung Screening Trial: A Comparison of Three Scoring Methods. *Radiology*. 2015; 276 (1): 82–90. <http://doi.org/10.1148/radiol.15142062>
5. Azour L., Kadoch M.A., Ward T.J., Eber C.D., Jacobi A.H. Estimation of cardiovascular risk on routine chest CT: Ordinal coronary artery calcium scoring as an accurate predictor of Agatston score ranges. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2017; 11 (1): 8–15. <http://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.10.001>
6. Симоненко В.Б., Екимовских А.Ю., Долбин И.В. Кальциноз коронарных артерий – современное состояние проблемы. *Клиническая медицина*. 2013; 91 (4): 11–15.
7. Синицын В.Е., Терновой С.К. Роль КТ-ангиографии коронарных артерий с практической точки зрения: где мы находимся сегодня? *Креативная кардиология*. 2007; 1–2: 25–31.
8. Blair K.J., Allison M.A., Morgan C., et al. Comparison of ordinal versus Agatston coronary calcification scoring for cardiovascular disease mortality in community-living individuals. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2014; 30 (4): 813–818. <http://doi.org/10.1007/s10554-014-0392-1>
9. Hughes-Austin J.M., Dominguez A. 3rd, Allison M.A., Wassel C.L., Rifkin D.E., Morgan C.G., Daniels M.R., Ikram U., Knox J.B., Wright C.M., Criqui M.H., Ix J.H. Relationship of Coronary Calcium on Standard Chest CT Scans With Mortality. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016; 9 (2): 152–159. <http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.06.030>
10. Hecht H.S., Cronin P., Blaha M.J., Budoff M.J., Kazerooni E.A., Narula J., Yankelevitz D., Abbara S. 2016 SCCT/STR guidelines for coronary artery calcium scoring of noncontrast noncardiac chest CT scans: A report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography and Society of Thoracic Radiology [published correction appears in J Cardiovasc Comput Tomogr. 2017 Mar - Apr;11(2):170]. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2017; 11 (1): 74–84. <http://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.11.003>
11. Rumberger J.A., Brundage B.H., Rader D.J., Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons [published correction appears in Mayo Clin Proc 1999 May;74 (5): 538]. *Mayo Clin. Proc.* 1999; 74 (3): 243–252. <http://doi.org/10.4065/74.3.243>
12. Cury R.C., Abbara S., Achenbach S., Agatston A., Berman D.S., Budoff M.J., Dill K.E., Jacobs J.E., Maroules C.D., Rubin G.D., Rybicki F.J., Schoepf U.J., Shaw L.J., Stillman A.E., White C.S., Woodard P.K., Leipsic J.A. CAD-RADS™: coronary artery disease – reporting and data system: an expert consensus document of the society of cardiovascular computed tomography (SCCT), the american college of radiology (acr) and the north american society for cardiovascular imaging (NASCI). Endorsed by the American College of Cardiology. *J. Am. Coll. Radiol.* 2016; 13 (12 Pt A): 1458–1466.e9. <http://doi.org/10.1016/j.jacr.2016.04.024>
13. Kauczor H.U., Baird A.M., Blum T.G. et al. ESR/ERS statement paper on lung cancer screening. *Eur Radiol.* 2020; 30 (6): 3277–3294. <http://doi.org/10.1007/s00330-020-06727-7>
14. СанПиН 2.6.1.1192-03 “Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований”.
15. Морозов С.П., Гомболевский В.А., Владимирский А.В., Лайпан А.Ш., Кононец П.В., Древал П.А. Результаты первого года скрининга рака легкого с помощью низкодозной компьютерной томографии в Москве. *Вопросы онкологии*. 2019; 65 (2): 224–233.
16. Гомболевский В.А., Блохин И.А., Лайпан А.Ш. и др. Методические рекомендации по скринингу рака легкого / Серия “Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики”. Вып. 56. М.: ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”, 2020. 53 с.
17. Журавлев К.Н. КТ-коронарография. Серия “Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики”. Вып. 45. М.: ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”, 2020. 36 с.



18. Николаев А.Е., Гомболевский В.А., Гончар А.П., Шапиев А.Н., Лайпан А.Ш., Морозов С.П. Случайные находки при скрининге рака легкого методом низкодозной компьютерной томографии. *Туберкулез и болезни легких*. 2018; 96 (11): 60–67. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67>
19. van de Wiel J.C., Wang Y., Xu D.M., van der Zaag-Loonen H.J., van der Jagt E.J., van Klaveren R.J., Oudkerk M.; NELSON study group. Neglectable benefit of searching for incidental findings in the Dutch-Belgian lung cancer screening trial (NELSON) using low-dose multidetector CT. *Eur. Radiol.* 2007; 17 (6): 1474–1482. <http://doi.org/10.1007/s00330-006-0532-7>
20. Shemesh J., Henschke C.I., Farooqi A., Yip R., Yankelevitz D.F., Shaham D., Miettinen O.S. Frequency of coronary artery calcification on low-dose computed tomography screening for lung cancer. *Clin. Imaging*. 2006; 30 (3): 181–185. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2005.11.002>
21. Williams M.C., Abbas A., Tirr E., Alam S., Nicol E., Shambrook J., Schmitt M., Hughes G.M., Stirrup J., Holloway B., Gopalan D., Deshpande A., Weir-McCall J., Agrawal B., Rodrigues J.C.L., Brady A.J.B., Roditi G., Robinson G., Bull R. Reporting incidental coronary, aortic valve and cardiac calcification on non-gated thoracic computed tomography, a consensus statement from the BSCI/BSCCT and BSTI. *Br J Radiol.* 2021; 94 (1117): 20200894. <http://doi.org/10.1259/bjr.20200894>
22. Николаев А.Е., Коркунова О.А., Блохин И.А., Петрайкин А.В., Никифорова М.В., Гирько А.О., Дягилева Е.А., Сучилова М.М., Груздев И.С., Першина Е.С., Силин А.Ю., Гомболевский В.А., Морозов С.П. Плотность кальцификации при компьютерной томографии в зависимости от параметров сканирования: фантомное исследование. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (4): 119–132. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-119-132>
23. Mortensen M.B., Dzaye O., Steffensen F.H., Bøtker H.E., Jensen J.M., Rønnow Sand N.P., Kragholm K.H., Sørensen H.T., Leipsic J., Mæng M., Blaha M.J., Nørgaard B.L. Impact of Plaque Burden Versus Stenosis on Ischemic Events in Patients With Coronary Atherosclerosis. *J. Am. Col. Cardiol.* 2020; 76 (24): 2803–2813. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.10.021>
24. Hoffmann U., Massaro J.M., D'Agostino R.B. Sr., Kathiresan S., Fox C.S., O'Donnell C.J. Cardiovascular Event Prediction and Risk Reclassification by Coronary, Aortic, and Valvular Calcification in the Framingham Heart Study. *J. Am. Heart Assoc.* 2016; 5 (2): e003144. Published 2016 Feb 22. <http://doi.org/10.1161/JAHA.115.003144>
25. Suh Y.J., Lee J.W., Shin S.Y., Goo J.M., Kim Y., Yong H.S. Coronary artery calcium severity grading on non-ECG-gated low-dose chest computed tomography: a multiple-observer study in a nationwide lung cancer-screening registry. *Eur. Radiol.* 2020; 30 (7): 3684–3691. <http://doi.org/10.1007/s00330-020-06707-x>
26. Николаев А.Е., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Шапиев А.Н., Гончар А.П., Гомболевский В.А., Петрайкин А.В., Силин А.Ю., Петрова Г.Д., Морозов С.П. Перспективы использования комплексной компьютер-ассистированной диагностики в оценке структуры грудной клетки. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2019; 12: 91–99. <https://doi.org/10.17116/hirurgia201912191>

References

1. Chazova I.E., Oschepkova E.V. The fight against cardiovascular diseases: problems and solutions at the present stage. *Vestnik Roszdravnadzora*. 2015; 5: 7–10. (In Russian)
2. Greenland P., Blaha M.J., Budoff M.J., Erbel R., Watson K.E. Coronary Calcium Score and Cardiovascular Risk. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 72 (4): 434–447. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.05.027>
3. Arcadi T., Maffei E., Sverzellati N., Mantini C., Guaricci A.I., Tedeschi C., Martini C., La Grutta L., Cademartiri F. Coronary artery calcium score on low-dose computed tomography for lung cancer screening. *Wld J. Radiol.* 2014; 6 (6): 381–387. <http://doi.org/10.4329/wjr.v6.i6.381>
4. Chiles C., Duan F., Gladish G.W., Ravenel J.G., Baginski S.G., Snyder B.S., DeMello S., Desjardins S.S., Munden R.F.; NLST Study Team. Association of Coronary Artery Calcification and Mortality in the National Lung Screening Trial: A Comparison of Three Scoring Methods. *Radiology*. 2015; 276 (1): 82–90. <http://doi.org/10.1148/radiol.15142062>
5. Azour L., Kadoch M.A., Ward T.J., Eber C.D., Jacobi A.H. Estimation of cardiovascular risk on routine chest CT: Ordinal coronary artery calcium scoring as an accurate predictor of Agatston score ranges. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2017; 11 (1): 8–15. <http://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.10.001>
6. Simonenko V.B., Ekimovskikh A.Yu., Dolbin I.V. Coronary artery calcification – current state of the problem. *Clinical Medicine*. 2013; 91 (4): 11–15. (In Russian)
7. Sinitsyn V.E., Ternovoi S.K. The role of CT angiography of coronary arteries from a practical point of view: where are we today? *Creative Cardiology*. 2007; 1–2: 25–31. (In Russian)
8. Blair K.J., Allison M.A., Morgan C., et al. Comparison of ordinal versus Agatston coronary calcification scoring for cardiovascular disease mortality in community-living individuals. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2014; 30 (4): 813–818. <http://doi.org/10.1007/s10554-014-0392-1>
9. Hughes-Austin J.M., Dominguez A. 3rd, Allison M.A., Wassel C.L., Rifkin D.E., Morgan C.G., Daniels M.R., Ikram U., Knox J.B., Wright C.M., Criqui M.H., Ix J.H. Relationship of Coronary Calcium on Standard Chest CT Scans With Mortality. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016; 9(2): 152–159. <http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.06.030>
10. Hecht H.S., Cronin P., Blaha M.J., Budoff M.J., Kazerooni E.A., Narula J., Yankelevitz D., Abbata S. 2016 SCCT/STR guidelines for coronary artery calcium scoring of noncontrast noncardiac chest CT scans: A report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography and Society of Thoracic Radiology [published correction appears in J Cardiovasc Comput Tomogr. 2017 Mar - Apr;11(2):170]. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2017; 11 (1): 74–84. <http://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.11.003>
11. Rumberger J.A., Brundage B.H., Rader D.J., Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons [published correction appears in Mayo Clin Proc 1999 May;74 (5): 538]. *Mayo Clin. Proc.* 1999; 74 (3): 243–252. <http://doi.org/10.4065/74.3.243>
12. Cury R.C., Abbata S., Achenbach S., Agatston A., Berman D.S., Budoff M.J., Dill K.E., Jacobs J.E., Maroules C.D., Rubin G.D., Rybicki F.J., Schoepf U.J., Shaw L.J., Stillman A.E., White C.S., Woodard P.K.,



- Leipsic J.A. CAD-RADS™: coronary artery disease – reporting and data system: an expert consensus document of the society of cardiovascular computed tomography (SCCT), the american college of radiology (acr) and the north american society for cardiovascular imaging (NASCI). Endorsed by the American College of Cardiology. *J. Am. Coll. Radiol.* 2016; 13 (12 Pt A): 1458–1466.e9. <http://doi.org/10.1016/j.jacr.2016.04.024>
13. Kauczor H.U., Baird A.M., Blum T.G. et al. ESR/ERS statement paper on lung cancer screening. *Eur Radiol.* 2020; 30 (6): 3277–3294. <http://doi.org/10.1007/s00330-020-06727-7>
 14. SanPiN 2.6.1.1192-03 “Hygienic requirements for the appliance and operation of radiology units, devices and performing diagnostic studies”.
 15. Morozov S.P., Gombolevisky V.A., Vladzimirsky A.V., Laipan A.S., Kononets P.V., Dreval P.A. The results of the first year of lung cancer screening with low-dose computed tomography in Moscow. *Problems of oncology.* 2019; 65 (2): 224–233 (In Russian)
 16. Gombolevisky V.A., Blokhin V.A., Laypan A.S. et al. Instructional guidelines for lung cancer screening. Series “Best practices of imaging and instrumental diagnostics” Vol 56. Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, 2020. 53 p.
 17. Zhuravlev, K.N. CT coronary angiography / K.N. Zhuravlev // Series “Best practice in imaging and instrumental diagnostics. Vol. 45. Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, 2020. 36 p. (In Russian)
 18. Nikolaev A.E., Gomboleviskiy V.A., Gonchar A.P., Shapiey A.N., Laypan A.S., Morozov S.P. Incidental findings during lung cancer screening by low-dose computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2018; 96 (11): 60–67. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67> (In Russian)
 19. van de Wiel J.C., Wang Y., Xu D.M., van der Zaag-Loonen H.J., van der Jagt E.J., van Klaveren R.J., Oudkerk M.; NELSON study group. Neglectable benefit of searching for incidental findings in the Dutch-Belgian lung cancer screening trial (NELSON) using low-dose multidetector CT. *Eur. Radiol.* 2007; 17 (6): 1474–1482. <http://doi.org/10.1007/s00330-006-0532-7>
 20. Shemesh J., Henschke C.I., Farooqi A., Yip R., Yankelevitz D.F., Shaham D., Miettinen O.S. Frequency of coronary artery calcification on low-dose computed tomography screening for lung cancer. *Clin. Imaging.* 2006; 30 (3): 181–185. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2005.11.002>
 21. Williams M.C., Abbas A., Tirr E., Alam S., Nicol E., Shambrook J., Schmitt M., Hughes G.M., Stirrup J., Holloway B., Gopalan D., Deshpande A., Weir-McCall J., Agrawal B., Rodrigues J.C.L., Brady A.J.B., Roditi G., Robinson G., Bull R. Reporting incidental coronary, aortic valve and cardiac calcification on non-gated thoracic computed tomography, a consensus statement from the BSCI/BSCCT and BSTI. *Br J Radiol.* 2021; 94 (1117): 20200894. <http://doi.org/10.1259/bjr.20200894>
 22. Nikolaev A.E., Korkunova O.A., Blokhin I.A., Petraykin A.V., Nikiforova M.V., Gir'ko A.O., Dyagileva E.A., Suchilova M.M., Gruzdev I.S., Pershina E.S., Silin A.Yu., Gombolevisky V.A., Morozov S.P. Calcification density on computed tomography depending on scanning parameters: phantom study. *Medical Visualization.* 2020; 24 (4): 119–132. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-119-132>
 23. Mortensen M.B., Dzaye O., Steffensen F.H., Bøtker H.E., Jensen J.M., Rønnow Sand N.P., Kragholm K.H., Sørensen H.T., Leipsic J., Mæng M., Blaha M.J., Nørgaard B.L. Impact of Plaque Burden Versus Stenosis on Ischemic Events in Patients With Coronary Atherosclerosis. *J. Am. Col. Cardiol.* 2020; 76 (24): 2803–2813. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.10.021>
 24. Hoffmann U., Massaro J.M., D'Agostino R.B. Sr., Kathiresan S., Fox C.S., O'Donnell C.J. Cardiovascular Event Prediction and Risk Reclassification by Coronary, Aortic, and Valvular Calcification in the Framingham Heart Study. *J. Am. Heart Assoc.* 2016; 5 (2): e003144. Published 2016 Feb 22. <http://doi.org/10.1161/JAHA.115.003144>
 25. Suh Y.J., Lee J.W., Shin S.Y., Goo J.M., Kim Y., Yong H.S. Coronary artery calcium severity grading on non-ECG-gated low-dose chest computed tomography: a multiple-observer study in a nationwide lung cancer-screening registry. *Eur. Radiol.* 2020; 30 (7): 3684–3691. <http://doi.org/10.1007/s00330-020-06707-x>
 26. Nikolaev A.E., Chernina V.Yu., Blokhin I.A., Shapiey A.N., Gonchar A.P., Gomboleviskiy V.A., Petraiin A.V., Silin A. Yu., Petrova G.D., Morozov S.P. The future of computer-aided diagnostics in chest computed tomography. *Pirogov Russian Journal of Surgery. Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova.* 2019; 12: 91–99. <https://doi.org/10.17116/hirurgia201912191> (In Russian)

Для корреспонденции*: Николаев Александр Евгеньевич – 109029 Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1. Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы. Тел.: +7-930-348-30-48. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Николаев Александр Евгеньевич – младший научный сотрудник отдела научных медицинских исследований ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>. SPIN: 1320-1651. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Коркунова Ольга Андреевна – младший научный сотрудник отдела научных медицинских исследований, ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5831-3742>, SPIN: 6879-129. E-mail: oa.korkunova@gmail.com

Хуторной Иван Валерьевич – аспирант факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5405-603X>, SPIN: 8020-0222. E-mail: mcdm.avk@gmail.com



Пахомов Павел Владимирович – ординатор кафедры лучевой диагностики, факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7608-9334>, SPIN: 7053-9368. E-mail: pavel.v.pakhomov@gmail.com

Гаврилов Павел Владимирович – канд. мед. наук, врач-рентгенолог высшей квалификационной категории, ведущий научный сотрудник, руководитель направления “Лучевая диагностика” Санкт-Петербургского Научно-исследовательского института фтизиопульмонологии Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-3251-4084>. SPIN: 7824-5374. E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

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. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. SPIN: 6193-1656. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Сучилова Мария Максимовна – младший научный сотрудник отдела научных медицинских исследований ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>. SPIN: 4922-1894. E-mail: maria.suchilova@gmail.com

Шапиев Арсен Нуруллаевич – ГБУЗ “Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы”, ФГБУ “Российская детская клиническая больница” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1890-6711>. SPIN: 1662-0349. E-mail: shapiev_an@mail.ru

Дадакина Ия Сергеевна – студентка VI курса лечебного факультета ФGAOY BO “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова” Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4149-7557>. E-mail: iya_dadakina@mail.ru

Серебрякова Ирина Владимировна – врач-рентгенолог ООО “ПЭТ-Технолоджи”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1893-7419>. E-mail: 4209964@gmail.com

Першина Екатерина Сергеевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог, руководитель Центра лучевой диагностики ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница №1 имени Н.И. Пирогова Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3952-6865>. SPIN: 7311-9276. E-mail: pershina86@mail.ru

Гомболевский Виктор Александрович – канд. мед. наук, руководитель отдела научных медицинских исследований ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>. SPIN: 6810-3279. E-mail: gombolevskiy@npcmr.ru

Морозов Сергей Павлович – доктор. мед. наук, профессор, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. SPIN: 8542-1720. E-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

Contact*: Aleksandr E. Nikolaev –24-1, Petrovka str., Moscow, 109029, Russian Federation. Phone: +7-930-348-30-48. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Aleksandr E. Nikolaev – junior researcher at the Medical Research Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>. SPIN: 1320-1651. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Olga A. Korkunova – junior researcher at the Medical Research Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-5831-3742>, SPIN: 6879-129. E-mail: oa.korkunova@gmail.com

Ivan V. Khutornoy – graduate student of Faculty of medicine, Lomonosov Moscow State University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5405-603X>. SPIN: 8020-0222. E-mail: mcdm.avk@gmail.com

Pavel V. Pakhomov – resident of Faculty of medicine, Lomonosov Moscow State University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7608-9334>, SPIN: 7053-9368. E-mail: pavel.v.pakhomov@gmail.com

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>. SPIN: 7824-5374. E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Alexey V. Petraikin – Cand. of Sci. (Med.), associate professor, leading researcher of the Department of innovation technology, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. SPIN: 6193-1656. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Maria M. Suchilova – junior researcher at the Medical Research Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>. SPIN: 4922-1894. E-mail: maria.suchilova@gmail.com

Arsen N. Shapiev – Morozov Children’s Clinical Hospital, Russian Children’s Clinical Hospital of Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1890-6711>. SPIN: 1662-0349. E-mail: shapiev_an@mail.ru

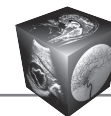
Iya S. Dadakina – student of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4149-7557>. E-mail: iya_dadakina@mail.ru

Irina V. Serebryakova – radiologist of PET Technology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1893-7419>. E-mail: 4209964@gmail.com

Ekaterina S. Pershina – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, Head of Radiology center, Pirogov City Clinical Hospital №1, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3952-6865>. SPIN: 7311-9276. E-mail: pershina86@mail.ru

Viktor A. Gombolevskij – Cand. of Sci. (Med.), Head of Medical Research Department, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>. SPIN: 6810-3279. E-mail: gombolevskiy@npcmr.ru

Sergey P. Morozov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. SPIN: 8542-1720. E-mail: npcmr@zdrav.mos.ru



Молочные железы | Breast

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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1040>

Компьютерный анализ маммограмм низкой плотности: результаты одноцентрового проспективного рандомизированного клинического исследования

© Пасынков Д.В.^{1, 2, 3*}, Тухбатуллин М.Г.³, Хасанов Р.Ш.³¹ ГБУ Республики Марий Эл “Республиканский онкологический диспансер”; 424037 Йошкар-Ола, ул. Осипенко, 22, Российская Федерация² ФГБОУ ВО “Марийский государственный университет” Министерства образования и науки России; 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1, Российская Федерация³ Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; 420012 Казань, ул. Бутлерова, 36, Российская Федерация

Цель исследования: оценить целесообразность использования системы компьютерного анализа (CAD) маммограмм с последующим прицельным ультразвуковым исследованием (УЗИ) промаркированных зон при низкой (ACR A-B) плотности молочной железы (МЖ).

Материал и методы. Проведено проспективное исследование, в которое было включено 2326 пациенток с низкой плотностью паренхимы МЖ, которые рандомизировались для обработки маммограмм CAD (MammCheck II собственной разработки) и прицельным УЗИ промаркированных зон (группа ММГ + CAD) или без таковых (группа ММГ). Затем проводилась фаза наблюдения длительностью 3 года.

Результаты. В процессе первичного скрининга в группе ММГ было обнаружено 77 раков молочной железы (РМЖ) (из них 28,57% – до 1 см), в группе ММГ + CAD – 69 РМЖ (из них 36,23% – до 1 см), $p > 0,05$. РМЖ был выявлен только в процессе прицельного исследования в зоне метки CAD у 4 из 25 пациенток группы ММГ + CAD, и все эти случаи соответствовали РМЖ размером до 1 см. При последующем наблюдении в группе ММГ было выявлено пять дополнительных РМЖ, в группе ММГ + CAD таких случаев не отмечалось ($p < 0,05$). Три из этих пяти РМЖ ретроспективно были промаркированы CAD. Единственный видимый РМЖ, который не был промаркирован CAD, имел размер 3 мм.

Общая частота ложноположительных меток составила 0,31 и 0,28 на пленочную и цифровую маммограмму соответственно ($p > 0,05$).

Заключение. Использование CAD в сочетании с маммографией и последующим прицельным УЗИ промаркированных зон при низкой плотности МЖ целесообразно, поскольку это достоверно снижает частоту РМЖ, диагностированных при последующем наблюдении длительностью 3 года, обеспечивая выявление 77 (100,00%) из 77 по сравнению с 69 (93,24%) из 74 при использовании только маммографии.

Ключевые слова: маммография, жировая паренхима, система компьютерной диагностики, рак молочной железы, интервальный рак

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Пасынков Д.В., Тухбатуллин М.Г., Хасанов Р.Ш. Компьютерный анализ маммограмм низкой плотности: результаты одноцентрового проспективного рандомизированного клинического исследования. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 93–105. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1040>

Поступила в редакцию: 29.06.2021. **Принята к печати:** 28.10.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.



The value of computer aided detection system for mammography in the fatty breast: the results of the single-centered, prospective, randomized clinical trial

© Dmitry V. Pasyukov^{1, 2, 3*}, Munir G. Tukhbatullin³, Rustem Sh. Khasanov³

¹ State-financed Institution of Mari El Republic "Republican Oncology Dispensary", 22 Osipenko str., Yoshkar-Ola 424037, Russian Federation

² Mari State University, Ministry of Education and Science of Russian Federation, 1 Lenin square, Yoshkar-Ola 424000, Russian Federation

³ Kazan State Medical Academy – Branch Campus of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education "Russian Medical Academy of Continuous Professional Education", Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 36 Butlerova str., Kazan 420012, Russian Federation

Aim. To assess the reasonability to use CAD added to mammography with subsequent targeted ultrasound (US) of CAD markings in patients with low-density (ACR A-B) breasts.

Materials and methods. In the prospective study we included 2326 women with low breast density. They were randomized for CAD (MammCheck II of our own design) checking with subsequent targeted US (MMG + CAD group) or without CAD (MMG only group). After the initial screening we performed the 3-year follow-up phase.

Results. Totally, during the primary screening in the MMG only group we found 77 breast cancers (BCs) (28,57% of them sized less than 1 cm), in the MMG + CAD group – 69 BCs (36,23% of them sized less than 1 cm), $p > 0.05$. The suspicious lesion was identified only during the targeted US of the CAD marking in 4 of 25 women in the MMG + CAD group, and all these BCs were below 1 cm in size. During the subsequent follow-up in the MMG only group we found 5 additional BCs, with no such cases in the MMG + CAD group ($p < 0.05$). Three of these five BCs were retrospectively marked by CAD. The only visible BC that was not marked by CAD was 3 mm in size.

Discussion. The overall false positive marking rate was 0.31 и 0.28 per film-screen and digital image, respectively ($p > 0.05$).

Conclusion. The CAD usage added to mammography with subsequent targeted US of markings in patients with low-density (ACR A-B) breast is reasonable due to the significant decrease of the BC rate diagnosed during the 3-year follow-up. This combination detected 77 of the 77 (100.00%) BCs compared to 69 of 74 (93.24%) BCs when only mammography used.

Keywords: mammography, fatty breast, computer-aided detection system, breast cancer, interval cancer

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

For citation: Pasyukov D.V., Tukhbatullin M.G., Khasanov R.Sh. The value of computer aided detection system for mammography in the fatty breast: the results of the single-centered, prospective, randomized clinical trial. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 93–105. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1040>

Received: 29.06.2021.

Accepted for publication: 28.10.2021.

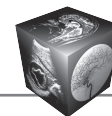
Published online: 29.12.2021.

Введение

Рак молочной железы (РМЖ) продолжает оставаться одной из первостепенных проблем общемировой онкологии, разделив в 2018 году среди представителей обоего пола первое место по заболеваемости с раком легкого (11,6% всех случаев злокачественных опухолей), хотя и уступив ему в причинно обусловленной летальности (6,6% всех летальных исходов, обусловленных новообразованиями). В то же время среди женского населения РМЖ является наиболее часто встречающейся злокачественной опухолью (занимая 24,2% в структуре онкологической заболеваемости), на долю которой приходится наибольшая часть обусловленных

новообразованиями летальных исходов (15,0%) [1]. Следует отметить, что у женщин 25–34, 35–44 и 45–54 лет летальность в результате РМЖ превосходит таковую в результате ишемической болезни сердца (1,7 и 1,2; 10,6 и 6,7; 26,5 и 25,0 летальных исходов на 100 000 населения соответственно), и лишь в более старшем возрасте начинает наблюдаться инверсная тенденция [2].

В Российской Федерации (РФ) распространенность РМЖ в 2018 г. составила 471,5 случая на 100 000 населения, при этом количество впервые выявленных случаев составило 64 544 и летальность на первом году после постановки диагноза – 5,8% [3].



Все это побуждает к разработке стратегий по снижению летальности при данной патологии, одной из которых является концепция раннего выявления РМЖ посредством популяционного скрининга. В процессе анализа широкого круга методов скрининга было показано, что регулярное (каждые 1–2 года) приглашение для выполнения маммографии (ММГ) женщин в возрасте 50–69 лет (из которых ММГ фактически регулярно выполняется лишь 60% приглашенных) обеспечивает снижение риска смерти в результате РМЖ на 25% (относительный риск (ОР): 0,75; 95% доверительный интервал (ДИ): 0,69–0,81), в то время как среди женщин данной возрастной группы, которым маммография фактически выполнялась регулярно, данный показатель достиг 38% (ОР 0,62; 95% ДИ 0,56–0,69) [4]. У женщин 40–44 лет и 45–49 лет это снижение было менее выраженным, в результате Рабочая группа по оценке скрининга РМЖ Международного агентства по изучению злокачественных опухолей (IARC) расценила убедительность доказательств того, что подобный скрининг снижает летальность от РМЖ в этих возрастных группах как ограниченную, и абсолютные значения ОР не рассчитывались [5]. Согласно рекомендациям Американского общества онкологов (ACS), целесообразно проведение ежегодной ММГ женщинам в возрасте 45–54 лет с последующим их переводом в возрасте 55 лет на исследование с периодичностью 1 раз в 2 года. Обусловлено это более быстрым ростом РМЖ в пременопаузе, в результате убедительного преимущества скрининга с периодичностью 1 раз в год по сравнению с периодичностью 1 раз в 2 года у женщин в возрасте 55 лет и старше продемонстрировано не было [6].

Однако если придерживаться такого подхода, то для проведения тотального маммографического скрининга 10 111 тыс. женщин в возрасте 45–54 лет и 25 905 тыс. женщин в возрасте 55 лет и старше, что соответствовало населению РФ на 1 января 2017 г. (Служба государственной статистики РФ, 2018), необходимо было ежедневно выполнять более 90 000 только скрининговых ММГ, что, безусловно, ложится значительным бременем на службу лучевой диагностики страны и ее систему здравоохранения в целом.

В последнее время как за рубежом, так и в РФ активно разрабатываются системы компьютерного анализа (CAD) маммограмм, которые уже продемонстрировали высокую чувствительность как в выявлении различных маммографических вариантов РМЖ, так и в выявлении ранних и трудно идентифицируемых его форм [7, 8]. При этом известно, что максимальная чувствительность ММГ достигается при жировой (степени плотно-

сти А согласно Американской коллегии специалистов в области лучевой диагностики (ACR)) плотности паренхимы молочной железы (МЖ) и лишь незначительно (не более чем на 10%) снижается при фиброзно-жировой паренхиме (ACR B), поскольку рентгеновская плотность большинства патологических изменений, соответствующих РМЖ, значительно превышает жировую [8]. Кроме того, данные типы плотности паренхимы характеризуются малым количеством рентгеноплотных структур, не соответствующих РМЖ, но которые могли бы быть промаркированы CAD как ложноположительные метки.

В результате целью исследования являлась оценка целесообразности использования CAD в сочетании с ММГ и последующим прицельным ультразвуковым исследованием (УЗИ) промаркированных зон при низкой (ACR A–B) плотности МЖ.

Материал и методы

В исследование было включено 2326 пациентов, не страдавших ранее РМЖ, у которых по результатам выполненной пленочной или цифровой ММГ была констатирована низкая (ACR A–B) плотность паренхимы МЖ независимо от наличия других изменений. Все они рандомизировались в соотношении 1 : 1 для обработки полученных маммограмм с помощью CAD и прицельным УЗИ промаркированных зон (группа ММГ + CAD) или без таковых (группа ММГ) с последующим принятием решения о необходимости дальнейшего обследования. При возникновении подозрений на злокачественный процесс пациентам группы ММГ выполняли УЗИ МЖ (при выявлении по данным ММГ изменений, соответствующих категории BI-RADS 3) с последующим выполнением биопсии, если результат УЗИ соответствовал категориям BI-RADS 3–5, или, в группе ММГ + CAD – непосредственно биопсию (при выявлении по данным ММГ изменений, соответствующих категориям BI-RADS 4–5).

Морфологическая верификация подозрительных зон на первом этапе осуществлялась путем выполнения трепан-биопсии под контролем лучевых методов. Для зон изменений размером более 10 мм предпочтение отдавали ультразвуковому наведению (как наименее инвазивному), для подозрительных участков размером 10 мм и менее, а также изменений, четко не определявшихся при УЗИ, – стереотаксическому маммографическому наведению. Если по результатам двукратной трепан-биопсии верификации подозрительной зоны не достигалось, на втором этапе выполнялась эксцизионная биопсия.

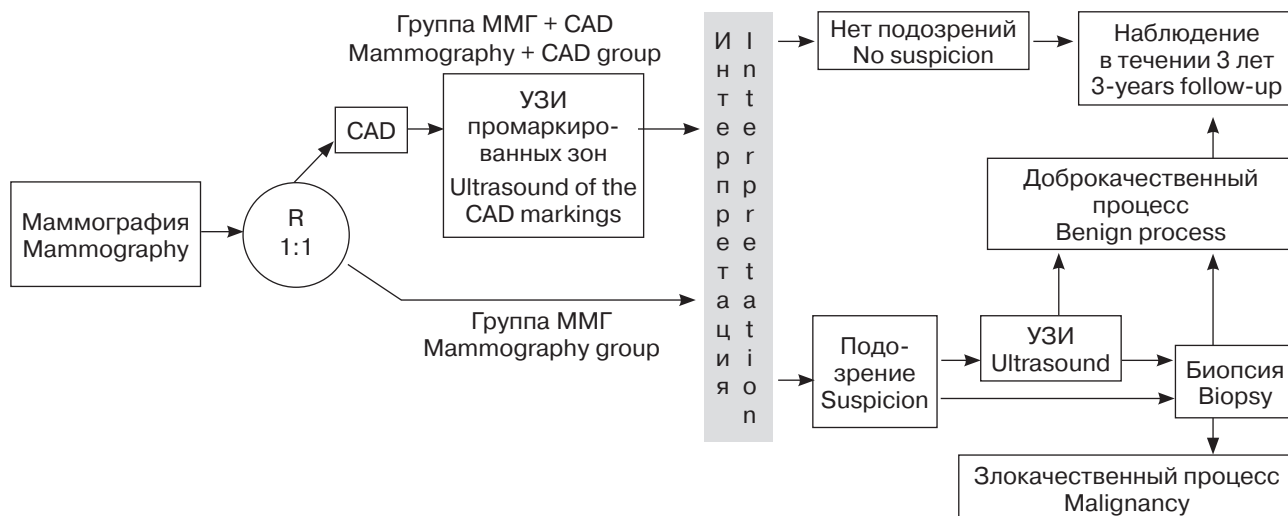


Рис. 1. Схема дизайна исследования. Сокращения: R – рандомизация; ММГ – маммография.

Fig. 1. Study design. Abbreviations: R – randomization; ММГ – mammography.

Пациентки обеих групп, у которых подозрения на злокачественный процесс констатировано не было, а также пациентки, у которых данное подозрение было исключено по результатам УЗИ и/или биопсии, включались в фазу наблюдения длительностью 3 года. Пациентки, у которых был выявлен злокачественный процесс, в фазу наблюдения не включались (рис. 1). В течение периода наблюдения анализировались результаты любых исследований МЖ (ММГ, УЗИ, компьютерной и магнитно-резонансной томографии, клинического обследования, любых биопсий МЖ), выполненных с любой периодичностью, при которых была возможность заподозрить или верифицировать злокачественный процесс; при возникновении соответствующих подозрений производилась их морфологическая верификация.

В общей сложности в исследование было включено 2326 пациенток (1163 – в группу ММГ + CAD, в том числе по результатам 527 пленочных и 636 цифровых ММГ, и 1163 – в группу ММГ, в том числе по результатам 511 пленочных и 652 цифровых ММГ) в возрасте 40–79 лет (средний возраст $57,34 \pm 11,54$ года).

Анализ маммограмм

Для автоматизированного анализа маммограмм использовали CAD собственной разработки MammCheck II [9], которая позволяла без дополнительных настроек анализировать как цифровые (Siemens Mammomat 3000 Nova, Siemens Mammomat Fusion), так и оцифрованные аналоговые (с разрешением 300 точек на дюйм и глубиной цвета 8 бит с помощью сканера Epson Perfection V700 Photo) изображения.

Статистическая обработка

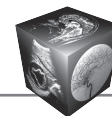
В качестве параметров описательной статистики для непрерывных нормально распределенных выборок рассчитывали среднее арифметическое и стандартное отклонение, для ненормально распределенных – медиану и размах вариации. Для категориальных переменных рассчитывали частоты в виде количества (процента) наблюдений. Сравнение нормально распределенных выборок производили с использованием t-критерия Стьюдента, ненормально распределенных – с использованием критериев Уилкоксона и χ^2 (для сравнения долей). Оценка нормальности распределения выборок осуществлялась с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. Статистическую достоверность различия сравниваемых выборок констатировали при получении значений $p < 0,05$. Все статистические анализы выполняли в программном пакете SPSS 13.0.

Данное исследование было одобрено Комитетом по этике Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования».

Результаты

Обе группы были хорошо сбалансированы по демографическим и исходным характеристикам пациенток (табл. 1).

В общей сложности в процессе первичного скрининга в группе ММГ было обнаружено 77 РМЖ (медиана размера – 21 мм, размах вариации – 5–37 мм), в группе ММГ + CAD – 69 РМЖ (медиана размера – 22 мм, размах вариации – 5–35 мм; $p > 0,05$) – рис. 2. Доля РМЖ размером до 1 см

**Таблица 1.** Демографические и исходные характеристики пациенток**Table 1.** Demographic and baseline characteristics of the patients

	Группа ММГ Mammography group (n = 1163)	Группа ММГ + CAD Mammography + CAD group (n = 1163)
Возраст / Age		
Медиана (годы) / Median (years)	53	54
Размах вариации / Range	40–78	40–79
Распределение по возрасту (%)* / Age group (%)*		
40–45 лет / 40–45 years old	17,97%	17,28%
46–50 лет / 46–50 years old	26,99%	27,26%
51–55 лет / 51–55 years old	34,99%	34,39%
56–60 лет / 56–60 years old	12,98%	13,50%
61–65 лет / 61–65 years old	1,98%	2,67%
66–70 лет / 66–70 years old	1,98%	2,58%
71–75 лет / 71–75 years old	2,75%	1,89%
>76 лет / >76 years old	0,35%	0,77%
Индивидуальное повышение риска РМЖ более чем на 100%** Individual breast cancer risk increased more than 100%**	69 (5,85%)	72 (6,19%)

*Ввиду округления сумма может не соответствовать 100% / The total sum may not be equal to 100% because of the rounding.

**РМЖ у родственников первой линии, доказанная экспрессия генов BRCA1/2, менархе до 12 лет, менопауза после 50 лет, первая закончившаяся родами беременность в возрасте старше 30 лет, нерожавшие.
Breast cancer in first degree relatives, proven BRCA1/2 expression, menarche before the age of 12 years, menopause after 50 years old, first pregnancy finished with the delivery after the age of 30 years old, nullipara.

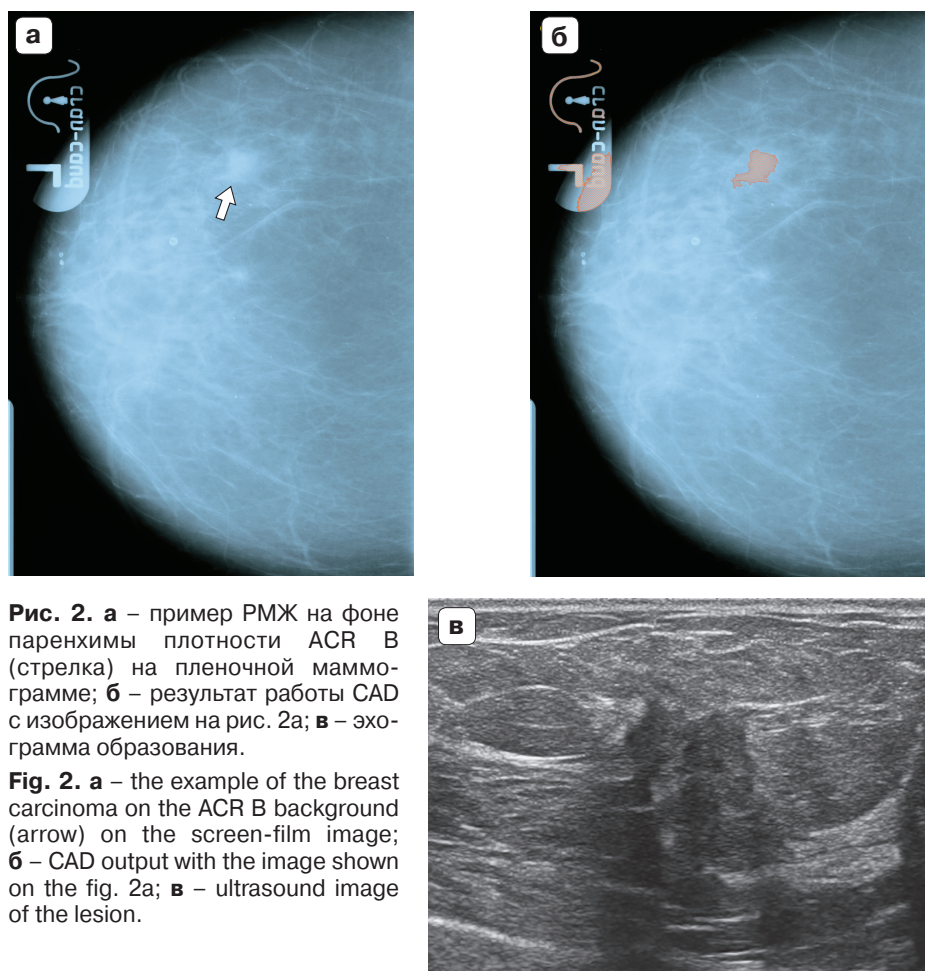


Рис. 2. а – пример РМЖ на фоне паренхимы плотности АСР В (стрелка) на пленочной маммограмме; **б** – результат работы CAD с изображением на рис. 2а; **в** – эхограмма образования.

Fig. 2. а – the example of the breast carcinoma on the ACR B background (arrow) on the screen-film image; **б** – CAD output with the image shown on the fig. 2а; **в** – ultrasound image of the lesion.

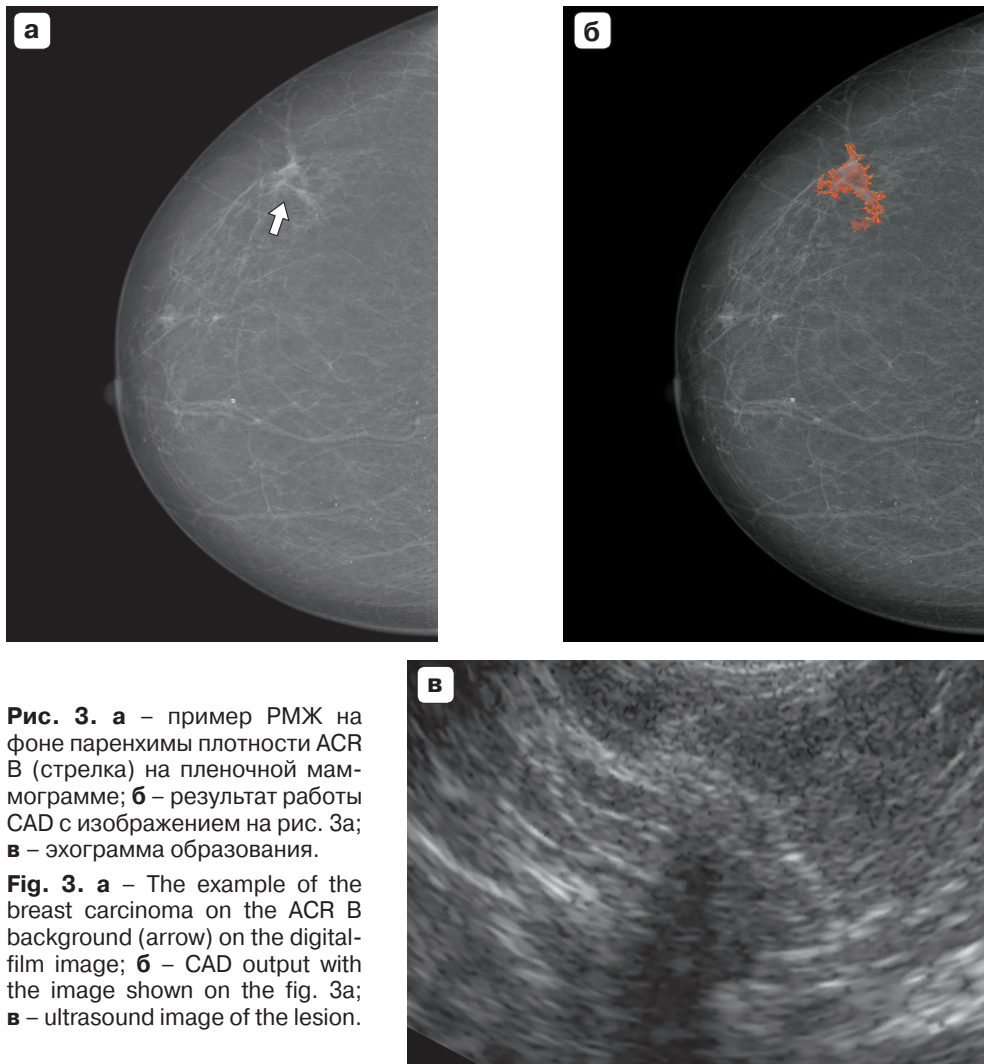


Рис. 3. а – пример РМЖ на фоне паренхимы плотности ACR В (стрелка) на пленочной маммограмме; б – результат работы CAD с изображением на рис. 3а; в – эхограмма образования.

Fig. 3. а – The example of the breast carcinoma on the ACR B background (arrow) on the digital-film image; б – CAD output with the image shown on the fig. 3a; в – ultrasound image of the lesion.

составила в группе ММГ 28,57% (22 из 77), в группе ММГ + CAD – 36,23% (25 из 69, все они были промаркированы CAD), $p > 0,05$ (рис. 3).

При УЗИ было четко идентифицировано 69 (89,61%) из 77 РМЖ (в том числе 15 (68,18%) РМЖ размером до 1 см) – в группе ММГ и 65 (94,20%) из 69 РМЖ (в том числе 22 (88,00%) РМЖ размером до 1 см) – в группе ММГ + CAD ($p > 0,05$ во всех случаях). При этом подозрительный очаг был выявлен только в процессе прицельного исследования в зоне метки CAD у 4 из 25 пациенток группы ММГ + CAD, и все эти случаи соответствовали РМЖ размером до 1 см. Маммографические типы выявленных РМЖ представлены в табл. 2.

Частота метастатического поражения регионарных лимфоузлов по данным патоморфологического исследования составила 42 (43,75%) из 77 – в группе ММГ и 40 (57,97%) из 69 – в группе ММГ + CAD ($p > 0,05$).

Частота выявления подозрительных (BIRADS ≥ 3) образований, потребовавших морфологической верификации, но соответствовавших в итоге доброкачественным процессам, составила: 59 (5,07%) из 1163 – в группе ММГ и 55 (4,73%) из 1163 – в группе ММГ + CAD ($p > 0,05$). Из них 49 (89,09%) из 55 в группе ММГ + CAD располагались в зоне меток CAD.

При последующем наблюдении за пациентками когорты исследования длительностью 3 года в группе ММГ было выявлено пять дополнительных РМЖ, в группе ММГ + CAD таких случаев не отмечалось ($p < 0,05$) (табл. 3). При ретроспективном анализе исходных маммограмм было показано, что три РМЖ, выявленных в процессе последующего наблюдения в группе ММГ, локализовались в зонах, промаркированных CAD как подозрительные, сопровождаясь при ММГ неспецифичными изменениями. В одном случае в зоне впоследст-

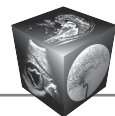


Таблица 2. Маммографические характеристики выявленных РМЖ

Table 2. Mammographic characteristics of the detected breast cancers

Маммографический вариант* Mammographic type*	Группа ММГ Mammography group	Группа ММГ + CAD Mammography + CAD group	Всего Total
	n (% / не определялись при УЗИ) / n (% / not found at ultrasound)		
Звездчатое образование Star-like lesion	49 (63,63% / 1)	42 (60,87% / 0)	91 (62,33% / 1)
Образование неправильной формы с нечетким контуром Lesion of irregular shape with unclear border	13 (16,88% / 2)	11 (15,94% / 0)	24 (16,44% / 2)
Область измененной структуры паренхимы Architectural distortion	3 (3,90% / 2)	5 (7,25% / 1)	8 (5,48% / 3)
Образование округлой или дольчатой формы с полностью или частично ровным контуром Lesion with round or oval shape with fully or partially smooth contour	4 (5,19% / 0)	4 (5,80% / 0)	8 (5,48% / 0)
Области асимметрии паренхимы Asymmetric density	3 (3,90% / 1)	5 (7,25% / 1)	8 (5,48% / 2)
Скопления микрокальцинатов (не ассоции- рованные с другими изменениями) Microcalcification cluster (not associated with other changes)	5 (6,49% / 2)	2 (2,90% / 2)	7 (4,79% / 4)
Итого / Total	77 / 8	69 / 4	146 / 12

* Ввиду округления сумма долей может не соответствовать 100%.

* The total sum may be not equal to 100% because of the rounding.

Таблица 3. Данные о размере РМЖ, выявленных в процессе последующего наблюдения, и состоянии регионарных лимфоузлов при этих опухолях

Table 3. Size and nodal status of the breast cancers detected during the future follow-up

	Год наблюдения / Year of the follow-up						Всего / Total	
	1-й / 1th		2-й / 2nd		3-й / 3rd			
	Размер первичной опухоли, мм Size of the primary tumor, mm	N+	Размер первичной опухоли, мм Size of the primary tumor, mm	N+	Размер первичной опухоли, мм Size of the primary tumor, mm	N+	Размер первичной опухоли (размах вариации), мм Size of the primary tumor (range), mm	N+
Группа ММГ Mammography group	5	–	5; 5; 6	–	4; 9	–	4–9	–
Из них промаркированы CAD ретроспективно Of them: marked by CAD retrospectively	5	–	5; 6	–	–	–	5–6	
Группа ММГ + CAD Mammography + CAD group	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: N+ – метастатическое поражение регионарных лимфоузлов по данным патоморфологического исследования.

Note: N+ – regional lymph node metastatic involvement according to the pathomorphological examination.

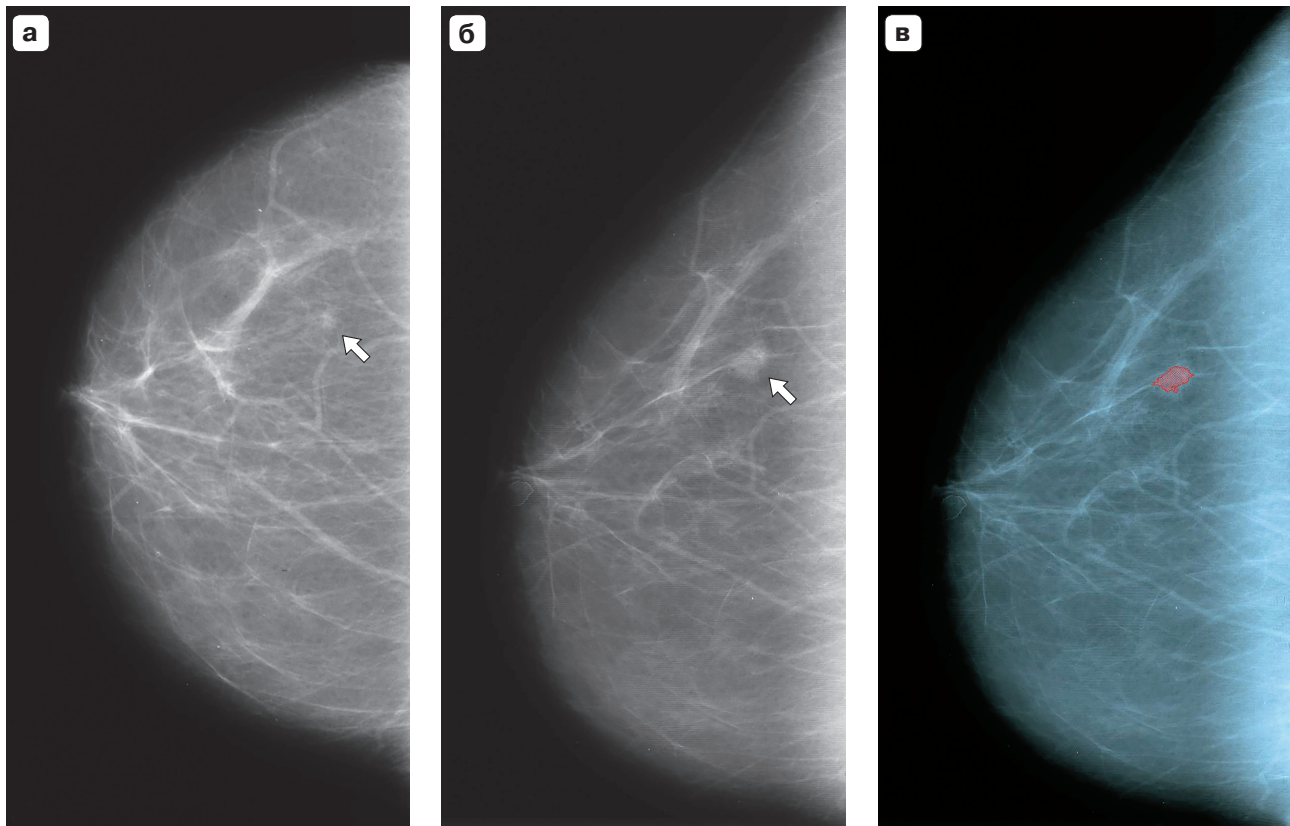


Рис. 4. а – единственный случай РМЖ в выборке, не промаркированный CAD (стрелка); б – аналогичная маммограмма той же пациентки через 6 лет (стрелка); в – результат работы CAD с изображением на рис. 4б.

Fig. 4. а – the only case of breast carcinoma missed by CAD (arrow); б – same view image of this woman obtained 6 years later (arrow); в – CAD output with the image shown on the fig. 4б.

вии выявленной опухоли патологических изменений не отмечалось ни при визуальном анализе, ни при анализе с помощью CAD. Один случай (низкоинтенсивная опухоль размером около 3 мм) являлся видимым, но не был промаркирован CAD (данная опухоль размером 9 мм была выявлена у пациентки 61 года через 6 лет после первичной ММГ на стадии ранней; эта пациентка была включена в исследование с нарушением критериев включения намеренно ввиду того, что случай представлял интерес с точки зрения возможности выявления CAD опухолей исключительно малых размеров) (рис. 4). Таким образом, в процессе первичного скрининга в группе ММГ было выявлено 69 (93,24%) из 74 РМЖ, в группе ММГ + CAD – 77 (100,00%) из 77 ($p > 0,05$).

Однако при анализе случаев, представленных на рис. 3а, 4а и 6б, можно отметить сходство маммографической картины данных опухолей, таким образом, подобный размер опухоли (3–4 мм) не является субпороговым и не подлежащим обнаружению, хотя чувствительность CAD в идентификации образований такого размера не поддается

в настоящее время точной оценке ввиду небольшого количества таких наблюдений (мы располагаем 20 подобными наблюдениями, из которых CAD промаркировала РМЖ в 17 случаях). В то же время необнаруженный случай, очевидно, соответствует сенильному индолетному РМЖ, при котором удлинение периода до постановки диагноза даже до 2 лет (что соответствует рекомендуемому межскрининговому интервалу для пожилых пациенток) в большинстве случаев не сказывается на клинических исходах.

Таким образом, суммарная частота РМЖ в нашей выборке составила 74 (6,36%) из 1163 – в группе ММГ и 77 (6,62%) из 1163 – в группе ММГ + CAD ($p > 0,05$).

В общей сложности, в группе ММГ + CAD ложно положительные метки имели место в 285 (26,05%) из 1094 случаев. Большинство их было обусловлено доброкачественными образованиями (53 случая; 4,84%) или проекционно накладывавшимися друг на друга связками Купера (177 случаев; 16,18%) (рис. 5). Остальные 55 случаев соответствовали образованиям BI-RADS ≥ 3 , потребовавшим

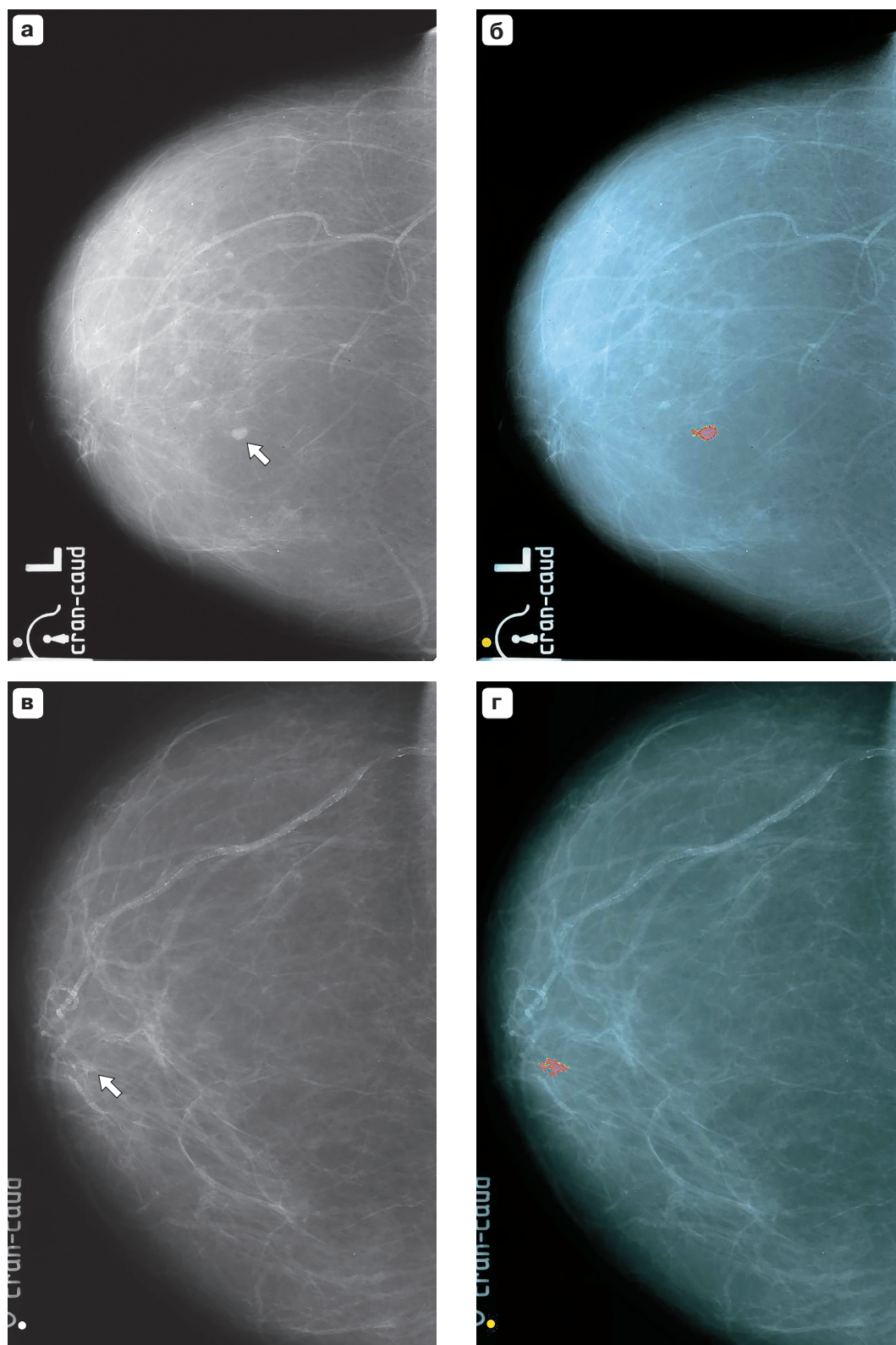
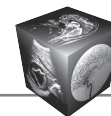


Рис. 5. Примеры типичных ложноположительных меток на маммограммах степени плотности паренхимы ACR A. **а** – доброкачественное образование (стрелка); **б** – результат работы CAD с изображением на рис. 5а; **в** – область проекционного пересечения связок Купера (стрелка); **г** – результат работы CAD с изображением на рис. 5в.

Fig. 5. The examples of typical false positive markings on the ACR A parenchyma background. **a** – benign lesion (arrow); **б** – CAD output with the image shown on the fig. 5a; **в** – superimposed Cooper's ligaments (arrow); **г** – CAD output with the image shown on the fig. 5в.

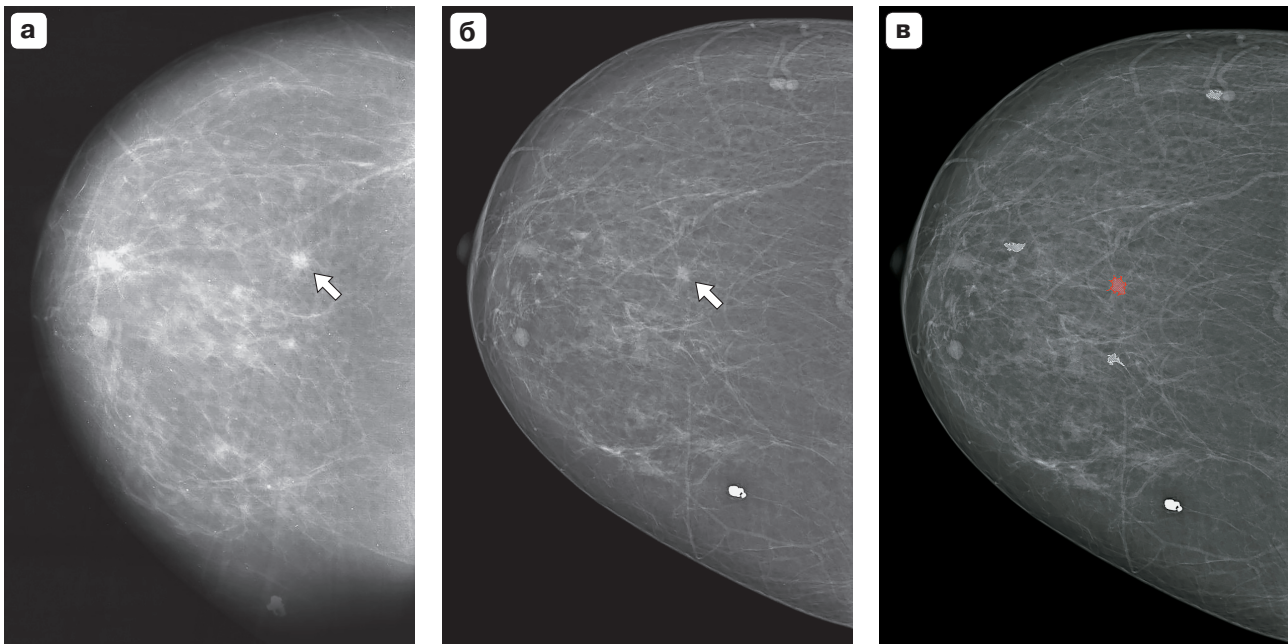


Рис. 6. Пленочная (а) и цифровая (б) маммограммы в краниокаудальной проекции пациентки с малым РМЖ (стрелки), выполненные с небольшим интервалом (14 дней, цифровая – после пленочной). Тень опухоли на пленочной маммограмме имеет больший визуально определяемый размер, вероятно, за счет низкоинтенсивной зоны рыхлой опухолевой инфильтрации по периферии, которая не определяется на цифровой маммограмме; в – результат работы CAD с маммограммой, показанной на рис. 6б.

Fig. 6. Screen-film (a) and digital (б) craniocaudal mammography images of a small breast carcinoma (arrows), performed with a short interval (14 days, digital after the screen-film one). The carcinoma appears bigger on the screen-film image probably due to the low-intensity area of loose perifocal infiltration that is invisible on the digital image; в – CAD output with the image shown on the fig. 6б.

дополнительного обследования. Таким образом, общая частота ложноположительных меток в данной выборке маммограмм составила 0,31 и 0,28 на пленочную и цифровую маммограмму соответственно ($p > 0,05$).

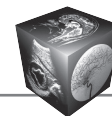
При сравнении результатов маммографического наблюдения с использованием различной аппаратуры (и пленочной, и цифровой) была отмечена возможность занижения визуальных размеров РМЖ при цифровой ММГ по сравнению с пленочной. Обусловлено это, по нашему мнению, тем фактом, что рентгеновская пленка обычно имеет характеристику отклика, которая не изменяется в процессе получения изображения, в то время как цифровые изображения с целью повышения их контрастности могут подвергаться постобработке с изменением данной характеристики, в результате периферические низкоинтенсивные зоны, яркость которых ниже порогового уровня для фильтра, но вносящие вклад в суммарную тень, приравниваются к фону. Однако это может затруднять выявление малых РМЖ и оценку динамики ранее выявленных изменений при использовании различных маммографических платформ (рис. 6).

Что касается общей частоты встречаемости паренхимы низкой плотности при скрининговой ММГ, то, согласно нашим данным, в другой выборке из 10000 ММГ доля таковых степени плотности ACR A–B составила: 46,81% – среди женщин 40–44 лет, 59,08% – 45–49 лет, 83,08% – 50–54 лет, 85,52% – 55–59 лет, 82,61% – 60–64 года, 80,00% – 65–69 лет и 100,00% – 70 лет и старше.

Обсуждение

Средний размер выявляемых при скрининговой ММГ РМЖ составляет 12 мм у женщин в возрасте 40–49 лет и 13 мм у женщин в возрасте 50–59 лет [10, 11], что позволяет достигать всех известных преимуществ скрининга.

В последние годы появились данные о том, что удлинение межскринингового интервала у женщин в постменопаузе с 1 раза в год до 1 раза в 2 года не сказывается на исходах скрининга. В частности, в недавно выполненном когортном исследовании было показано, что в когорте из 15 440 женщин в постменопаузе, не получающих гормональную терапию, в возрасте 40–85 лет при удлинённом межскрининговом интервале частота



постановки диагноза РМЖ с неблагоприятными клиническими характеристиками (IIВ+ стадии, размером >15 мм или с любыми другими неблагоприятными характеристиками) достоверно не отличалась по сравнению с данным показателем на фоне ежегодного скрининга. Напротив, у женщин в перименопаузе такое удлинение межскринингового интервала признано неоправданным ввиду повышения частоты выявления менее благоприятных клинических форм РМЖ [12].

Эти данные косвенно подтверждаются данными о медиане времени удвоения РМЖ у женщин в постменопаузе, согласно которым этот показатель у женщин в возрасте 50–70 лет составляет 157 дней (95% ДИ 121–204 дня), у женщин в возрасте старше 70 лет – 188 дней (95% ДИ 120–295 дней) [13], а также данными о более благоприятных исходах РМЖ у пациенток в постменопаузе по сравнению с таковыми в перименопаузе, поскольку скорректированный относительный риск трех неблагоприятных прогностических факторов у последних был достоверно выше: тройного негативного фенотипа РМЖ (ОР 6,03, 95% ДИ 1,94–18,74), HER2-позитивного статуса (ОР 4,11; 95% ДИ 1,59–10,65) и III стадии заболевания (ОР 2,73, 95% ДИ 1,10–6,79) [14, 15].

Таким образом, непостоянное обнаружение опухолей размером 3–4 мм, как представляется, не должно оказать негативного влияния на исходы скрининга у пациенток в постменопаузе, поскольку данные опухоли будут идентифицированы при следующей ММГ в относительно благоприятной прогностической фазе развития (о чем свидетельствует приведенный в статье клинический пример). Кроме того, по нашим данным, вероятность пропуска CAD РМЖ размером до 1 см составляет 1%. С другой стороны, заманчивым с экономической точки зрения представляется исключение из визуального анализа маммограмм степени плотности ACR A у пациенток в возрасте 60 лет и старше (не получающих гормональной терапии, у которых вероятность развития агрессивных форм РМЖ невелика), при анализе CAD которых не было выявлено подозрительных изменений, что потенциально позволило бы исключить из визуального врачебного анализа около 20% (частота встречаемости степени плотности ACR A в этой возрастной группе за вычетом частоты ложноположительных заключений CAD, которая согласуется с соответствующим показателем для зарубежных CAD [16]) из 19 697 тыс. наборов маммограмм (что соответствовало женскому населению РФ в возрасте

60 лет и старше в 2017 г.) за 2 года, т.е. порядка 7 800 исследований в масштабах страны ежедневно.

Кроме того, целесообразна дальнейшая разработка как методов фильтрации ложноположительных меток CAD, что в перспективе позволит еще более увеличить этот показатель, так и специализированных методик обнаружения малых (размером до 5 мм) форм РМЖ, что позволило бы дополнительно снизить долю ложноотрицательных заключений CAD.

Также, на наш взгляд, представляет интерес сделанное наблюдение о том, что цифровая ММГ может занижать визуально определяемый размер образований МЖ. Это повышает целесообразность использования CAD для ММГ, поскольку большинство пропущенных РМЖ обычно соответствует образованиям малых размеров и низкой интенсивности, имеющих неспецифичную рентгенокартину, а маркировка их CAD позволяет обратить на эти зоны особое внимание врача при интерпретации результатов ММГ.

Заключение

Использование CAD в сочетании с ММГ и последующим прицельным УЗИ промаркированных зон при низкой (ACR A–B) плотности МЖ целесообразно, поскольку это достоверно снижает частоту РМЖ, диагностированных при последующем наблюдении длительностью 3 года, обеспечивая выявление 77 (100,00%) из 77 РМЖ по сравнению с 69 (93,24%) из 74 – при использовании только ММГ.

Участие авторов

Пасынков Д.В. – проведение исследования, статистическая обработка данных, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

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

Хасанов Р.Ш. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Pasynkov D.V. – conducting research, statistical analysis, writing text, approval of the final version of the article.

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

Khasanov R.Sh. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

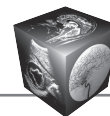


Список литературы

- Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I., Siegel R.L., Torre L.A., Jemal A. Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *Cancer J. Clin.* 2018; 68: 394–424. <http://doi.org/10.3322/caac.21492>.
- Canto J.G., Kiefe C.I. Age-Specific Analyses of Breast Cancer Versus Heart Disease Mortality in Women. *Am. J. Cardiol.* 2014; 113: 410–411. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2013.08.055>
- Состояние онкологической помощи населению России в 2018 году / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М., МНИОИ им. П.А. Герцена, филиал ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России, 2019.
- Seely J.M., Alhassan T. Screening for breast cancer in 2018 – what should we be doing today? *Curr. Oncol.* 2018; 25 (Suppl. 1): S115–S124. <http://doi.org/https://doi.org/10.3747/co.25.3770>
- Lauby-Secretan B, Scoccianti C, Loomis D, Benbrahim-Tallaa L., Bouvard V., Bianchini F. et al. Breast-cancer screening – viewpoint of the IARC Working Group. *N. Engl. J. Med.* 2015; 372: 2353–2358. <http://doi.org/10.1056/NEJMSr1504363>
- Breast-cancer screening with mammography in women aged 40–49 years Swedish Cancer Society and the Swedish National Board of Health and Welfare. *Int. J. Cancer.* 1996; 68: 693–699.
- Пасынков Д.В., Егосин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В., Бусыгина О.В. Сравнительный анализ диагностической ценности систем компьютерного анализа маммограмм I и II поколений. *Медицинская визуализация.* 2017; 21 (1): 90–102. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-1-90-102>
- Пасынков Д.В., Егосин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В., Пасынкова О.О. Эффективность системы компьютерного анализа маммограмм в диагностике вариантов рака молочной железы, трудно выявляемых при скрининговой маммографии. *REJR.* 2019; 9 (2): 107–118. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-107-118>
- Egoshin I., Pasyнков D., Kolchev A., Kliouchkin I., Pasynkova O. A segmentation approach for mammographic images and its clinical value (2018). 2017 IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems, COMCAS 2017, 2018-January: 1–6. <http://doi.org/10.1109/COMCAS.2017.8244764>
- Shaevitch D., Taghipour S., Miller A.B., Montgomery N., Harvey B. Tumor size distribution of invasive breast cancers and the sensitivity of screening methods in the Canadian National Breast Screening Study. *J. Can. Res. Ther.* 2017; 13: 562–569. <http://doi.org/10.4103/0973-1482.174539>
- Лабазанова П.Г., Рожкова Н.И., Бурдина И.И., Запирова С.Б., Мазо М.Л., Микушин С.Ю. и др. Маммографическая плотность и риск развития рака молочной железы. Взгляд на историю изучения вопроса. *REJR.* 2020; 10(2): 205–222. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-2-205-222>
- Miglioretti D.L., Zhu W., Kerlikowske K., Sprague B.L., Onega T., Buist D.S. et al. Breast Tumor Prognostic Characteristics and Biennial vs Annual Mammography, Age, and Menopausal Status. *JAMA Oncol.* 2015; 1 (8): 1069–1077. <http://doi.org/10.1001/jamaoncol.2015.3084>
- Peer P.G., van Dijck J.A., Hendriks J.H., Holland R., Verbeek A.L. Age-dependent growth rate of primary breast cancer. *Cancer.* 1993; 71 (11): 3547–3551.
- Tubtimhin S, Promthet S, Suwanrungruang K, Supattagorn P. Molecular Subtypes and Prognostic Factors among Premenopausal and Postmenopausal Thai Women with Invasive Breast Cancer: 15 Years Follow-up Data. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 2018; 19 (11): 3167–3174. <http://doi.org/10.31557/APJCP.2018.19.11.3167>
- Гажонова В.Е., Ефремова М.П., Дорохова Е.А. Возможности ультразвуковой томографии в прогнозировании течения рака молочной железы (РМЖ) – молекулярная классификация РМЖ. *Поволжский онкологический вестник.* 2016; 24 (2): 26–32.
- Calas M.J.G., Gutfilen B., Pereira W.C.A. CAD and mammography: why use this tool? *Radiol. Bras.* 2012; 45 (1): 46–52. <http://doi.org/10.1590/S0100-39842012000100011>

References

- Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I., Siegel R.L., Torre L.A., Jemal A. Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *Cancer J. Clin.* 2018; 68: 394–424. <http://doi.org/10.3322/caac.21492>.
- Canto J.G., Kiefe C.I. Age-Specific Analyses of Breast Cancer Versus Heart Disease Mortality in Women. *Am. J. Cardiol.* 2014; 113: 410–411. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2013.08.055>
- Kaprin A.D., Starinsky V.V., Petrova G.V. The oncology care for Russian population in 2018: state of the art. Moscow, MNIОI im. P.A.Gertzena, 2019. (In Russian)
- Seely J.M., Alhassan T. Screening for breast cancer in 2018 – what should we be doing today? *Curr. Oncol.* 2018; 25 (Suppl. 1): S115–S124. <http://doi.org/https://doi.org/10.3747/co.25.3770>
- Lauby-Secretan B, Scoccianti C, Loomis D, Benbrahim-Tallaa L., Bouvard V., Bianchini F. et al. Breast-cancer screening – viewpoint of the IARC Working Group. *N. Engl. J. Med.* 2015; 372: 2353–2358. <http://doi.org/10.1056/NEJMSr1504363>
- Breast-cancer screening with mammography in women aged 40–49 years Swedish Cancer Society and the Swedish National Board of Health and Welfare. *Int. J. Cancer.* 1996; 68: 693–699.
- Pasyнков D.V., Egoshin I.A., Kolchev A.A., Kliouchkin I.V., Busygina O.V. Diagnostic Value of 1st and 2nd Generation Computer Aided Detection Systems for Mammography: a Comparative Assessment. *Medical visualization.* 2017; 21 (1): 90–102. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-1-90-102>. (In Russian)
- Pasyнков D.V., Egoshin I.A., Kolchev A.A., Kliouchkin I.V., Pasynkova O.O. The value of computer aided detection system in breast cancer difficult to detect at screening mammography. *REJR.* 2019; 9 (2): 107–118. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-107-118> (In Russian)
- Egoshin I., Pasyнков D., Kolchev A., Kliouchkin I., Pasynkova O. A segmentation approach for mammographic images and its clinical value (2018). 2017 IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems, COMCAS 2017, 2018-January: 1–6. <http://doi.org/10.1109/COMCAS.2017.8244764>
- Shaevitch D., Taghipour S., Miller A.B., Montgomery N., Harvey B. Tumor size distribution of invasive breast cancers and the sensitivity of screening methods in the



- Canadian National Breast Screening Study. *J. Can. Res. Ther.* 2017; 13: 562–569. <http://doi.org/10.4103/0973-1482.174539>
11. Labazanov P.G., Rozhkova N.I., Burdina I.I., Zapirova S.B., Mazo M. L., Mikushin S. Yu. et al. Mammographic density and risk of breast cancer (a look at the history of studying the issue). *REJR.* 2020; 10 (2): 205–222. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-2-205-222> (In Russian)
 12. Miglioretti D.L., Zhu W., Kerlikowske K., Sprague B.L., Onega T., Buist D.S. et al. Breast Tumor Prognostic Characteristics and Biennial vs Annual Mammography, Age, and Menopausal Status. *JAMA Oncol.* 2015; 1 (8): 1069–1077. <http://doi.org/10.1001/jamaoncol.2015.3084>
 13. Peer P.G., van Dijck J.A., Hendriks J.H., Holland R., Verbeek A.L. Age-dependent growth rate of primary breast cancer. *Cancer.* 1993; 71 (11): 3547–3551.
 14. Tubtimhin S, Promthet S, Suwanrungruang K, Supattagorn P. Molecular Subtypes and Prognostic Factors among Premenopausal and Postmenopausal Thai Women with Invasive Breast Cancer: 15 Years Follow-up Data. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 2018; 19 (11): 3167–3174. <http://doi.org/10.31557/APJCP.2018.19.11.3167>
 15. Gazhonova V.E., Efremova M.P., Dorohova E.A. The value of the ultrasound tomography in the assessment of the breast cancer prognosis – molecular classification of the breast cancer. *Oncology Bulletin of the Volga Region.* 2016; 24 (2): 26–32. (In Russian)
 16. Calas M.J.G., Gutfilen B., Pereira W.C.A. CAD and mammography: why use this tool? *Radiol. Bras.* 2012; 45 (1): 46–52. <http://doi.org/10.1590/S0100-39842012000100011>

Для корреспонденции*: Пасынков Дмитрий Валерьевич – 424037 Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22. ГБУ Республики Марий Эл “Республиканский онкологический диспансер”. Тел.: +7-902-329-76-51. E-mail: passynkov@mail.ru

Пасынков Дмитрий Валерьевич – канд. мед. наук, ассистент кафедры ультразвуковой диагностики Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; доцент кафедры лучевой диагностики и онкологии ФГБОУ ВО “Марийский государственный университет” Министерства образования и науки России; заведующий отделением лучевой диагностики ГБУ Республики Марий Эл “Республиканский онкологический диспансер”. <https://orcid.org/0000-0003-1888-2307>

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

Хасанов Рустем Шамильевич – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, директор Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, заведующий кафедрой онкологии, радиологии и паллиативной медицины; Казань. <https://orcid.org/0000-0003-4107-8608>

Contact*: Dmitry V. Pasynkov – 22 Osipenko St., Yoshkar-Ola 424037 Russian Federation. State-financed Institution of Mari El Republic “Republican Oncology Dispensary”. Phone: +7-902-329-76-51. E-mail: passynkov@mail.ru

Dmitry V. Pasynkov – Cand. of Sci. (Med.), Assistant Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Kazan State Medical Academy – Branch Campus of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education “Russian Medical Academy of Continuous Professional Education”; Associate Professor of the Department of Radiology and Oncology, Mari State University; Head of Radiology Department, State-financed Institution of Mari El Republic “Republican Oncology Dispensary”. <https://orcid.org/0000-0003-1888-2307>

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

Rustem Sh. Khasanov – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director and Head of Department of Oncology, Radiation Oncology and Palliative Care of the Kazan State Medical Academy – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan. <https://orcid.org/0000-0003-4107-8608>.



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-987>

Диагностическая и прогностическая ценность диффузионно-взвешенного изображения печени при магнитно-резонансной томографии у пациентов с алкогольной болезнью печени

© Морозова Т.Г.¹, Лозбенев Ф.С.², Ковалёв А.В.^{1*}

¹ ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России Смоленск; 214039 Смоленск, ул. Крупской, д. 28, Российская Федерация

² Проблемная научно-исследовательская лаборатория «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России, Смоленск; 214039 Смоленск, ул. Крупской, д. 28, Российская Федерация

Цель исследования: оценка диагностической и прогностической ценности диффузионно-взвешенного изображения (ДВИ) печени при магнитно-резонансной томографии (МРТ) у пациентов с алкогольной болезнью печени (АБП).

Материал и методы. Обследовано 113 пациентов с АБП, среди них 65 (57,5%) мужчин и 48 (42,5%) женщин. Средний возраст больных $46,3 \pm 5,2$ года. Структура инструментального алгоритма обследования пациентов была представлена: УЗИ органов брюшной полости с клинической эластографией – 98 (86,7%) больных, МРТ печени с обязательным включением в протокол последовательности ДВИ печени ($n = 113$). При последовательности ДВИ печени использовались значения b-фактора 100/600/1000. Референтным методом была выбрана биопсия печени у 65 (57,5%) пациентов.

Результаты и обсуждение. Наблюдение за пациентами велось в течение 12 мес. На первом этапе проводилась оценка качественной характеристики последовательности ДВИ печени: нет или есть ограничение диффузии. На втором этапе проводилась оценка количественных показателей последовательности ДВИ в виде расчета измеряемого показателя диффузии и коэффициента. С целью стандартизации методики ДВИ печени при МРТ у больных с АБП результаты были сопоставлены с данными клинической эластографии ($p < 0,01$) и биопсией печени ($p < 0,05$). При поступлении и мониторинге за пациентами (через 1, 3, 6, 9 мес) была установлена высокая корреляционная связь в оценке сопоставления количественных показателей ДВИ с клинической эластографией ($r = 0,873$) и средняя корреляционная связь с данными биопсии ($r = 0,715$).

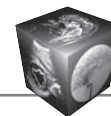
Выводы. Отмечена высокая корреляционная связь ограничения диффузии печени при МРТ и отрицательной клинко-лабораторной динамики ($r = 0,889$) и отсутствия ограничения диффузии в печени и положительной клинко-лабораторной динамики ($r = 0,885$). ДВИ печени при МРТ у пациентов с АБП имеет высокую диагностическую и прогностическую значимость в оценке нарушения режима абстиненции (AUROC = 0,903 (95% ДИ 0,871–0,911)). Диагностическая и прогностическая значимость разработанных критериев ДВИ печени при МРТ у пациентов с АБП при поступлении: для качественной оценки AUROC = 0,844 (95% ДИ 0,801–0,869), количественной – AUROC = 0,908 (95% ДИ 0,875–0,911); при динамическом наблюдении: для качественной оценки AUROC = 0,939 (95% ДИ 0,901–0,955), количественной – AUROC = 0,919 (95% ДИ 0,871–0,931).

Ключевые слова: диффузионно-взвешенные изображения, магнитно-резонансная томография, алкогольная болезнь печени

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Морозова Т.Г., Лозбенев Ф.С., Ковалёв А.В. Диагностическая и прогностическая ценность диффузионно-взвешенного изображения печени при магнитно-резонансной томографии у пациентов с алкогольной болезнью печени. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 106–114.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-987>

Поступила в редакцию: 11.02.2021. Принята к печати: 23.09.2021. Опубликовано online: 29.12.2021.



Diagnostic and prognostic value of a diffusion-weighted image of the liver with magnetic resonance imaging in patients with alcoholic liver disease

© Tatiana G. Morozova¹, Fedor S. Lozbenov², Aleksey V. Kovalev^{1*}

¹ Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy Smolensk State Medical University; 28, Krupskoy str., Smolensk, 214039, Russian Federation

² Fundamental research laboratory "Diagnostic researches and minimally invasive technologies", Smolensk State Medical University, the Ministry of Health of the Russian Federation; 28, Krupskoy str., Smolensk, 214039, Russian Federation

The aim of the study was to assess the diagnostic and prognostic value of a diffusion-weighted image of the liver with magnetic resonance imaging in patients with alcoholic liver disease.

Material and methods. A total of 113 patients with alcoholic liver disease (ALD) were examined. Among them, 65 (57.5%) are men and 48 (42.5%) are women. The mean age of patients is 46.3 ± 5.2 years. The structure of the instrumental algorithm for examining patients was presented: ultrasound of the abdominal cavity organs with clinical elastography – 98 (86.7%) patients, MRI of the liver with the mandatory inclusion of the DWI liver sequence in the protocol ($n = 113$). The b-factor values of 100/600/1000 were used for the liver DWI sequence. Liver biopsy was chosen as the reference method in 65 (57.5%) patients.

Results. The patients were monitored for 12 months. At the first stage, the qualitative characteristics of the liver DWI sequence were assessed: no or there is a diffusion limitation. At the second stage, the quantitative indicators of the DWI sequence were assessed in the form of calculating the measured diffusion index and coefficient. In order to standardize the technique of liver DWI on MRI in patients with ALD, the results were compared with the data of clinical elastography ($p < 0.01$) and liver biopsy ($p < 0.05$). Upon admission and monitoring of patients (after 1, 3, 6, 9 months), a high correlation was found in the assessment of comparing the quantitative indicators of DWI with clinical elastography ($r = 0.873$) and an average correlation with biopsy data ($r = 0.715$).

Conclusions. There was a high correlation between the limitation of liver diffusion on MRI and negative clinical and laboratory dynamics ($r = 0.889$) and in the absence of limitation of diffusion in the liver and positive clinical and laboratory dynamics ($r = 0.885$). DWI of the liver on MRI in patients with ALD has a high diagnostic and prognostic value in assessing abnormal abstinence regimen (AUROC = 0.903 (95% CI 0.871–0.911)). Diagnostic and prognostic significance of the developed criteria for DWI of the liver at MRI in patients with ABD at admission: for a qualitative assessment AUROC = 0.844 (95% CI 0.801–0.869), quantitative – AUROC = 0.908 (95% CI 0.875–0.911); with dynamic observation: for a qualitative assessment AUROC = 0.939 (95% CI 0.901–0.955), quantitative – AUROC = 0.919 (95% CI 0.871–0.931).

Keywords: diffusion-weighted images, magnetic resonance imaging, alcoholic liver disease

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

For citation: Morozova T.G., Lozbenov F.S., Kovalev A.V. Diagnostic and prognostic value of a diffusion-weighted image of the liver with magnetic resonance imaging in patients with alcoholic liver disease. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 106–114. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-987>

Received: 11.02.2021.

Accepted for publication: 23.09.2021.

Published online: 29.12.2021.

Введение

Одним из самых распространенных заболеваний развитых стран мира является алкогольная болезнь печени (АБП) [1, 2]. Данным заболеванием страдают мужчины, реже женщины, трудоспособного возраста, у которых развивается хроническая алкогольная интоксикация на фоне приема алкогольных напитков [2, 3].

При прекращении длительного систематического употребления алкогольных напитков возникает алкогольный абстинентный синдром – состоя-

ние, сопровождающееся психическими, неврологическими, соматическими и вегетативными нарушениями [3]. Часто больные нарушают режим лечения, что приводит к ухудшению состояния, или продолжают употреблять алкоголь на фоне назначенной терапии.

Современные диагностические методы прогнозирования не способны точно определить, был нарушен режим абстиненции или нет [3, 4]. Данные анамнеза, которые направлены на анализ общего состояния здоровья больного, не позволяют до-



ственно определить длительность ремиссии. Биохимические показатели крови позволяют определить нарушения режима абстиненции в первые 6–8 ч или 12–48 ч и информативны при хронической, подострой или острой алкогольной интоксикации, причем не представляется возможным прогнозировать тяжесть течения АБП [3–5].

Важной составляющей лечебно-диагностического алгоритма для пациентов с АБП является: 1) диагностика клинической формы; 2) прогнозирование течения и исхода заболевания; 3) причины отрицательной динамики на фоне назначенной терапии с целью последующей коррекции.

На современном этапе развития медицины наблюдается отказ больных с АБП от проведения биопсии печени. Осведомленность пациентов о высокотехнологичных методах исследований заставляет специалистов разрабатывать такие методики, которые обладают неинвазивными комплексными характеристиками, позволяющими в максимальном объеме получить информацию о клинической форме АБП [4, 5].

Диффузионно-взвешенное изображение (ДВИ) печени с качественной оценкой диффузии – это специальный метод магнитно-резонансной томографии (МРТ), позволяющей неинвазивно определять изменения диффузии в гепатоцитах, которые возникают на разных этапах течения болезни и в момент проведения лечения [6–8].

Цель исследования

Оценить диагностическую и прогностическую ценность ДВИ печени при МРТ у пациентов с алкогольной болезнью печени.

Материал и методы

Обследовано 113 пациентов с АБП. Среди них 65 (57,5%) мужчин и 48 (42,5%) женщин. Средний возраст больных $46,3 \pm 5,2$ года. Распределение

пациентов в соответствии с клиническими формами АБП представлено в табл. 1.

Структура инструментального алгоритма обследования пациентов была представлена: УЗИ органов брюшной полости с клинической эластографией – 98 (86,7%) больных, МРТ печени с обязательным включением в протокол последовательности ДВИ печени ($n = 113$). Референтным методом была выбрана биопсия печени у 65 (57,5%) пациентов.

При последовательности ДВИ печени использовались значения b-фактора 100/600/1000. Диагностическая ценность ДВИ печени была связана с особенностями патогенетического течения клинических форм АБП. Усиление реакции перекисного окисления липидов, происходящее под воздействием токсического влияния ацетальдегида, приводит к формированию стойких комплексных соединений с белками, нарушению функционального состояния мембран гепатоцитов [1, 2]. Дефект трансмембранной транспортировки в гепатоцитах приводит к задержке белков и воды, тем самым приводя к баллонной дистрофии гепатоцитов, увеличению их объема и уменьшению межклеточных пространств. В последующем это находит свое отражение в гипоксии и стимуляции коллагенообразования (фиброз) [3, 4]. Одним из составляющих звеньев патогенеза прогрессирования патологии печени является диффузия воды: свободная диффузия молекул воды в вокселе ткани печени ограничена клеточными мембранами, диффузией воды во внеклеточном пространстве, внеклеточном и их комбинации [7–9]. Таким образом, движение воды в гепатоцитах при их набухании и уменьшении объема внеклеточных пространств более ограничивается, т.е. плотность расположения клеток и уменьшение объема внеклеточных пространств, переход воды в клетку ведут к уменьшению диффузии – ограничению (рис. 1).

Таблица 1. Распределение клинических форм АБП

Table 1. Distribution of clinical forms of ADL

Клиническая форма АБП	Общее количество пациентов (n = 113)		Возраст, годы
	мужчины абс., %	женщины абс., %	
Стеатоз (n = 19)	10 (15,4)	9 (18,8)	$46,3 \pm 5,2$
Стеатогепатит (n = 25)	14 (21,5)	11 (22,9)	
Гепатит (n = 47)	28 (43,1)	19 (39,5)	
Цирроз (n = 22):	13 (20)	9 (18,8)	
класс А по Чайлд–Пью	4 (30,7)	2 (22,2)	
класс В по Чайлд–Пью	6 (46,2)	5 (55,6)	
класс С по Чайлд–Пью	3 (23,1)	2 (22,2)	113 (100)
Всего	65 (57,5)	48 (42,5)	

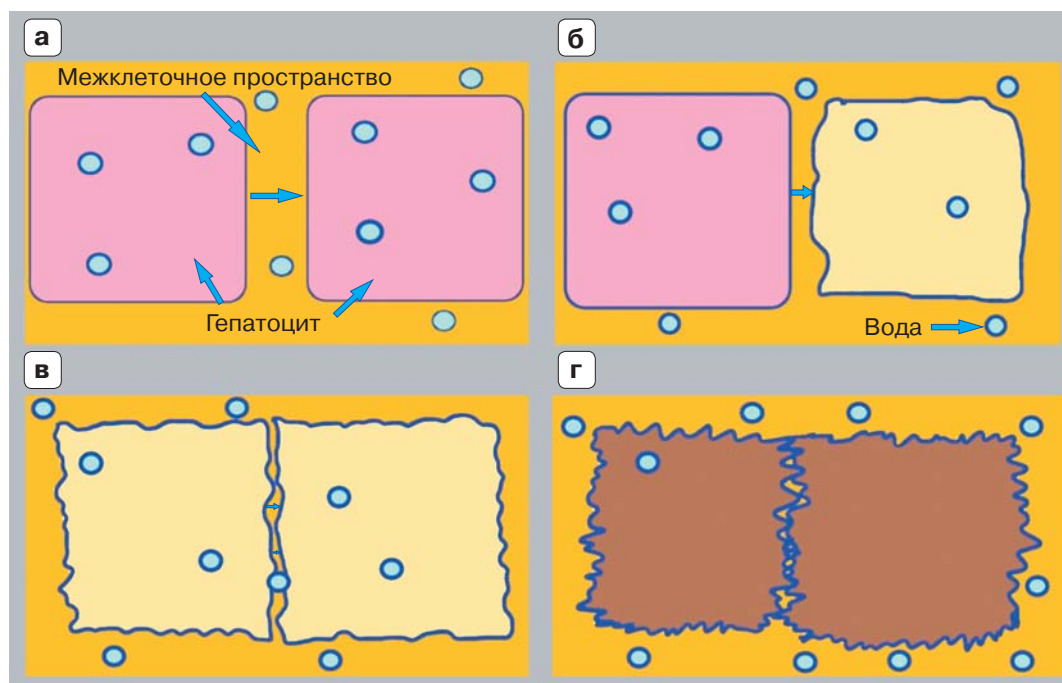
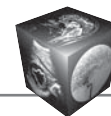


Рис. 1. Модель диффузии молекул воды в печени при изменении клеточной оболочки гепатоцитов, внутри-/внеклеточных пространств в зависимости от клинической формы АБП. **а** – стеатоз; **б** – стеатогепатит; **в** – гепатит; **г** – цирроз.

Fig. 1. A model of the diffusion of water molecules in the liver with a change in the cell membrane of hepatocytes, intra-/extracellular spaces, depending on the clinical form of ALD. **a** – steatosis; **б** – steatohepatitis; **в** – hepatitis; **г** – cirrhosis.



Рис. 2. Положение пациента в магнитно-резонансном томографе при проведении ДВИ печени.

Fig. 2. The position of the patient in the magnetic resonance imager during the DWI of the liver.

Последовательность ДВИ для данной группы пациентов предусматривала оценку изотропных изображений и карт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Исследование проводилось в магнитно-резонансном томографе с мощностью 1,5 Тл, с использованием датчика дыхательной

синхронизации для исключения артефактов. Изображения, полученные путем синхронизации с дыханием, обладают рядом преимуществ: лучшее соотношение сигнал/шум (в особенности при высоких b-value), возможность применения большего количества значений “b”, что обеспечивает получение более точных значений ИКД [10, 11]. Средняя продолжительность такого исследования в среднем составляет 3–7 мин. Получение ДВИ на задержке дыхания требует меньшего количества времени, однако характеризуется субоптимальным соотношением сигнал/шум и большей чувствительностью к артефактам. Укладка пациента в томографе строго в горизонтальном положении на спине; на переднюю брюшную стенку накладывалась 16-канальная абдоминальная катушка (рис. 2).

Статистическая обработка полученных результатов была проведена с помощью пакета статистического анализа Statistica 6.0. Проводились построение ROC-кривых и расчет площади под кривой AUROC, что было необходимо для подтверждения диагностической и прогностической значимости ДВИ печени при МРТ при поступлении и при динамическом наблюдении за пациентами с АБП.



Результаты и их обсуждение

Наблюдение за пациентами проводилось в течение 12 мес. На основании полученных данных были разработаны основные комплексные магнитно-резонансные критерии. На первом этапе проводилась оценка качественной характеристики последовательности ДВИ печени: нет или есть ограничение диффузии (табл. 2).

Таким образом, результаты качественной характеристики последовательности ДВИ печени недостоверны для оценки клинических форм АБП.

На втором этапе проводилась оценка количественных показателей последовательности ДВИ в виде расчета измеряемого показателя диффузии и коэффициента. С целью стандартизации методики ДВИ печени при МРТ у больных с АБП результаты были сопоставлены с данными клинической эластографии и биопсией печени (табл. 3).

При поступлении и мониторинге за пациентами (через 1, 3, 6, 9 мес) была установлена высокая корреляционная связь в оценке сопоставления количественных показателей ДВИ с клинической эластографией ($r = 0,873$) и средняя корреляционная связь с данными биопсии ($r = 0,715$).

При динамическом наблюдении за пациентами через 1 мес у 60 (53,1%) исследуемых из 113 отмечена отрицательная клиничко-лабораторная динамика, а по данным ДВИ печени при МРТ – ограничение диффузии ($r = 0,889$). После проведения коррекции назначенной терапии (гепатопротекторы, дезинтоксикационная терапия, ферментотерапия) через 1 мес у 26 (43,3%) из 60 – положительная клиничко-лабораторная динамика, по данным ДВИ – нет ограничения диффузии ($r = 0,885$). У 34 (56,7%) из 60 сохранялись изменения в биохимическом анализе крови и ограничение диффу-

Таблица 2. Результаты качественной характеристики ДВИ печени при МРТ у пациентов с АБП ($n = 113$)

Table 2. Results of the qualitative characteristics of DWI of the liver during MRI in patients with ADL ($n = 113$)

Клинический диагноз АБП*	T2-взвешенное изображение	ДВИ (качественная характеристика)*		p*
		нет ограничения, абс. (%)	есть ограничение, абс. (%)	
Стеатоз ($n = 19$)	Высокий сигнал	21 (57)	9 (13)	$>0,05$
Стеатогепатит ($n = 25$)	Высокий/ промежуточный сигнал	21 (57)	9 (13)	$>0,05$
Гепатит ($n = 47$)	Высокий/ промежуточный сигнал	21 (57)	9 (13)	$>0,01$
Цирроз ($n = 22$)	Низкий сигнал	21 (57)	9 (13)	$>0,05$
Всего ($n = 113$)				

Примечание. * – достоверность результатов.

Таблица 3. Сопоставление данных МРТ печени в режиме ДВИ с данными клиничской эластографии и биопсии печени

Table 3. Comparison of the MRI data of the liver in the DWI mode with the data of clinch elastography and liver biopsy

Клинический диагноз АБП*	ДВИ (количественная характеристика)*/**/***		Клиническая эластография**	Гистологическое исследование***
	измеряемые показатели диффузии, $\text{мм}^2/\text{с}$	ИКД		
Стеатоз ($n = 19$)	$2,66 \pm 0,9$	2,7	Стадия фиброза F0–F1	Жировая инфильтрация
Стеатогепатит ($n = 25$)	$2,14 \pm 0,5$	2,1	Стадия фиброза F1–F2	Жировая инфильтрация + умеренный фиброз
Гепатит ($n = 47$)	$1,75 \pm 0,6$	1,3	Стадия фиброза F2–F3	Умеренный/ выраженный фиброз
Цирроз ($n = 22$)	$1,15 \pm 0,6$	<1	Стадия фиброза F4	Цирроз
Всего				

Примечание. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,05$.

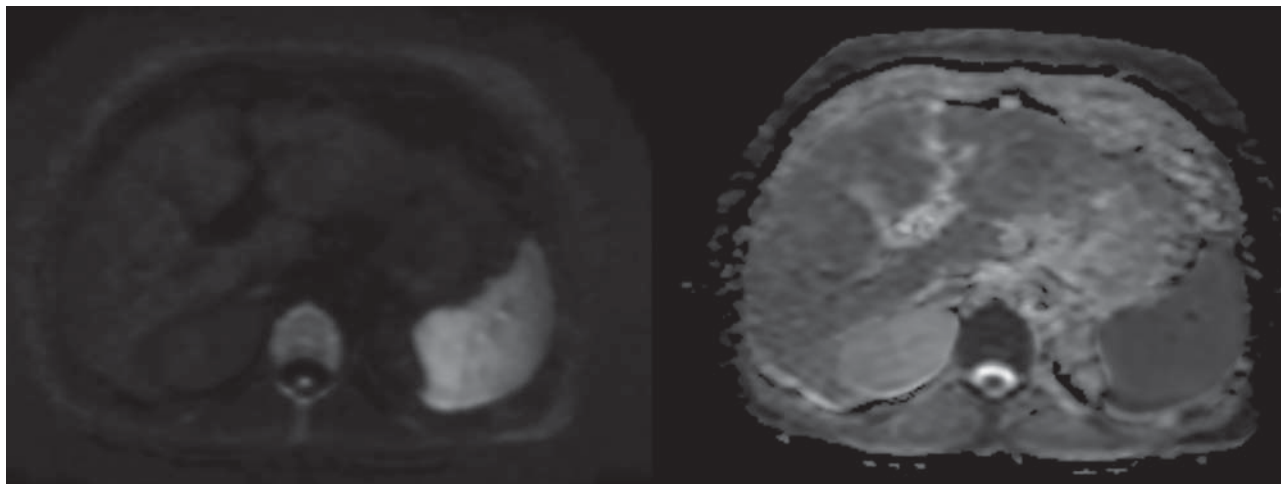
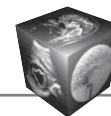


Рис. 3. Пациент Т., 49 лет, МРТ органов брюшной полости (есть ограничения диффузии), цирроз печени алкогольного генеза. **а** – ДВИ печени, аксиальный срез (b-фактор 1000); **б** – ИКД печени, аксиальный срез (b-фактор 1000) (употребление спиртных напитков).

Fig. 3. Patient T., 49 years old, MRI of the abdominal organs (there are diffusion restrictions) liver cirrhosis of alcoholic origin. **a** – DWI of the liver, axial slice (b-factor 1000); **б** – ICD liver, axial slice (b-factor 1000) (drinking alcoholic beverages).

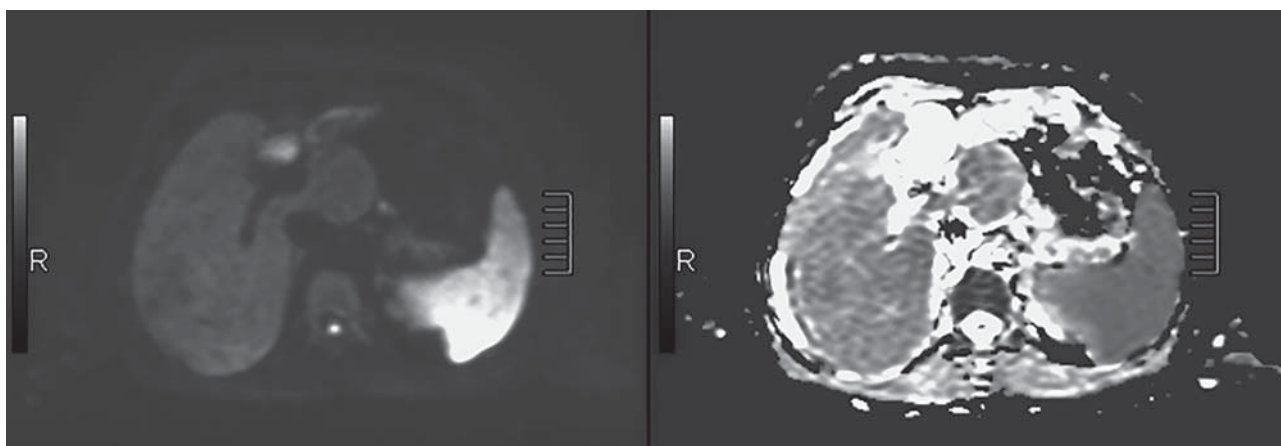


Рис. 4. Пациент Т., 49 лет, МРТ органов брюшной полости (нет ограничение диффузии) цирроз печени алкогольного генеза (после лечения). **а** – ДВИ печени, аксиальный срез (b-фактор 1000); **б** – ИКД печени, аксиальный срез (b-фактор 1000) (отказ от употребления спиртных напитков).

Fig. 4. Patient T., 49 years old, MRI of the abdominal organs (no diffusion restriction), alcoholic liver cirrhosis (after treatment). **a** – DWI of the liver, axial slice (b-factor 1000); **б** – ICD liver, axial slice (b-factor 1000) (refusal to drink alcohol).

зии при МРТ печени. Через 3 мес у 2 (5,8%) из 34 больных показатели в биохимическом анализе крови нормализовались, не было ограничения диффузии по данным ДВИ печени при МРТ. Таким образом, отмечается высокая корреляционная связь изменений в биохимическом анализе крови и ДВИ печени при МРТ.

Через 9 мес у 32 пациентов сохранились синдром цитолиза, ограничение диффузии при МРТ печени. В беседе было установлено: пациенты на фоне лечения продолжали прием спиртных напитков, что обосновывало ограничение диффузии как

проявления МР-признаков воспалительной реакции в структуре паренхимы печени (рис. 3).

Через 12 мес у всех пациентов ($n = 32$) отмечена положительная динамика – нет ограничения диффузии, что подтверждало возможность качественной характеристики ДВИ печени в оценке нарушений режима абстиненции ($AUROC = 0,903$ (95% ДИ 0,871–0,911)) (рис. 4). Следует отметить, что у 11 (34,4%) из 32 больных сохранились изменения в биохимическом анализе крови, но не было ограничения диффузии по данным МРТ печени. Этой группе пациентов ($n = 11$) проведена коррек-

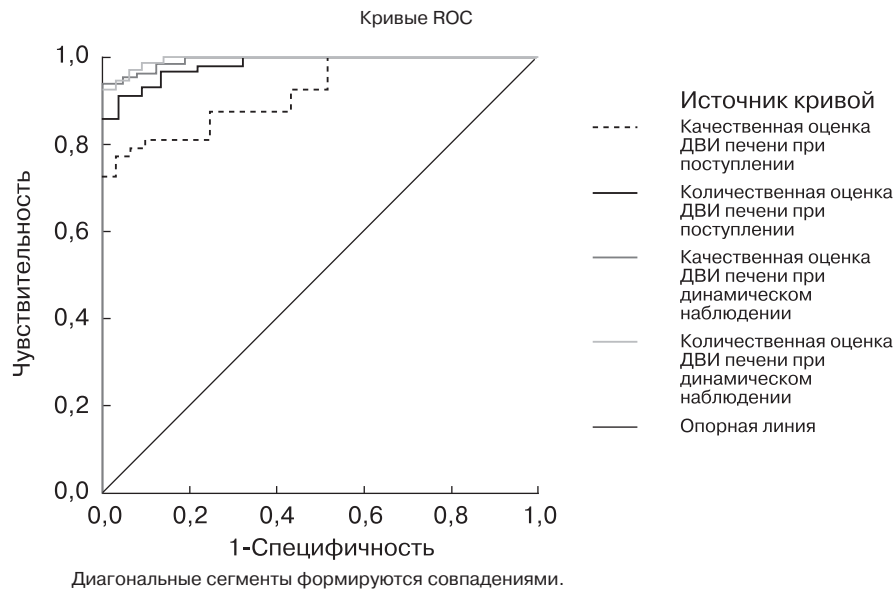
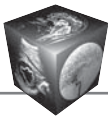


Рис. 5. Диагностическая и прогностическая значимость качественной и количественной оценок последовательности ДВИ печени при МРТ.

Fig. 5. Diagnostic and prognostic significance of qualitative and quantitative assessments of the liver DWI sequence by MRI.

ция получаемого патогенетического лечения: положительная динамика через 1 мес.

Необходимо отметить, что количественные показатели коррелировали с имеющимися клиническими формами АБП независимо от того, имелось или нет ограничение диффузии в паренхиме печени по данным последовательности ДВИ ($r = 0,925$).

Была проведена оценка диагностической и прогностической значимости разработанных критериев ДВИ печени при МРТ у пациентов с АБП при поступлении: для качественной оценки AUROC = 0,844 (95% ДИ 0,801–0,869), количественной – AUROC = 0,908 (95% ДИ 0,875–0,911); при динамическом наблюдении: для качественной оценки AUROC = 0,939 (95% ДИ 0,901–0,955), количественной – AUROC = 0,919 (95% ДИ 0,871–0,931) (рис. 5).

Полученные результаты свидетельствовали об отличном качестве диагностической и прогностической модели последовательности ДВИ печени при МРТ для пациентов с АБП при поступлении и динамическом наблюдении за пациентами с АБП.

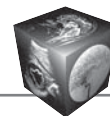
ДВИ – бесконтрастная методика МРТ, которая нашла свое широкое применение при заболеваниях головного мозга, лимфатических узлов, малого таза. Остаются вопросы по изучению возможностей при заболеваниях печени. В современной литературе встречаются публикации о возможностях ДВИ печени в дифференциальной диагности-

ке очаговых образований [10, 11]. Многими авторами подчеркивается роль количественного анализа ДВИ в характеристике очаговой патологии печени, основанного на значениях ИКД [7, 11]. Но данные о роли количественного анализа ДВИ в дифференциальной диагностике солидных опухолей печени противоречивы. В научном сообществе нет единого мнения о том, какие именно характеристики ДВИ оптимальны для анализа [7]. В литературных источниках не встречается научной информации о возможностях последовательности ДВИ при МРТ для пациентов с АБП, являясь неинвазивным методом и комплексной методикой (качественные и количественные характеристики), правильный подход в диагностическом алгоритме для вышеописанной группы пациентов расширяет возможности лучевой диагностики, снижает количество инвазивных вмешательств, дополняет, а в некоторых случаях взаимозаменяет другие неинвазивные методы.

Выводы

1. При поступлении и динамическом наблюдении за пациентами с АБП установлена высокая корреляционная связь в оценке сопоставления количественных показателей ДВИ печени с клинической эластографией ($r = 0,873$) и средняя корреляционная связь с данными биопсии ($r = 0,715$).

2. Отмечена высокая корреляционная связь ограничения диффузии печени при МРТ и отрицательной клинико-лабораторной динамики ($r = 0,889$)



и при отсутствии ограничения диффузии в печени и положительной клинико-лабораторной динамикой ($r = 0,885$).

3. ДВИ печени при МРТ у пациентов с АБП имеет высокую диагностическую и прогностическую значимость в оценке нарушения режима абстиненции (AUROC = 0,903 (95% ДИ 0,871–0,911)).

4. Диагностическая и прогностическая значимость разработанных критериев ДВИ печени при МРТ у пациентов с АБП при поступлении: для качественной оценки AUROC=0,844 (95% ДИ 0,801–0,869), количественной – AUROC=0,908 (95% ДИ 0,875–0,911); при динамическом наблюдении: для качественной оценки AUROC = 0,939 (95% ДИ 0,901–0,955), количественной – AUROC = 0,919 (95% ДИ 0,871–0,931).

Участие авторов

Морозова Т.Г. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи, статистическая обработка данных.

Лозбенев Ф.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста, участие в научном дизайне, анализ и интерпретация полученных данных.

Ковалёв А.В. – ответственность за целостность всех частей статьи, подготовка, создание опубликованной работы, подготовка и редактирование текста.

Authors' participation

Morozova T.G. – concept and design of the study, approval of the final version of the article, statistical analysis.

Lozbennev F.S. – conducting research, collection and analysis of data, writing text, participation in scientific design, analysis and interpretation of the obtained data.

Kovalev A.V. – responsibility for the integrity of all parts of the article, preparation and creation of the published work, text preparation and editing.

Список литературы

1. EASL Clinical Practical Guidelines: Management of Alcoholic Liver Disease. *J. Hepatol.* 2018; 69: 154–181.
2. Ивашкин В.Т., Маевская М.В., Павлов Ч.С., Сиволоп Ю.П., Луньков В.Д., Жаркова М.С., Масленников Р.В. Клинические рекомендации Российского общества по изучению печени по ведению взрослых пациентов с алкогольной болезнью печени. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии.* 2017; 27 (6): 20–40. <http://doi.org/10.22416/1382-4376-2017-27-6-20-40>
3. Краткое профилактическое консультирование в отношении употребления алкоголя: учебное пособие ВОЗ для первичного звена медико-санитарной помощи (русскоязычная версия). ВОЗ. 2017 [электронный ресурс] <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/disease-prevention/alcohol-use/publications/2017/whoalcohol>

brief-intervention-training-manual-for-primary-care-2017.

4. Gong A., Leitold S., Uhanova J., Dolovich C., Medd P., Peretz D., Minuk G. Predicting pre-transplant abstinence in patients with alcohol-induced liver disease. *Clin. Invest. Med.* 2018; 41 (2): E37–E42. <http://doi.org/10.25011/cim.v41i2.29913>
5. Sigrist R.M.S., Liao J., Kaffas A.E., Chammass M.C., Willmann J.K. Ultrasound elastography: review of techniques and clinical applications. *Theranostics.* 2017; 7 (5): 1303–1329. <http://doi.org/10.7150/thno.18650>
6. Banerjee R., Pavlides M., Tunncliffe E.M., Piechnik S.K., Sarania N., Philips R., Collier J.D., Booth J.C., Schneider J.E., Wang L.M., Delaney D.W., Fleming K.A., Robson M.D., Barnes E., Neubauer S. Multiparametric magnetic resonance for the non-invasive diagnosis of liver disease. *J. Hepatol.* 2014; 60 (1): 69–77. <http://doi.org/10.1016/j.jhep.2013.09.002>
7. Романова К.А. Анализ современных возможностей МРТ-диагностики очаговых образований в печени. *Российский онкологический журнал.* 2015; 1: 47–54.
8. Ратников В.А., Бакушкин И.А., Скульский С.К., Крживицкий П.И., Пономарева О.И., Алентьев С.А. Магнитно-резонансная томография с применением гадоксетовой кислоты: новые возможности диагностики заболеваний гепатобилиарной системы. *Анналы хирургической гепатологии.* 2008; 4: 85–95.
9. Gomez D., Lobo D.N. Malignant liver tumors. *Surgery (Oxford).* 2011; 29 (12): 632–639.
10. Albiin N. MRI of focal liver lesions. *Curr. Med. Imag. Rev.* 2012; 8 (2): 107–116. <http://doi.org/10.2174/157340512800672216>
11. Watanabe A., Ramalho M., AlObaidy M., Kim H.J., Velloni F.G., Semelka R.C. Magnetic resonance imaging of the cirrhotic liver: an update. *Wld J. Hepatol.* 2015; 7 (3): 468–487. <http://doi.org/10.4254/wjh.v7.i3.468>

References

1. EASL Clinical Practical Guidelines: Management of Alcoholic Liver Disease. *J. Hepatol.* 2018; 69: 154–181.
2. Ivashkin V.T., Mayevskaya M.V., Pavlov Ch.S., Sivolap Yu.P., Lunkov V.D., Zharkova M.S., Maslennikov R.V. Management of adult patients with alcoholic liver disease: clinical guidelines of the russian scientific liver society. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology.* 2017; 27 (6): 20–40. <http://doi.org/10.22416/1382-4376-2017-27-6-20-40>. (In Russian)
3. WHO alcohol brief intervention training manual for primary care / WHO. 2017. <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/disease-prevention/alcohol-use/publications/2017/whoalcohol-brief-intervention-training-manual-for-primary-care-2017>. (In Russian)
4. Gong A., Leitold S., Uhanova J., Dolovich C., Medd P., Peretz D., Minuk G. Predicting pre-transplant abstinence in patients with alcohol-induced liver disease. *Clin. Invest. Med.* 2018; 41 (2): E37–E42. <http://doi.org/10.25011/cim.v41i2.29913>
5. Sigrist R.M.S., Liao J., Kaffas A.E., Chammass M.C., Willmann J.K. Ultrasound elastography: review of techniques and clinical applications. *Theranostics.* 2017; 7 (5): 1303–1329. <http://doi.org/10.7150/thno.18650>
6. Banerjee R., Pavlides M., Tunncliffe E.M., Piechnik S.K., Sarania N., Philips R., Collier J.D., Booth J.C.,



- Schneider J.E., Wang L.M., Delaney D.W., Fleming K.A., Robson M.D., Barnes E., Neubauer S. Multiparametric magnetic resonance for the non-invasive diagnosis of liver disease. *J. Hepatol.* 2014; 60 (1): 69–77. <http://doi.org/10.1016/j.jhep.2013.09.002>
7. Romanova K.A. Analysis of current MRI capabilities in diagnosis of the focal liver lesions. *Russian Journal of Oncology = Rossiiskii Onkologicheskii Zhurnal.* 2015; 1: 47–54. (In Russian)
8. Ratnikov V.A., Bakushkin I.A., Skulsky S.K., Kryvitsky P.I., Ponomoreva O.I., Alentiev S.A. Contrast-enhanced magnetic resonance imaging with Gd-EOB-DTPA: new potentiality in diagnostics of hepatobiliary system diseases. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB surgery.* 2008; 4: 85–95. (In Russian)
9. Gomez D., Lobo D.N. Malignant liver tumors. *Surgery (Oxford).* 2011; 29 (12): 632–639.
10. Albiin N. MRI of focal liver lesions. *Curr. Med. Imag. Rev.* 2012; 8 (2): 107–116. <http://doi.org/10.2174/157340512800672216>
11. Watanabe A., Ramalho M., AlObaidy M., Kim H.J., Velloni F.G., Semelka R.C. Magnetic resonance imaging of the cirrhotic liver: an update. *Wld J. Hepatol.* 2015; 7 (3): 468–487. <http://doi.org/10.4254/wjh.v7.i3.468>

Для корреспонденции*: Ковалёв Алексей Викторович – 214039 Смоленск, ул. Крупской, д. 28. Смоленский государственный медицинский университет Минздрава России. E-mail: alcoon@mail.ru

Морозова Татьяна Геннадьевна – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, Смоленск. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>. E-mail: t.g.morozova@yandex.ru

Лозбенев Федор Сергеевич – аспирант ПНИЛ “Диагностические исследования и малоинвазивные технологии” Смоленского государственного университета Минздрава России, Смоленск. <https://orcid.org/0000-0002-1628-9899>. E-mail: lozfes@gmail.com

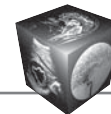
Ковалёв Алексей Викторович – канд. мед. наук, ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Смоленский государственный медицинский университет” Минздрава России, Смоленск. <https://orcid.org/0000-0002-7754-5477>. E-mail: alcoon@mail.ru

Contact*: Aleksey V. Kovalev - 28, Krupskoy str., Smolensk, 214039, Russian Federation. Smolensk State Medical University. E-mail: alcoon@mail.ru

Tatiana G. Morozova – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy Smolensk State Medical University, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>. E-mail: t.g.morozova@yandex.ru

Fedor S. Lozbenev – graduate student of the Fundamental research laboratory “Diagnostic researches and minimally invasive technologies”, Smolensk State Medical University, the Ministry of Health of the Russian Federation, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0002-1628-9899>. E-mail: lozfes@gmail.com

Aleksey V. Kovalev – Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Smolensk State Medical University, Smolensk. <https://orcid.org/0000-0002-7754-5477>. E-mail: alcoon@mail.ru



Брюшная полость | Abdomen

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1051>

Эктопированная селезенка в печени, ошибочно принятая за гепатоцеллюлярный рак (клиническое наблюдение внутрипеченочного спленоза)

© Медведева Б.М., Лукьянченко А.Б., Романова К.А.*, Мороз Е.А., Поляков А.Н.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина» Минздрава России;
 115478 Москва, Каширское шоссе, д. 23, Российская Федерация

Представлено редкое клиническое наблюдение пациента 37 лет с внутрипеченочным спленозом – эктопированной в печень добавочной селезенкой, ошибочно диагностированной в предоперационном периоде как гепатоцеллюлярный рак. В анамнезе: спонтанный разрыв основной селезенки с последующей спленэктомией. Добавочная селезенка, расцениваемая как злокачественная опухоль печени, была выявлена в процессе клинического наблюдения за больным по поводу осложненного хронического панкреатита. Окончательный диагноз внутрипеченочного спленоза был установлен после морфологического исследования резецированной печени.

Ключевые слова: печень, спленоз, внутрипеченочный спленоз, гепатоцеллюлярный рак, МРТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Медведева Б.М., Лукьянченко А.Б., Романова К.А., Мороз Е.А., Поляков А.Н. Эктопированная селезенка в печени, ошибочно принятая за гепатоцеллюлярный рак (клиническое наблюдение внутрипеченочного спленоза). *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 115–121.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1051>

Поступила в редакцию: 20.07.2021. **Принята к печати:** 22.11.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.

Intrahepatic splenosis mimicking hepatocellular carcinoma

© Bela M. Medvedeva, Alexander B. Lukianchenko, Ksenia A. Romanova*,
 Ekaterina A. Moroz, Aleksander N. Polyakov

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Health of Russia; 23, Kashirskoe shosse,
 Moscow, 115478, Russian Federation

We present a rare clinical case of a 37-year-old man who had intrahepatic splenosis (IHS) mimics hepatocellular carcinoma on CT/MRI imaging. The patient with a history of splenectomy 14 years ago had no specific complaints and the lesion was found incidentally during follow up imaging for the chronic pancreatitis. Definitive diagnosis of IHS was possible with post-operative histopathological analysis of the resected liver.

Keywords: liver, splenosis, IHS, HCC, MRI

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

For citation: Medvedeva B.M., Lukianchenko A.B., Romanova K.A., Moroz E.A., Polyakov A.N. Intrahepatic splenosis mimicking hepatocellular carcinoma. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 115–121.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1051>

Received: 20.07.2021.

Accepted for publication: 22.11.2021.

Published online: 29.12.2021.



Цель сообщения: продемонстрировать редкое наблюдение внутрипеченочного спленоза (ВПС) – развитие добавочной селезенки в печени у пациента, перенесшего ранее спленэктомию.

Термином “спленоз” обозначают аутоотрансплантацию или имплантацию нормальной живой ткани селезенки в различные (нетипичные) анатомические области тела человека. К предрасполагающим факторам относят предшествующую спленэктомию, абдоминальные травмы и повреждения селезенки [1–6].

Впервые спленоз как таковой был описан Albrecht в 1896 г., а сам данный термин был предложен J. Buchbinder и С. Lipkoffin в 1939 г. [7]. Локализация селезеночных имплантов непредсказуема, они могут быть обнаружены интраперитонеально, на серозной оболочке кишечника, в большом сальнике, на брюшине, на диафрагме, в полости таза, иногда в печени, перикарде и подкожной клетчатке [1–5, 8]. Внутригрудной спленоз ошибочно принимался за первичные опухоли легких или средостения [9]. Описано редкое наблюдение интракраниального спленоза [10].

Сплениоз – это неинкапсулированные или слабо инкапсулированные образования (без характерной формы), содержащие измененную селезеночную ткань [11]. Их питание осуществляется за счет окружающих артерий, размеры образований – различные: от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, описано образование размером около 12 см [11–13].

По данным различных источников, спленоз наблюдается у 44–76% пациентов через определенный интервал времени после травматического повреждения селезенки (абдоминальных травм) или перенесенной спленэктомии в анамнезе. Сплениоз обычно протекает бессимптомно и выявляется случайно при различных диагностических исследованиях или хирургических вмешательствах по другим поводам, но иногда отмечаются неспецифические абдоминальные боли, кровотечения, диарея, анемия [1–5, 11–15].

Одна из редких локализаций спленоза – внутрипеченочная, чаще субкапсулярная [2, 5], при этом отображение выявленного образования может напоминать аденому, фокальную нодулярную гиперплазию (ФНГ), регенеративные или диспластические узлы, гемангиому и гепатоцеллюлярный рак (ГЦР) [1–5, 11, 12, 14, 16, 17].

Приводим клиническое наблюдение.

Пациент С., 37 лет (1984 года рождения), в течение последних 16 лет страдает хроническим панкреатитом с периодическими обострениями, обычно связанными с нарушением диеты. Из анамнеза: в апреле 2007 г.

(т.е. 14 лет назад) имел место спонтанный разрыв селезенки с внутрибрюшным кровотечением, в связи с чем был экстренно госпитализирован в одну из московских клиник и прооперирован (произведена лапаротомия со спленэктомией). В послеоперационном периоде в области ложа удаленной селезенки определялась гематома, которая контролировалась с помощью консервативного лечения.

В сентябре того же 2007 г. госпитализирован повторно с диагнозом: острый панкреатит с формированием некротического скопления (некротической кисты) в хвосте поджелудочной железы и развитием панкреатогенного перитонита. Выполнена лапаротомия с вскрытием и дренированием упомянутой некротической кисты.

В течение последующих лет отмечались периодические обострения хронического панкреатита (раз в 3 года). При очередном обострении (в мае 2015 г.) был госпитализирован с диагнозом индуративного панкреатита, в связи с чем выполнена дистальная резекция поджелудочной железы и резекция ее головки с продольным панкреатикоеюноанастомозом на выключенной по Ру петле тонкой кишки.

Очередная госпитализация (в ноябре 2020 г.) была связана с выявлением острого некалькулезного холецистита, гнойного холангита с развитием холангиогенных абсцессов, эмпиемы желчного пузыря и желтухи. Была установлена чрескожная чреспеченочная холецистостомия, удаленная через месяц (после разрешения холангита). При этом в правой доле печени (С_{VII}) при УЗИ и МРТ впервые было выявлено опухолевидное образование не вполне ясного генеза, в связи с чем пациент для дообследования и возможного лечения был направлен на консультацию в НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина Минздрава России.

При осмотре: пациент активных жалоб не предъявлял, периодически отмечал кожный зуд, по поводу чего принимал препараты урсодезоксихолевой кислоты (с положительным эффектом). Склеры и видимые слизистые обычной окраски. Живот мягкий, безболезненный, пальпаторно – без опухолевой патологии. Послеоперационные швы – без признаков воспаления. В клиническом и биохимическом анализах крови – без существенных отклонений.

Согласно пересмотру представленных результатов МРТ-исследования брюшной полости (от 24.11.2020): картина очагового образования в С_{VII} печени могла соответствовать проявлениям первичной опухоли (ГЦР?). Предложено дообследование – повторная МРТ с гепатотропным контрастным препаратом.

При УЗИ (от 03.2021): в правой доле печени (подкапсульно в С_{VII}) определялось округлое образование, около 3 см в диаметре, с четкими и ровными контурами без признаков кровотока: характер образования не ясен – гемангиома? В ложе удаленной селезенки –

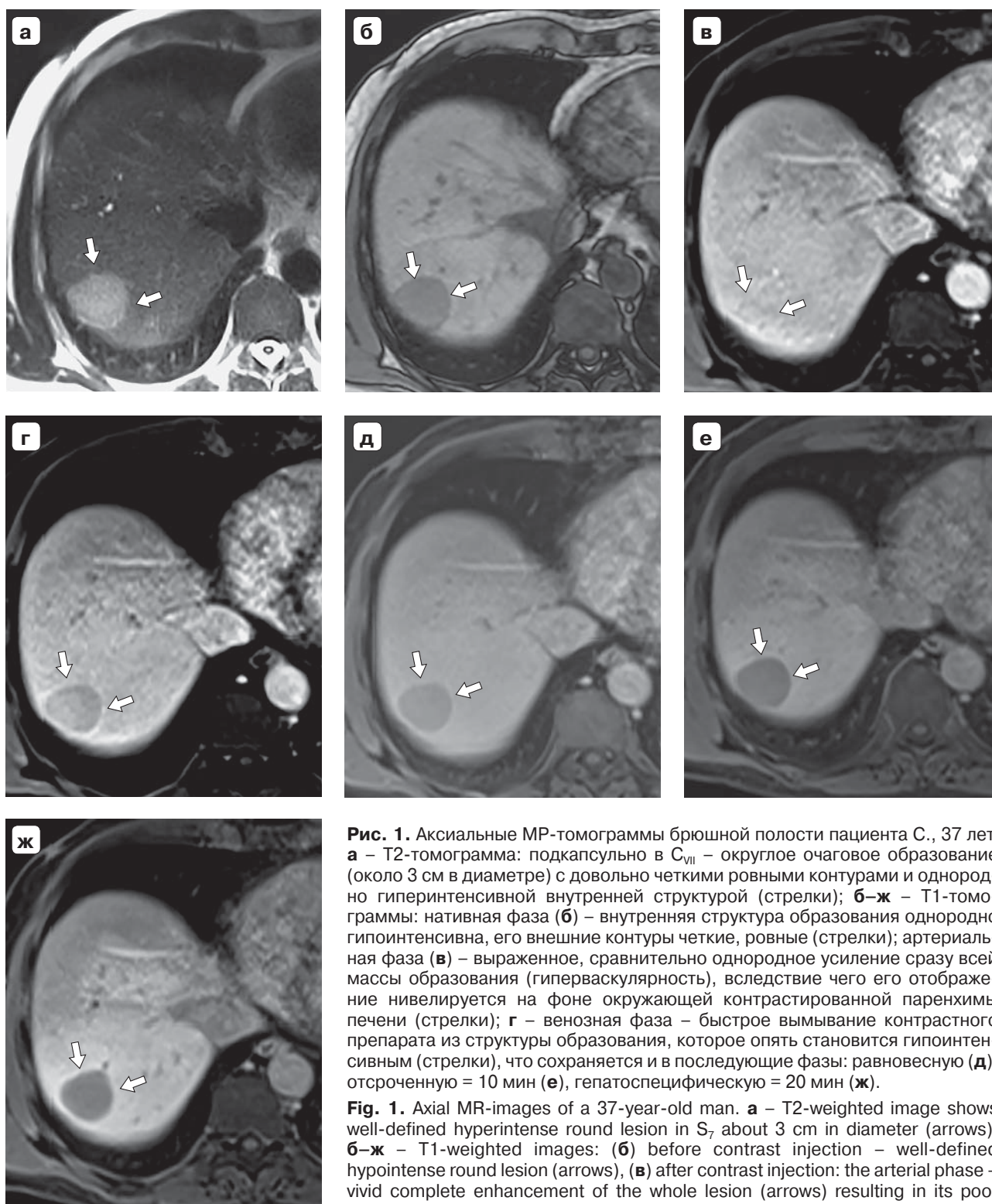
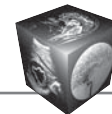


Рис. 1. Аксиальные МР-томограммы брюшной полости пациента С., 37 лет. **а** – T2-томограмма: подкапсульно в S_{VII} – округлое очаговое образование (около 3 см в диаметре) с довольно четкими ровными контурами и однородно гиперинтенсивной внутренней структурой (стрелки); **б–ж** – T1-томограммы: нативная фаза (**б**) – внутренняя структура образования однородно гипоинтенсивна, его внешние контуры четкие, ровные (стрелки); артериальная фаза (**в**) – выраженное, сравнительно однородное усиление сразу всей массы образования (гиперваскулярность), вследствие чего его отображение нивелируется на фоне окружающей контрастированной паренхимы печени (стрелки); **г** – венозная фаза – быстрое вымывание контрастного препарата из структуры образования, которое опять становится гипоинтенсивным (стрелки), что сохраняется и в последующие фазы: равновесную (**д**), отсроченную = 10 мин (**е**), гепатоспецифическую = 20 мин (**ж**).

Fig. 1. Axial MR-images of a 37-year-old man. **а** – T2-weighted image shows well-defined hyperintense round lesion in S_7 , about 3 cm in diameter (arrows); **б–ж** – T1-weighted images: (**б**) before contrast injection – well-defined hypointense round lesion (arrows), (**в**) after contrast injection: the arterial phase – vivid complete enhancement of the whole lesion (arrows) resulting in its poor visibility in the surrounding liver, (**г**) the portal venous phase: significant washout of contrast agent (Gd-EOB-DTPA) causing the lesion to appear hypointense to the background liver, (**д**) hepatocyte phases = 10 min and (**е**) = 20 min – hypointensity of the lesion persisting in subsequent phases (arrows).

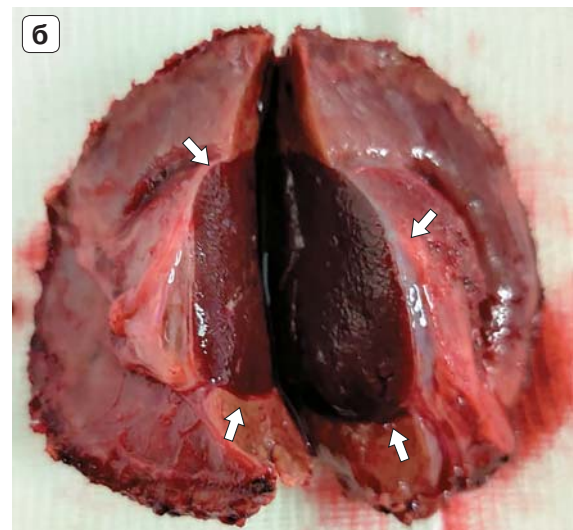


Рис. 2. Макропрепарат удаленного узла в печени того же пациента С., 37 лет (а), внешний вид (б) на разрезе.

Fig. 2. Photographs show resected nodule in the liver of the same patient. (a) the whole view, (б) cut surface of the specimen.

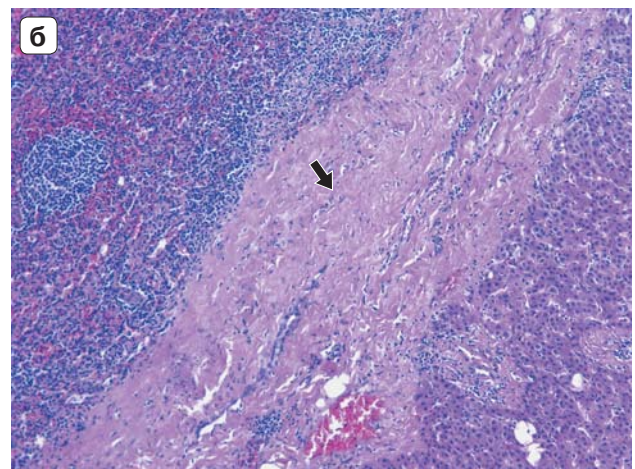
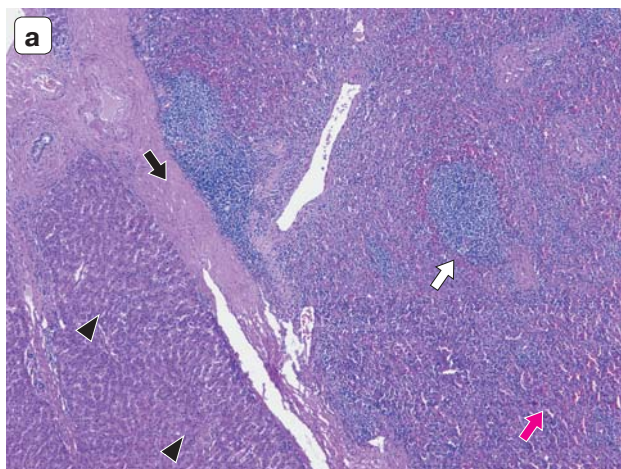
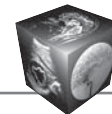


Рис. 3. Микроскопическое исследование удаленного узла. а – фрагмент белой пульпы эктопированной селезенки (белая стрелка), фрагмент красной пульпы эктопированной селезенки (красная стрелка), плотная фиброзная псевдокапсула узла (черная стрелка), паренхима печени (черные головки стрелок). Окраска гематоксилином и эозином, $\times 50$; б – выраженная фиброзная псевдокапсула узла (черная стрелка). Окраска гематоксилином и эозином, $\times 50$.

Fig. 3. Photomicrographs (original magnification, $\times 50$; H-E stain) show. а – white pulp of ectopic splenic tissue (white arrow), red pulp of ectopic splenic tissue (red arrow), dense fibrous pseudocapsule of the nodule (black arrow), hepatic parenchyma (black arrowheads); б – pronounced fibrous pseudocapsule of the nodule (black arrow).



без патологических образований. Произведенная под контролем УЗИ (от 03.2021) тонкоигольная пункция оказалась нерезультативной.

При контрольной МРТ брюшной полости с внутривенным контрастированием гепатотропным препаратом (от 03.2021): в правой доле печени (C_{VII}) выявлялось очаговое образование, формальная картина которого могла соответствовать проявлениям первичной опухоли печени (ГЦР) на фоне билиарного цирроза (рис. 1) без видимой динамики в сравнении с представленными данными МРТ от 11.2020.

С учетом появления упомянутого образования в печени в процессе длительного наблюдения за пациентом ему предложено хирургическое лечение в объеме резекции C_{VII} печени с предположительным диагнозом: “гепатоцеллюлярный рак”. Преоперационный диагноз был сформулирован следующим образом: ГЦР. Состояние после спленэктомии в 2007 г. по поводу спонтанного кровотечения и операции Фрея в 2015 г. по поводу некротической кисты хвоста поджелудочной железы.

02.04.2021 без технических трудностей была выполнена атипичная резекция C_{VII} печени. Послеоперационный период протекал без осложнений.

При морфологическом исследовании удаленного макропрепарата: резецированный в печени узел размером 2,8 см в диаметре (темно-красного цвета) был окружен хорошо различной фиброзной псевдокапсулой и представлен пульпой селезенки (с кровоизлияниями) (рис. 2). Гистологически – с элементами красной и белой пульпы, что соответствовало эктопии селезенки в печени (рис. 3). Послеоперационный диагноз: эктопическая селезенка, состояние после атипичной резекции печени от 02.04.2021.

Выписан в удовлетворительном состоянии (с соответствующими рекомендациями) под наблюдение терапевта и гастроэнтеролога.

Обсуждение

В мировой литературе опубликовано несколько обзорных работ, посвященных обсуждаемой теме – ВПС [3, 18–20], из которых наибольший интерес, на наш взгляд, представляет работа W.S. Toh и соавт., 2020 [3].

Авторы проанализировали литературу на основе данных PubMed и нашли 56 соответствующих сообщений, в которых обсуждались 59 наблюдений ВПС, в большинстве случаев (в 49 (83,1%) из 59) – у мужчин. Средний возраст пациентов составлял 51 год. Бессимптомное течение процесса отмечено в большинстве случаев (в 62,7%), при этом в 55,9% случаев – без выявленных факторов риска развития ГЦР. У большинства этих пациентов (у 57 (95%) из 59) в анамнезе была спленэктомия. У остальных 2 – спленэктомии или абдо-

минальной травмы не было. Средний интервал от момента спленэктомии до диагностики спленоза составил 21 год (от 1,5 до 47 лет) [3].

В данном обзоре также отмечено, что почти у половины пациентов с ВПС (у 29 (49,2%) из 59) первоначально был диагностирован ГЦР и только у 9 (15,3%) уже исходно предполагался ВПС [3].

При этом и многие другие авторы упоминают, что результаты применения УЗИ и КТ у таких пациентов неспецифичны, так как отображение ВПС может напоминать проявления ГЦР, аденомы, ФНГ, регенеративных или диспластических узлов [3, 11, 12, 14, 16, 21]. В нашем случае классического, типичного для нормальной селезенки гетерогенного “змеевидного” контрастирования тканей ВПС (в артериальную фазу) с их последующим гомогенным усилением в отсроченные фазы не наблюдалось.

В целом следует подчеркнуть, что ВПС – это доброкачественное состояние, обычно не требующее контроля или интервенционных мероприятий. Считается, что окончательный диагноз возможен с помощью чрескожной биопсии, интраоперационной срочной биопсии или послеоперационного морфологического исследования либо с помощью сцинтиграфии с technetium-99m-tagged (Tc-99m) heat-damaged red blood cell (RBC) [3, 22, 23]. Эффективность сцинтиграфии объясняется тем, что приблизительно 90% поврежденных эритроцитов захватываются тканями селезенки, это обуславливает значительные различия в степени накопления радионуклидного препарата в ВПС по сравнению с окружающей паренхимой печени [17].

Резекция считается возможной у пациентов с неопределенными данными диагностических исследований или результатов биопсии, абдоминальными симптомами неопределенной природы либо при невозможности исключения злокачественности процесса и наличии факторов риска развития ГЦР [3].

В нашем наблюдении выявленное в правой доле печени подкапсульное образование не имело однозначно типичных признаков, характерных для той или иной опухоли, в частности, для ГЦР или гепатоцеллюлярной аденомы. Но с учетом хорошо известного полиморфизма их проявлений мы сочли целесообразным предположить диагноз атипичной формы ГЦР. При этом допущенная нами диагностическая ошибка лишь подтверждает упомянутые выше многочисленные литературные сведения о сложностях корректного дооперационного распознавания ВПС, о возможности развития которого необходимо помнить у пациентов со спленэктомией или травмой селезенки в анамнезе.

**Участие авторов**

Романова К.А. – сбор и обработка данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне.

Лукьянченко А.Б. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, участие в научном дизайне.

Поляков А.Н. – участие в научном дизайне.

Медведева Б.М. – написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Мороз Е.А. – анализ и интерпретация полученных данных.

Authors' participation

Romanova K.A. – collection and analysis of data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design.

Lukianchenko A.B. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, participation in scientific design.

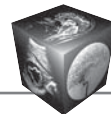
Polyakov A.N. – participation in scientific design.

Medvedeva B.M. – writing text, approval of the final version of the article.

Moroz E.A. – analysis and interpretation of the obtained data.

Список литературы [References]

1. Gandhi D., Sharma P., Garg G., Songmen S., Solanki S., Singh T. Intrahepatic splenosis demonstrated by diffusion weighted MRI with histologic confirmation. *Radiol. Case Rep.* 2020; 15 (5): 602–606. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2020.02.022>
2. Hwang E., Min S., Kim Y., Choi J. Intrahepatic Splenosis Mimicking Hepatocellular Carcinoma: A Case Report. *J. Korean Soc. Radiol.* 2019; 80 (2): 359–364. <https://doi.org/10.3348/jksr.2019.80.2.359>
3. Toh W.S., Chan K.S., Szu Lyn Ding C., Tan C., Shelat V. Intrahepatic splenosis: a world review. *Clin. Experimental Hepatol.* 2020; 6 (3): 185–198. <https://doi.org/10.5114/ceh.2020.99509>
4. Wang W.-C., Li X.-F., Yan Z.-L., Wang Y., Ma J.-Y., She L.-H., Zhang X.-F. Intrahepatic splenosis mimics hepatocellular carcinoma in a patient with chronic hepatitis B. A case report and literature review. *Medicine.* 2017; 96 (47), e8680. <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000008680>
5. Xuan Z., Chen J., Song P., Du Y., Wang L., Wan D., Zheng S. Management of intrahepatic splenosis: a case report and review of the literature. *Wld J. Surg. Oncol.* 2018; 16: 119. <https://doi.org/10.1186/s12957-018-1419-1>
6. Fremont R.D., Rice T.W. Splenosis: a review. *South. Med. J.* 2007; 100: 589–594. <https://doi.org/10.1097/smj.0b013e318038d1f8>
7. Buchbinder J., Lipkoff C. Splenosis: multiple peritoneal splenic implants following abdominal injury: a report of a case and review of the literature. *Surgery.* 1939; 6: 927–934.
8. Tsitouridis I., Michaelides M., Sotiriadis C., Arvaniti M. CT and MRI of intraperitoneal splenosis. *Diagn. Interv. Radiol.* 2010; 16 (2): 145–149. <https://doi.org/10.4261/1305-3825.DIR.1855-08.1>
9. Normand J.P., Rioux M., Dumont M., Bouchard G., Letourneau L. Thoracic splenosis after blunt trauma: frequency and imaging findings. *Am. J. Roentgenol.* 1993; 161 (4): 739–741. <https://doi.org/10.2214/ajr.161.4.8372748>
10. Rickert C.H., Maasjosthusmann U., Probst-Cousin S., August C., Gulotta F. A unique case of cerebral spleen. *Am. J. Surg. Pathol.* 1998; 22: 894–896. <https://doi.org/10.1097/00000478-199807000-00011>
11. Gruen D.R., Gollub M.J. Intrahepatic splenosis mimicking hepatic adenoma. *Am. J. Roentgenol.* 1997; 168: 725–726. <https://doi.org/10.2214/ajr.168.3.9057523>
12. Menth M., Herrmann K., Haug A., Raziorrouh B., Zachoval R., Jung C.-M., Otto C., Intrahepatic splenosis as an unexpected cause of a focal liver lesion in a patient with hepatitis C and liver cirrhosis: a case report. *Cases J.* 2009; 2: 8335. <https://doi.org/10.4076/1757-1626-2-8335>
13. Imbriaco M., Camera L., Mancinuria A., Salvatore M. A case of multiple intra-abdominal splenosis with computed tomography and magnetic resonance imaging correlative findings. *Wld J. Gastroenterol.* 2008; 14 (9): 1453–1455. <https://doi.org/10.3748/wjg.14.1453>
14. Choi G.H., Ju M.K., Kim J.Y., Kang C.M., Kim K.S., Choi J.S., Han K.-H., Park M.-S., Park Y.-N., Lee W.-J. Hepatic splenosis preoperatively diagnosed as hepatocellular carcinoma in a patient with chronic hepatitis B: a case report. *J. Korean Med. Sci.* 2008; 23 (2): 336–341. <https://doi.org/10.3346/jkms.2008.23.2.336>
15. He Z.L., Xu X., Ke Q.H., Zeng S.-S. Successful diagnosis of intrahepatic splenosis mimicking hepatic tumor. *Kaohsiung J. Med. Sci.* 2016; 32: 224–225. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2016.01.001>
16. Izzo L., Caputo M., Galati G. Intrahepatic accessory spleen: imaging features. *Liver Int.* 2004; 24: 216–217. <https://doi.org/10.1111/j.1478-3231.2004.00915.x>
17. Yu H., Xia L., Li T., Ju M., Liu L., Wu Z., Tang Z. Intrahepatic splenosis mimicking hepatoma. *BMJ Case Rep.* 2009; 2009:bcr06.2008.0230. <https://doi.org/10.1136/bcr.06.2008.0230>
18. Liu C., Liu J., Wang F. Intrahepatic splenosis mimicking liver cancer: report of a case and review of literature. *Int. J. Clin. Exp. Pathol.* 2015; 8: 1031–1035.
19. Luo X., Zeng J., Wang Y., Min Y., Shen A., Zhang Y., Deng H., Gong N. Hepatic splenosis: Rare yet important – A case report and literature review. *J. Int. Med. Res.* 2019; 47: 1793–1801. <https://doi.org/10.1177/0300060519828901>
20. Liu K., Liang Y., Liang X., Yu H., Wang Y., Cai H. Laparoscopic resection of isolated hepatic splenosis mimicking liver tumors: case report with a literature review. *Surgical Laparoscopy, Endoscopy & Percutaneous Techniques.* 2012; 22: e307–311. <https://doi.org/10.1097/sle.0b013e318263a3f3>
21. Sato N., Abe T., Suzuki N., Waragai M., Teranishi Y., Takano Y., Sato A., Azami A., Gotoh M. Intrahepatic splenosis in a chronic hepatitis C patient with no history of splenic trauma mimicking hepatocellular carcinoma. *Am. J. Case Rep.* 2014; 15: 416–420. <https://doi.org/10.12659/ajcr.890999>



22. Kang K.C., Cho G.S., Chung G.A., Kang G.H., Kim Y.J., Lee M.S., Kim H.K., Park S.J. Intrahepatic splenosis mimicking liver metastasis in a patient with gastric cancer. *J. Gastr. Cancer.* 2011; 11: 64–68. <https://doi.org/10.5230/jgc.2011.11.1.64>
23. Baldari G., Sindoni A., Belletti A., Baldavi S., Ruffini L. (99m)Tc disphosphonate uptake due to splenosis: incidental finding 60 years after splenectomy. *Clin. Nucl. Med.* 2015; 40: 533–535. <https://doi.org/10.1097/rnu.0000000000000752>

Для корреспонденции*: Романова Ксения Александровна – 115478 Москва, Каширское шоссе, д. 24. НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России. Тел.: +7-926-079-20-00. E-mail: luxenia@gmail.com

Медведева Бэла Михайловна – доктор мед. наук, заведующая рентгенодиагностическим отделением НИИ клинической и экспериментальной радиологии “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1779-003X>

Лукьянченко Александр Борисович – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник рентгенодиагностического отделения НИИ клинической и экспериментальной радиологии “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>

Романова Ксения Александровна – канд. мед. наук, научный сотрудник рентгенодиагностического отделения НИИ клинической и экспериментальной радиологии “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8938-3313>

Мороз Екатерина Анатольевна – канд. мед. наук, врач-патологоанатом патологоанатомического отделения отдела морфологической и молекулярно-генетической диагностики опухолей НИИ клинической онкологии имени Н.Н. Трапезникова НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6775-3678>

Поляков Александр Николаевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник онкологического отделения хирургических методов лечения №7 (опухолей гепатопанкреатодуоденальной зоны) НИИ клинической онкологии имени Н.Н. Трапезникова НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5348-5011>

Contact*: Ksenia A. Romanova – 24, Kashirskoe shosse, Moscow 115478, Russian Federation. N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology. Research Institute of Clinical and Experimental Radiology. Phone: +7-926-079-20-00. E-mail: luxenia@gmail.com

Bela M. Medvedeva – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Diagnostic radiology department of the Research Institute of Clinical and Experimental radiology, N.N. Blokhin National Medical Research Center of oncology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1779-003X>

Alexander B. Lukianchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, leading researcher of the Diagnostic radiology department of the Research Institute of Clinical and Experimental radiology, N.N. Blokhin National Medical Research Center of oncology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>

Ksenia A. Romanova – Cand. of Sci. (Med.), researcher of the Diagnostic radiology department of the Research Institute of Clinical and Experimental radiology, N.N. Blokhin National Medical Research Center of oncology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8938-3313>

Ekaterina A. Moroz – Cand. of Sci. (Med.), pathologist of the Department of pathology and molecular biology of N.N. Trapeznikov Clinical oncology institute, N.N. Blokhin National Medical Research Center of oncology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6775-3678>

Aleksander N. Polyakov – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher of the Oncology department of surgical treatment methods №7 (tumors of the hepatopancreatobiliary zone) of N.N. Trapeznikov Clinical oncology institute, N.N. Blokhin National Medical Research Center of oncology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5348-5011>



Компьютерная томография при переломах таза у детей

© Серова Н.Ю., Ахадов Т.А., Карасева О.В., Мельников И.А., Божко О.В., Никишов С.О., Дмитренко Д.М., Манжурцев А.В., Ахлебинина М.И., Костикова Т.Д., Сидоров С.В., Ублинский М.В., Хусаинова Д.Н.

НИИ неотложной детской хирургии и травматологии ДЗ г. Москвы; 119180 Москва, ул. Большая Полянка, д. 22, Российская Федерация

Введение. Переломы костей таза у детей редки и составляют от 0,3 до 4% всей детской травмы, 20% детей с политравмой имеют повреждения тазового кольца. Сравнительные исследования диагностических возможностей МРТ и КТ при переломах крестца и вертлужной впадины показали, что при КТ около 37% были пропущены, поэтому авторы рекомендовали МРТ как лучший метод в визуализации переломов таза.

Цель исследования: показать возможности КТ и МРТ для улучшения распознавания переломов костей таза.

Материал и методы. В период 2010–2019 гг. исследовано 790 детей с переломами таза в составе политравмы. Возраст детей был от 8,5 до 17 лет, средний $10,14 \pm 1,4$ года. КТ с трехфазным контрастированием выполнена у всех 790 пострадавших на томографах Brilliance 16. МРТ выполнена ($n = 63$) на МР-томографе 3 Тл с получением мультипланарных STIR, T1-, T2- и PD взвешенных изображений (ВИ) с фактором подавления сигнала жировой ткани, а также 3D изотропных изображений.

Результаты. По шкале тяжести политравмы (ISS) оценка состояния 790 детей колебалась от 23,54 до 27,5 (средняя 25,77) балла. Основным механизмом травмы таза были ДТП (пешеход+пассажир – 63,54% ($n = 502$)), кататравма была на втором месте – 32,66% ($n = 258$), далее следовало сдавление – 2,15% ($n = 17$), спортивная травма – 0,38% ($n = 3$), прочая травма – 3,43% ($n = 27$). У 73,26% ($n = 578$) переломы костей таза были множественными, у 20,5% ($n = 162$) – осложненными, у 22,3% ($n = 176$) – нестабильными. У 63 пациентов с повреждением переднего тазового кольца по данным КТ/МРТ в 79,36% ($n = 50$) обнаружены переломы заднего кольца таза.

Заключение. Детям с политравмой обязательно необходимо провести КТ, чтобы исключить не только все немышечно-скелетные повреждения, но и сочетанные переломы таза. Мы считаем, что для обнаружения и оценки переломов костей и сопутствующих повреждений других тканей и органов таза в большинстве случаев многофазная КТ с внутривенным контрастированием является достаточным методом. МРТ важна для оценки структур мягких тканей таза, таких как сухожилия, связки, нервы и фасции, а также выявления скрытых/тонких повреждений костей.

Ключевые слова: дети, перелом, таз, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография

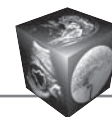
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Серова Н.Ю., Ахадов Т.А., Карасева О.В., Мельников И.А., Божко О.В., Никишов С.О., Дмитренко Д.М., Манжурцев А.В., Ахлебинина М.И., Костикова Т.Д., Сидоров С.В., Ублинский М.В., Хусаинова Д.Н. Компьютерная томография при переломах таза у детей. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 122–133. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-930>

Поступила в редакцию: 17.07.2020.

Принята к печати: 08.04.2021.

Опубликована online: 29.12.2021.



Computer and magnetic resonance imaging for pelvic fractures in children

© Natalya Yu. Serova, Tolibdzhon A. Akhadov, Olga V. Karaseva, Ilya A. Mel'nikov, Ol'ga V. Bozhko, Sergey O. Nikishov, Dmitriy M. Dmitrenko, Andrei V. Manzhurtsev, Maria I. Akhlebinina, Tatyana D. Kostikova, Sergey V. Sidorov, Maxim V. Ublinskiy*, Daria N. Khusainova

Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma (CRIEPST); 22, Bol'shaya Polyanka str., Moscow 119180, Russian Federation

Introduction. Fractures of pelvic bones in children are rare and make up from 0.3 to 4% of all childhood trauma, 20% of children with polytrauma have pelvic ring injuries. Comparative studies of diagnostic capabilities of MRI and CT in sacral and acetabular fractures showed that about 37% of CT were missed, therefore the authors recommended MRI as the best method in visualizing pelvic fractures.

Aim of this study is to show the capabilities of CT and MRI to improve recognition of pelvic fractures.

Material and methods. In the period 2010–2019, 790 children with pelvic fractures as part of polytrauma were studied. The age of children was from 8.5 to 17 years, average 10.14 ± 1.4 . Computed tomography with three-phase contrast was performed in all 790 patients on Brilliance 16 scanners. MRI was performed ($n = 63$) on a 3 T tomograph with obtaining multiplanar STIR, T1-, T2- and PD weighted images (VI) with signal suppression factor of adipose tissue, as well as 3D isotropic images.

Results. On the polytrauma severity scale (ISS), the assessment of the condition of 790 children ranged from 23.54 to 27.5 (mean 25.77) points. The main mechanism of pelvic injury was road traffic accidents (pedestrian + passenger – 63.54% ($n = 502$), catatrauma was in second place – 32.66% ($n = 258$), followed by compression – 2.15% ($n = 17$), sports injury – 0.38% ($n = 3$), other injury – 3.43% ($n = 27$). 73.26% ($n = 578$) had multiple pelvic fractures, 20.5% ($n = 162$) – complicated, – 22.3% ($n = 176$) unstable. In 63 patients with damage to the anterior pelvic ring, according to CT, MRI revealed fractures of the posterior pelvic ring in 79.36% ($n = 50$).

Conclusion. Children with polytrauma must undergo computed tomography to exclude not only all non-muscular-skeletal injuries, but also combined pelvic fractures. We believe that for the detection and assessment of bone fractures and concomitant injuries of other tissues and organs of the pelvis, in most cases, multiphase CT with intravenous contrast is a sufficient method. MRI is important for evaluating pelvic soft tissue structures such as tendons, ligaments, nerves and fascia, as well as detecting hidden / fine bone lesions.

Keywords: children, fracture, pelvis, computed tomography, magnetic resonance imaging

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

For citation: Serova N.Y., Akhadov T.A., Karaseva O.V., Melnikov I.A., Bozhko O.V., Nikishov S.O., Dmitrenko D.M., Manzhurtsev A.V., Akhlebinina M.I., Kostikova T.D., Sidorov S.V., Ublinskiy M.V., Khusainova D.N. Computer and magnetic resonance imaging for pelvic fractures in children. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 122–133. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-930>

Received: 17.07.2020.

Accepted for publication: 08.04.2021.

Published online: 29.12.2021.

Введение

Переломы костей таза выявляются у детей редко и составляют от 0,3 до 4% всей детской травмы, 20% детей с политравмой имеют повреждения тазового кольца, а 58 – 87% детей с переломами таза имеют сочетанные повреждения [1–7]. По данным авторов [8], частота переломов таза у детей составляет от 3 до 7%. Преобладают мальчики с приблизительным соотношением 1,4 : 1 [4, 5]. Детский таз обладает большей эластичностью в крестцово-подвздошных суставах и симфизе, что делает переломы зависимыми от сил с высокой энергией [1, 9]. Анализ частоты травм таза показал, что чаще всего это следствие дорожно-транспортных происшествий (ДТП), далее сле-

дуют кататравма и невыясненные обстоятельства, редко спортивная травма [9–13]. Переломы костей и другие повреждения таза до 87% сочетаются с черепно-мозговой, торакоабдоминальной травмой и переломами других костей скелета [9, 14]. 10% переломов таза у детей и подростков нестабильны, а 18% – осложненные, смертность в среднем составляет 6,4% [1, 7, 15, 16].

Рентгенография не диагностирует около 50–70% всех переломов у детей. Рентгенологически выявляются только значительные повреждения таза с расхождением костных и хрящевых фрагментов. В итоге признано, что рентгенография не является надежным способом диагностики переломов таза у детей. Все рентгенологические



данные должны быть оценены с помощью компьютерной томографии (КТ) таза. КТ полностью заменила рентгенографию, потому что может более явно визуализировать имеющиеся переломы, даже которые не удалось выявить при рентгенографии, в частности переломы крестца [17–19]. При КТ исходные аксиальные изображения в сочетании с мультипланарными реконструированными (MPR), проекциями максимальной интенсивности (MIP) и 3D-изображениями оптимально раскрывают все детали и особенности повреждений таза. 3D-изображения особенно информативны в диагностике переломов вертлужной впадины [20]. Изображения с контрастированием позволяют диагностировать гематомы таза и активное кровотечение, так как они являются серьезным осложнением переломов тазового кольца. Внутривенное контрастирование является обязательным для выявления висцеральных повреждений и активного кровотечения. Чувствительность КТ с контрастированием колеблется от 66 до 90%, специфичность и точность – 87–98% [3, 19, 21–24].

Если после проведения КТ остается клиническое подозрение на не выявленные повреждения таза, то следует использовать магнитно-резонансную томографию (МРТ). Это особенно важно у детей младшего возраста и подростков [25–28]. Сравнительные исследования диагностических возможностей МРТ и КТ, скинтиграфии и рентгенографии при переломах крестца и вертлужной впадины показали, что при КТ около 37% были пропущены, поэтому авторы рекомендовали МРТ как лучший метод в визуализации переломов таза [29–32].

Метод ценен в получении информации о неосифицированных участках тазового кольца, вертлужной впадине, связках, мышцах, нервах и сплетениях, осложняющих травму костей таза. МРТ – самый эффективный метод выявления отека, выраженность которого дает дополнительную информацию о степени повреждения и позволяет построить прогностическую модель исходов травмы. Переломы могут быть связаны с повреждением нервного корешка L₄ и/или привести к потере тонуса сфинктера, ишиасу, повреждению и/или дисфункции мочевого пузыря (15–20%). У детей с подозрением осложнений перелома таза следует предпочесть МРТ [24, 30, 33–35].

Для описания стабильности переломов таза и прогнозирования заболеваемости и смертности при множестве систем классификации чаще используются две: M. Torode и D. Zieg (1985) и M. Tile (1988) [19]. Первая [19] делит переломы на стабильные и нестабильные, но не различает его тип и степень нестабильности [19, 36]. Вторая, широко

используемая Ассоциацией ортопедов и травматологов (The Orthopaedic Trauma Association), отражает механизм повреждения и стабильность тазового кольца. В соответствии с этой классификацией повреждения таза делятся на 3 типа:

- переломы типа А – стабильные без смещения и нарушения целостности тазового кольца;
- переломы типа В – ротационно-нестабильные (но вертикально-стабильные) – следствие воздействия боковых компрессионных или ротационных сил;
- переломы типа С – повреждения с ротационной и вертикальной нестабильностью и полным разрывом тазового кольца, включая весь задний комплекс крестцово-подвздошных связок и дна [19, 37].

Переломы костей таза часто сопровождаются гематомами в результате кровотечения из-за переломов, мягких тканей и местного венозного кровотечения, реже артериального [1, 38–40]. Осложнения, связанные с травмами таза приводят к большей заболеваемости и смертности, чем сам перелом [10, 38, 41, 42].

Цель исследования

Определить диагностическую значимость КТ и МРТ для улучшения распознавания переломов костей таза.

Материал и методы

Исследование проводилось в соответствии с Этическими принципами проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации). Все испытуемые или их законные представители подписывали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

В период 2010–2019 гг. исследовано 790 детей с переломами таза в составе политравмы. Возраст детей был от 8,5 до 17 лет, средний $10,14 \pm 1,4$ года, достоверность 0,05. Мальчиков было 467, девочек – 323.

Рентгенография таза не выполнялась из-за тяжести состояния пострадавших с политравмой. Первичным методом диагностики для выявления переломов таза была КТ.

КТ выполнена у всех 790 пострадавших на томографе Philips Brilliance CT 16. Протокол обследования детей с политравмой, принятый в институте, обширен и составляет комплекс, предназначенный для диагностики всех повреждений. Сканирование проводилось с максимально возможным снижением показателей для минимизации дозы облучения: шаг сканирования 0,75 мм

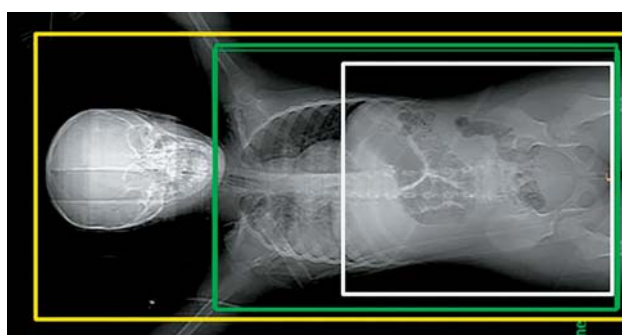
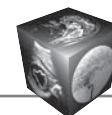


Рис. 1. Алгоритм КТ: I этап – нативное исследование (желтая рамка), II этап – исследование с трехфазным внутривенным болюсным контрастированием (зеленая рамка), завершающий этап – экскреторная фаза на 5 мин от диафрагмы до таза включительно (белая рамка).

Fig. 1. CT algorithm: Stage I – native examination (yellow frame), Stage II – research with three-phase IV bolus contrast (green frame), the final stage – excretory phase for 5 minutes from diaphragm to pelvis inclusively (white frame).

при толщине среза 0,75 мм, интервал реконструкции составлял от 2 до 3 мм. Для получения данных в корональной и сагиттальной проекциях, 3D-реконструкции пограничные участки были включены в поле зрения сканирования. KV и MAS подбирались в зависимости от массы тела и возраста пациента. Трехфазное (артериальная, паренхимазная и венозная фазы) контрастирование выполняется путем болюсного введения контрастного вещества (1,5 мл/кг), при возможности и необходимости выполняется экскреторная фаза через 5 мин от момента введения (рис. 1). Диапазон эффективной дозы для всего сканирования по протоколу политравмы с контрастированием был от 4 до 12 мЗв. Время пребывания больного в кабинете КТ 10–15 мин.

Для оценки мышц и связок необходимым компонентом исследования была МРТ, которая выполнена (n = 63) на МР-томографе 3 Тл с получением мультипланарных STIR, T1-, T2- и PD взвешенных

изображений (ВИ) с фактором подавления сигнала жировой ткани при толщине среза 4 мм, а также 2D- и 3D- изотропных изображений. У 28 из 63 пострадавших МРТ проведена с внутривенным контрастным усилением.

Результаты

Всего исследовано 790 детей с переломами таза. Данные о поле и возрасте, соотношении сочетанных травм к травме таза, балльной оценке представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, преобладали мальчики (n = 467). Гендерное соотношение составило 1,44. По шкале тяжести политравмы (ISS) оценка состояния пациентов колебалась от 23,54 до 27,5 (средняя $25,77 \pm 1,4$, $p = 0,05$) балла, соответственно все пациенты были в категории тяжелые и крайне тяжелые.

В табл. 2 представлены механизмы получения травмы.

Как видно из табл. 2, основным механизмом травмы таза были ДТП (пешеход+пассажир – 63,54% (n = 502)), кататравма была на втором месте – 32,66% (n=258), далее следовало сдавление – 2,15% (n = 17), спортивная травма – 0,38% (n = 3), прочая травма – 3,43% (n = 27).

Данные по переломам костей таза и осложнениям представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, переломы костей таза в 73,26% (n = 578) были множественными, когда был перелом не одной кости или было несколько переломов одной кости; 20,5% (n = 162) были осложненными, 22,3% (n = 176) нестабильными. 25,44% (n = 201) травмированных по тяжести состояния госпитализированы в реанимационное отделение, из них 57,2% (n = 115) оперированы. Общая летальность среди 790 пациентов за 10 лет составила 8,14%.

В соответствии с классификацией переломов костей таза тип A2 был наиболее частым (58,04),

Таблица 1. Данные по переломам костей таза за период 2010–2019 гг.

Table 1. Data of pelvic fractures for period 2010–2019

Показатель	Годы										Всего
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Травма таза в составе сочетанной травмы	59	67	89	81	101	85	83	74	94	57	790
Средний возраст, годы	8,48	10,28	10,38	10	9,74	11,4	10,69	9,64	9,85	10,76	$10,14 \pm 1,4$
Мальчики/ девочки	27/23	36/22	54/38	60/34	63/38	58/28	49/35	44/31	55/39	22/35	467/323
Соотношение скелетной и травмы таза при политравме	30/12	38/16	44/19	39/19	58/30	51/19	50/20	44/26	52/21	34/19	440/201
Баллы по ISS в структуре сочетанной политравмы	27,6	26,89	26,14	23,54	24,67	25,58	25,4	26,35	24,03	27,5	$25,77 \pm 1,4$



Таблица 2. Данные о причинах травмы таза
Table 2. Data on causes of pelvic injury

Причина травмы	Годы										Всего, абс. (%)
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
ДТП: пешеход	10	25	19	34	34	45	33	34	40	26	300 (37,97)
ДТП: пассажир	19	17	37	25	26	22	29	16	0	11	202 (25,56)
Кататравма	30	21	23	22	34	18	21	22	49	18	258 (32,66)
Спорт	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	3 (0,38)
Прочее	0	4	9	0	7	0	0	2	5	0	27 (3,43)
Всего пациентов с травмой таза	59	67	89	81	101	85	83	74	94	57	790 (100)

Таблица 3. Данные о переломах костей таза и их осложнениях
Table 3. Data on pelvic fractures and their complications

Повреждения органов, травмированные кости и осложнения	Годы										Всего
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Множественные повреждения костей таза	35	35	55	24	64	54	108	75	54	74	578
Разрыв симфиза	0	2	4	2	0	4	5	0	0	3	20
Лонная кость	4	10	11	9	11	11	15	19	15	13	118
Седалишная кость	3	7	7	5	9	7	11	10	8	9	76
Подвздошная кость	2	1	6	6	8	6	2	7	6	10	54
Крестец	7	7	9	6	9	9	5	13	9	14	88
ПКС*	5	4	5	3	5	5	4	1	4	7	43
Вертлужная впадина	1	0	0	0	2	0	4	6	2	0	15
Тазовые гематомы	2	3	3	3	8	6	5	12	8	8	58
Забрюшинные гематомы	1	6	8	6	7	6	6	7	2	6	55
Тромбозы	0	0	2	4	2	0	2	2	1	2	15
Повреждения кишечника	2	0	0	0	1	0	1	0	1	1	6
Неврологические осложнения	1	0	1	1	3	0	2	2	0	1	11
Повреждение или дисфункция мочевого пузыря	0	0	3	2	3	0	2	1	2	4	17

* ПКС – подвздошно-крестцовое сочленение.

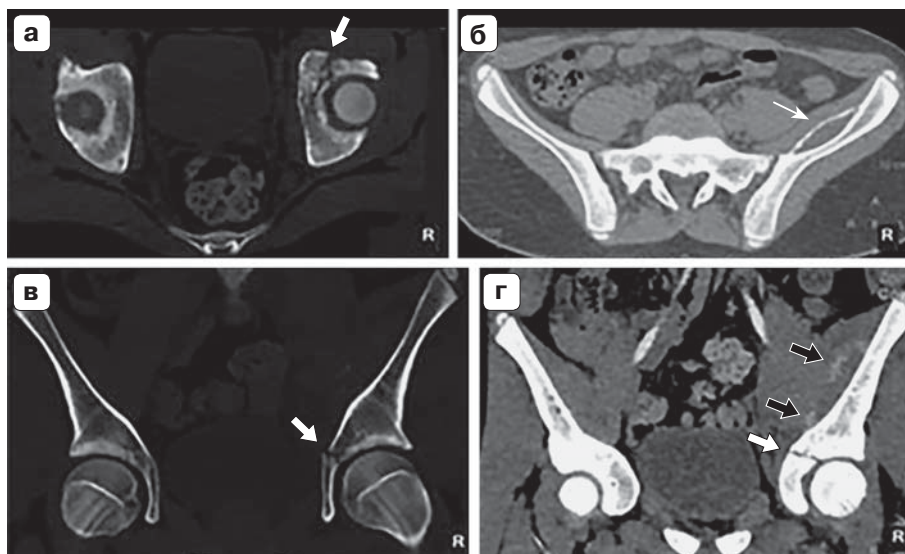
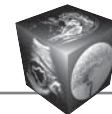


Рис. 2. КТ с контрастированием. Перелом левой вертлужной впадины (а, в, г – белая стрелка), тазовая гематома (б – тонкая белая стрелка) с активным кровотечением – экстравазация контрастного препарата (г – черные стрелки).
Fig. 2. CT with contrast enhancement. Fracture of left acetabulum (а, в, г – white arrow), pelvic hematoma (б – thin white arrow) with active bleeding – extravasation of a contrast agent (г – black arrows).



а по классификации Torode и Zieg тип IIIA (45,68%). Перелом вертлужной впадины (рис. 2) имел место у 1,9 % пострадавших. Помимо переломов таза были и другие скелетные повреждения. Наиболее частыми сопутствующими повреждениями были: черепно-мозговая травма ($n = 327$), повреждения грудной клетки ($n = 264$) и конечностей ($n = 242$).

При дополнительном исследовании 63 пациентов, у которых КТ обнаружила повреждение переднего тазового кольца, МРТ позволила выявить у 50 (79,36%) еще и переломы заднего кольца таза.

Обсуждение

Рентгенография таза является “золотым стандартом” для оценки травмы таза и должна выполняться во время оценки всей травмы, но мы ее не выполняли из-за тяжести состояния детей с политравмой, тем более что рентгенография не диагностирует около 50–70% всех переломов таза у детей [14, 17–19, 42, 43].

В институте вся визуальная диагностика повреждений таза основывалась на данных КТ, информативность которой по всем видам тазовых переломов составила 93,7%, были не диагностированы только переломы заднего кольца таза в 6,3% случаев.

Изображения анализировались по исходным аксиальным срезам, мультипланарным реконструкциям (MPR) в плоскостях, которые оптимально раскрывали все детали и особенности анатомии таза и переломов, и проекции максимальной интенсивности (MIP) и 3D-реконструкции. Внутри-

венное контрастирование является обязательным компонентом нашего алгоритма КТ, так как позволяло выявлять висцеральные повреждения и активные кровотечения (рис. 3). Чувствительность, специфичность и точность КТ с контрастированием при диагностике переломов костей таза возрастает до 93,7%, а для гематом таза, повреждений, включая дисфункцию мочевого пузыря, – до 97,8%.

Визуальная картина различных травм таза при КТ имела свои отличительные признаки. Переднезадние (AP) компрессионные повреждения характеризовались поворотом половины таза: наружу – переднезаднее, внутрь – заднее. Даже небольшое смещение крестцово-подвздошного сустава свидетельствует о разрыве связок (рис. 4). Наличие вакуум-эффекта в хряще лобкового симфиза свидетельствовало о повреждении его, а диастаз лобкового симфиза является признаком переднезадней компрессионной травмы (рис. 5). Для боковой компрессии таза было характерно внутреннее смещение одной половины и внешнее другой половины таза, диастаз в одном крестцово-подвздошном суставе вызывал нарушения в контралатеральном (см. рис. 5). Нестабильное по вертикали и по вращательной траектории тазовое полукольцо свидетельствовало о смещенном переломе лонного симфиза или подвздошной кости (рис. 6), который распространяется на крестцово-подвздошный сустав. При разрывах симфиза визуализировались мелкие костно-хрящевые отломки (рис. 7). Изолированные отрывные и авульсионные переломы подвздошных костей не влияли на целостность тазового кольца (рис. 8).

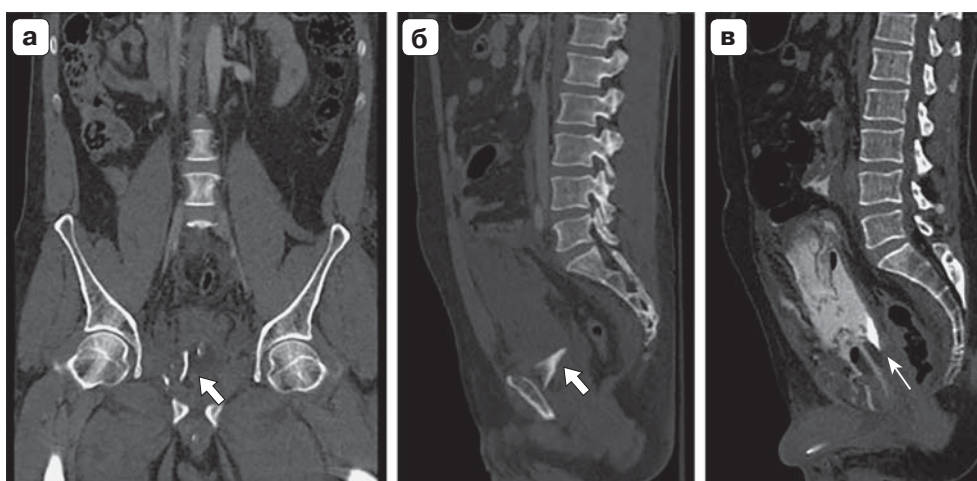


Рис. 3. Кататравма. Перелом лонной кости. КТ с контрастированием, коронарная (а) и сагиттальная проекции (б): фрагмент кости (белая стрелка), сагиттальная проекции (в): экстравазация контрастного вещества (тонкая стрелка).

Fig. 3. Cata trauma. Fracture of pubic bone. Contrast-enhanced CT (a) coronary and (b) sagittal projections: bone fragment (white arrow), sagittal projections (в): contrast agent extravasation (thin arrow).

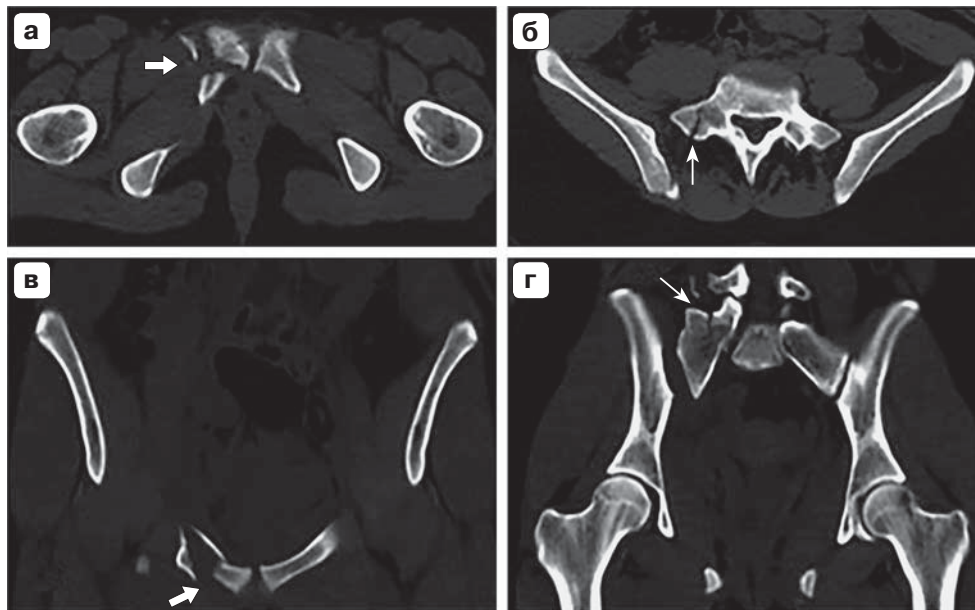


Рис. 4. Травма при ДТП, пассажир. КТ таза, аксиальная проекция (а, б) и реконструированная корональная проекция (в, г). Оскольчатый перелом лобковой кости справа со смещением (стрелка), правосторонний перелом боковых масс крестца верхней и задней ости подвздошной кости справа со смещением (тонкая стрелка), разрыв крестцово-подвздошного сочленения.

Fig. 4. Traffic accident, passenger. CT of the pelvis, axial projection (а, б) and reconstructed coronal projection (в, г). A comminuted fracture of the pubic bone on the right with displacement (arrow), right-sided fracture of the lateral masses of the sacrum of the superior and posterior iliac spine on the right with displacement (thin arrow), rupture of the sacroiliac joint.

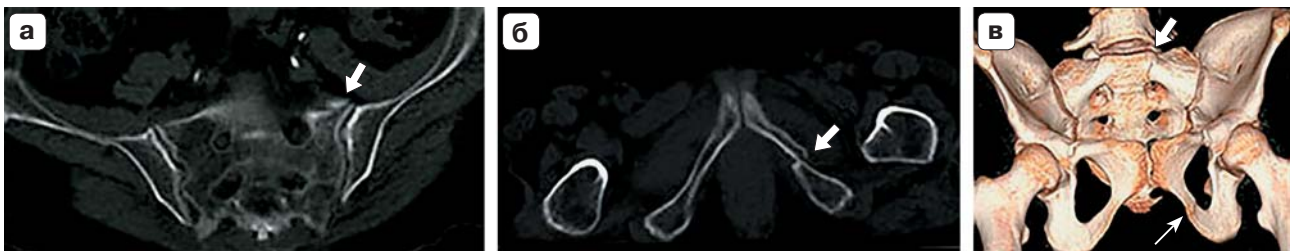


Рис. 5. Травма получена при ДТП, пассажир. КТ, аксиальный срез на уровне S₁-позвонка (а): отрывной перелом крестца слева с костным отломком (стрелка) без расширения сустава; аксиальный срез на уровне нижней ветви лонной кости (б): перелом со смещением (стрелка); 3D-реконструкция (в): белая стрелка указывает на перелом крестца, тонкая стрелка – перелом лобковой кости.

Fig. 5. Injury received in an accident – passenger. CT, axial section at the level of S₁ vertebra (а): avulsion fracture of the sacrum on the left with a bone fragment (arrow) without joint expansion; axial section at the level of the lower branch of the pubic bone (б): fracture with displacement (arrow); 3D reconstruction (в): white arrow indicates sacrum fracture, thin arrow indicates pubic bone fracture.

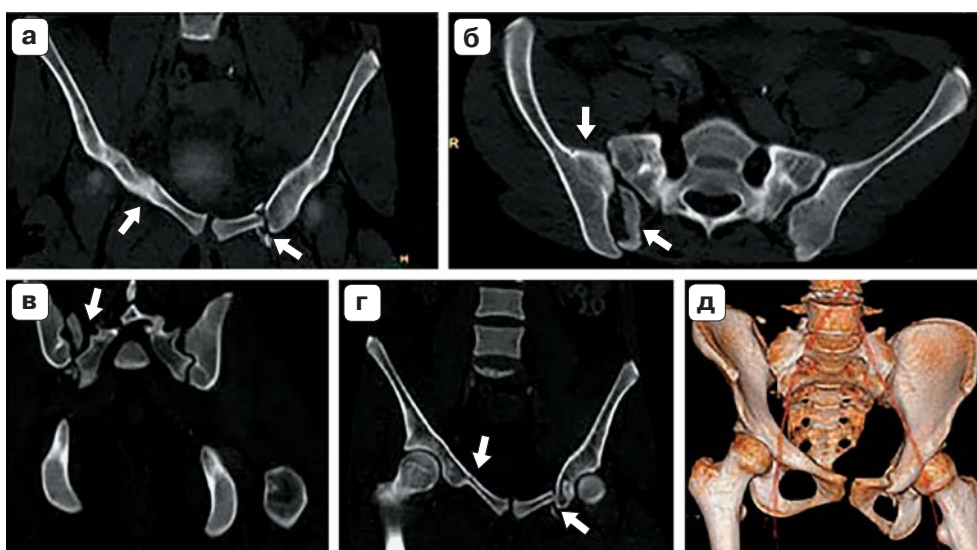
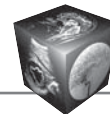


Рис. 6. КТ таза. **а** – реконструированное корональное изображения; **б** – аксиальный срез; **в, г** – реконструированные передняя и задняя косая проекции; **д** – 3D-изображение. Множественные переломы костей таза: перелом боковых масс крестца, оскольчатый перелом крыла подвздошной кости, разрыв крестцово-подвздошного сочленения, перелом верхней ветви лонной кости справа; перелом верхней и нижней ветвей лонной кости слева (стрелки указывают на переломы).

Fig. 6. CT scan of the pelvis. **a** – reconstructed coronal image; **б** – axial section; **в, г** – reconstructed anterior and posterior oblique projections; **д** – 3D image. Multiple fractures of the pelvic bones: fracture of the lateral masses of the sacrum, comminuted fracture of the wing of the ilium, rupture of the sacroiliac joint, fracture of the superior branch of the pubic bone on the right; fracture of the upper and lower branches of the pubic bone on the left (arrows indicate fractures).

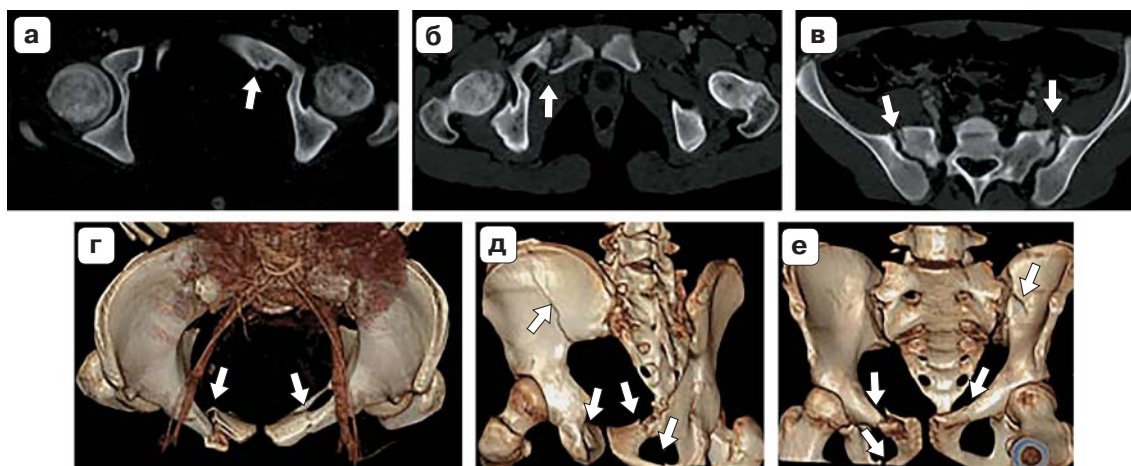


Рис. 7. Катаклизм. КТ таза. **а, б** – аксиальная проекция; **в** – реконструированная корональная проекция; **г** – 3D-изображение. Множественные переломы костей таза с нестабильностью тазового кольца: переломы боковых масс крестца с двух сторон, разрывы обоих крестцово-подвздошных сочленений, перелом крыла левой подвздошной кости, переломы верхних ветвей обеих лонных костей, справа со смещением, перелом ветви правой седалищной кости со смещением.

Fig. 7. Cataclysm. CT of the pelvis. **а, б** – axial projection; **в** – reconstructed coronal projection; **г** – 3D-image. Multiple fractures of the pelvic bones with instability of the pelvic ring: fractures of the lateral masses of the sacrum on both sides, ruptures of both sacroiliac joints, fracture of the wing of the left iliac bone, fractures of the upper branches of both pubic bones, on the right with displacement, fracture of the branch of the right ischial bone with displacement.

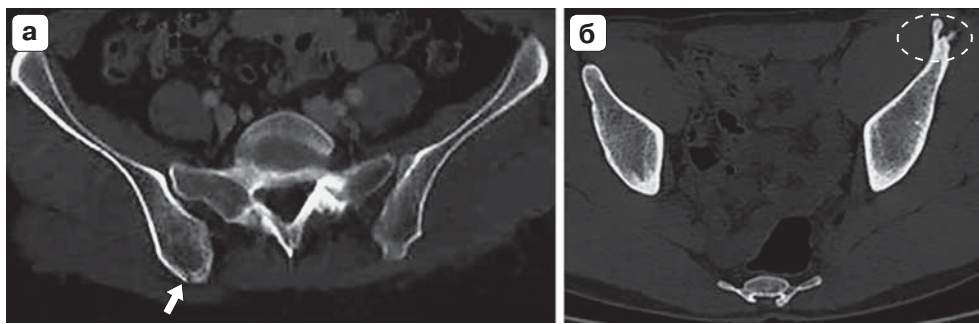


Рис. 8. КТ, аксиальные срезы. Авульсионный перелом задневерхней ости правой подвздошной кости (**а**, стрелка) и отрывной перелом гребня левой подвздошной кости (**б**, пунктирный эллипс).

Fig. 8. CT, axial slices. Avulsion fracture of the posterior superior spine of the right iliac spine (**a**, arrow) and avulsion fracture of the left iliac crest (**b**, dotted ellipse).

Линия перелома визуализируется как линейная структура. Оптимальная визуализация достигается на STIR, T1- и/или T2ВИ SE с подавлением сигнала жировой ткани (рис. 9). МРТ при переломах таза – оптимальный метод выявления отека. Чаще всего отек мягких тканей бывает при переломах лобка и вертлужной впадины, реже – при переломах крестца. Выраженность отека мягких тканей дает дополнительную информацию о степени повреждения и может иметь прогностическое значение для исхода перелома. Если на STIR или T2ВИ FS интенсивность сигнала вокруг линии перелома была идентична сигналу спинномозговой жидкости или моче и распространялась на расстояние

более 10 мм, отек считали тяжелым, средним – более 5 мм, умеренным – в пределах 5 мм или только непосредственно вдоль линии. Выраженность отека мягких тканей давала дополнительную информацию о степени повреждения и имела прогностическое значение для исхода перелома.

Сравнение диагностических возможностей МРТ и КТ при переломах крестца и вертлужной впадины показало, что при КТ около 37% были пропущены, поэтому мы рекомендуем МРТ, как более эффективный метод в визуализации переломов таза.

МРТ, хотя и редко, показана у пациентов с острой травмой таза, но она ценна в предоставлении информации о повреждении связок, мышц и сосудов, кровотечениях / образовании гематом, число которых увеличивается с ростом тяжести травмы [24, 30, 34, 35]. Несмотря на то что все пострадавшие были в категории тяжелые или крайне тяжелые, у 63 из 225 пациентов, имевших травму таза за последние три года (см. табл. 1), была выполнена МРТ в первые 2 сут от момента травмы и поступления в институт. Это было необходимо для детализации повреждений заднего полукольца, что важно при переломах крестца, осложненных травмой нервов и сплетений, а также дисфункцией мочевого пузыря и потерей тонуса сфинктера прямой кишки. При этих исследованиях были лучше оценены неоссифицированные участки тазового кольца и вертлужной впадины, выявлены недиагностированные с помощью КТ апофизеальные отрывные повреждения.

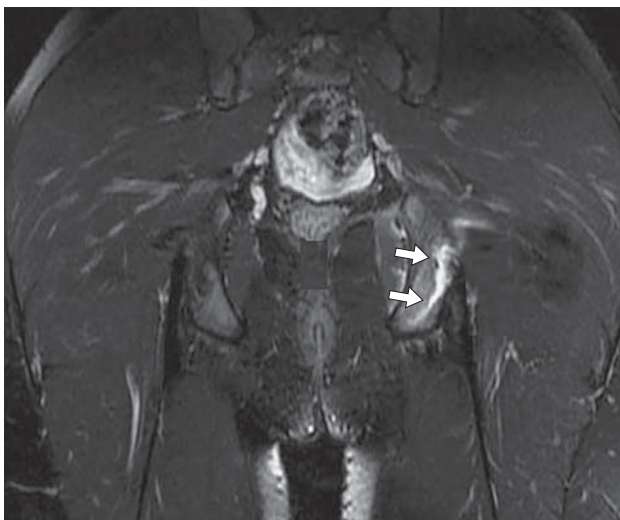
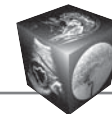


Рис. 9. Корональное изображение STIR FS визуализирует линейный гиперинтенсивный сигнал (стрелки) вдоль нижнелатерального отдела левой бугристости седалищного кости.

Fig. 9. Coronal STIR FS image visualizes a linear hyperintense signal (arrows) along the inferolateral left ischial tuberosity.

Закключение

Детям с политравмой обязательно необходимо выполнить КТ, чтобы исключить не только все не мышечно-скелетные повреждения, но и сочетанные переломы таза. Мы считаем, что для обнаружения и оценки переломов костей таза и сопутствующих повреждений других тканей и органов



в большинстве случаев многофазная КТ с внутривенным контрастированием является достаточным методом. Если после КТ остается клиническое подозрение на не раскрытые особенности или осложнения травмы таза, то следует использовать МРТ. Это особенно важно у детей младшего возраста и подростков, потому что она более чувствительна для оценки неоссифицированных участков тазового кольца, отрывных апофизеальных повреждений.

Участие авторов

Концепция и дизайн исследования – Ахадов Т.А., Карасева О.В., Никишов С.О.

Проведение исследования – Серова Н.Ю., Сидоров С.В., Мельников И.А., Божко О.В., Костикова Т.Д., Дмитренко Д.М.

Сбор и обработка данных – Божко О.В., Костикова Т.Д., Ахлебникова М.И.

Статистическая обработка данных – Манжурцев А.В., Ублинский М.В., Хусаинова Д.Н.

Анализ и интерпретация полученных данных – Ахадов Т.А., Карасева О.В., Серова Н.Ю.

Написание текста – Ахадов Т.А., Серова Н.Ю.

Подготовка и редактирование текста – Ахадов Т.А., Серова Н.Ю., Карасева О.В., Ублинский М.В.

Участие в научном дизайне – Мельников И.А., Божко О.В., Костикова Т.Д., Дмитренко Д.М.

Подготовка, создание опубликованной работы – Ахадов Т.А., Карасева О.В., Серова Н.Ю.

Ответственность за целостность всех частей статьи – Ахадов Т.А.

Утверждение окончательного варианта статьи – Ахадов Т.А., Карасева О.В., Никишов С.О.

Author's participation

Concept and design of the study – Akhadov T.A., Karaseva O.V., Nikishov S.O.

Conducting research – Serova N.Yu., Sidorov S.V., Melnikov I.A., Bozhko O.V., Kostikova T.D., Dmitrenko D.M.

Collection and analysis of data – Bozhko O.V., Kostikova T.D., Akhlebinina M.I.

Statistical analysis – Manzhurtsev A.V., Ublinskiy M.V., Khusainova D.N.

Analysis and interpretation of the obtained data – Akhadov T.A., Karaseva O.V., Serova N.Yu.

Writing text – Akhadov T.A., Serova N.Yu.

Text preparation and editing – Akhadov T.A., Serova N.Yu., Karaseva O.V., Ublinskiy M.V.

Participation in scientific design – Melnikov I.A., Bozhko O.V., Kostikova T.D., Dmitrenko D.M.

Preparation and creation of the published work – Akhadov T.A., Karaseva O.V., Serova N.Yu.

Responsibility for the integrity of all parts of the article – Akhadov T.A.

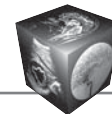
Approval of the final version of the article – Akhadov T.A., Karaseva O.V., Nikishov S.O.

Список литературы [References]

- Schlickewei W., Keck T. Pelvic and acetabular fractures in childhood. *Injury*. 2005; 36: A57. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.12.014>
- Ismail N., Bellemare J.F., Mollitt D.L., DiScala C., Koeppel B., Tepas J.J. 3rd. Death from pelvic fracture: children are different. *J. Pediatr. Surg.* 1996; 31 (1): 82–85. [https://doi.org/10.1016/s0022-3468\(96\)90324-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3468(96)90324-3)
- Demetriades D., Karaiskakis M., Velmahos G.C., Alo K., Murray J., Chan L. Pelvic fractures in pediatric and adult trauma patients: are they different injuries? *J. Trauma*. 2003; 54 (6): 1146–1151. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000044352.00377.8f>
- Gansslen A., Hildebrand F., Heidari N., Weinberg A.M. Pelvic ring injuries in children. Part I: epidemiology and primary evaluation. A review of the literature. *Acta Chir. Orthop. Traumatol. Cech.* 2012; 79 (6): 493–498. <https://doi.org/10.1007/s00590-012-1102-0>
- Holden C.P., Holman J., Herman M.J. Pediatric pelvic fractures. *JAAOS J. Am. Acad. Orthopaed. Surg.* 2007; 15 (3): 172–177. <https://doi.org/10.5435/00124635-200703000-00007>
- Banerjee S., Barry M.J., Paterson J.M.H. Paediatric pelvic fractures: 10 years experience in a trauma centre. *Injury*. 2009; 40 (4): 410–413. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.10.019>
- Silber J.S., Flynn J.M., Koffler K.M., Dormans J.P., Drummond D.S. Analysis of the cause, classification, and associated injuries of 166 consecutive pediatric pelvic fractures. *J. Pediatr. Orthopaed.* 2001; 21 (4): 446–450. <https://doi.org/10.1097/01241398-200107000-00006>
- Любошиц Н.А. Закрытые переломы костей таза у детей. М.: Медицина, 1968.
- Lyuboshits N.A. Closed fractures of the pelvic bones in children. Moscow: Medicine, 1968. (In Russian)
- Widmann R. Fractures of the Pelvis Rockwood CA WK. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
- Giannoudis P.V., Grotz M.R.W., Tzioupis C., Dinopoulos H., Wells G.E., Bouamra O., Lecky F. Prevalence of pelvic fractures, associated injuries, and mortality: the United Kingdom perspective. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2007; 63 (4): 875–883. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000242259.67486.15>
- Flint L., Cryer H. G. Pelvic fracture: the last 50 years. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2010; 69 (3): 483–488. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e3181ef9ce1>
- Marmor M., Elson J., Mikhail C., Morshed S., Matityahu A. Short-term pelvic fracture outcomes in adolescents differ from children and adults in the National Trauma Data Bank. *J. Child. Orthopaedics.* 2015; 9 (1): 65–75. <https://doi.org/10.1007/s11832-015-0634-3>
- Stahel P.F., Hammerberg E.M. History of pelvic fracture management: a review. *Wld J. Emerg. Surg.* 2016; 11 (1): 18. <https://doi.org/10.1186/s13017-016-0075-4>
- Mosheiff R., Suchar A., Porat S., Shmushkevich A., Segal D., Liebergall M. The "crushed open pelvis" in children. *Injury*. 1999; 30: 14–18. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(99\)90003-7](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(99)90003-7)
- Smith W., Shurnas P., Morgan S., Agudelo J., Luszko G., Knox E.C., Georgopoulos G. Clinical outcomes of unstable pelvic fractures in skeletally immature patients. *JBJS*. 2005; 87 (11): 2423–2431. <https://doi.org/10.2106/00004623-200511000-00008>



16. Junkins Jr. E.P., Nelson D.S., Carroll K.L., Hansen K., Furnival R.A. A prospective evaluation of the clinical presentation of pediatric pelvic fractures. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2001; 51 (1): 64–68. <https://doi.org/10.1097/00005373-200107000-00010>
17. Кузнецов Л. Е. Переломы таза у детей (морфология, биомеханика, диагностика). М.: Фолиум, 1994. Kuznetsov L.E. Pelvic fractures in children (morphology, biomechanics, diagnostics). Moscow: Folium, 1994. (In Russian)
18. Coccolini F., Stahel P.F., Montori G., Biffl W., Horer T.M., Catena F., Kluger Y., Moore E.E., Peitzman A.B., Ivatury R., Coimbra R., Fraga G.P., Pereira B., Rizoli S., Kirkpatrick A., Leppaniemi A., Manfredi R., Magnone S., Chiara O., Solaini L., Ceresoli M., Allievi N., Arvieux C., Velmahos G., Balogh Z., Naidoo N., Weber D., Abu-Zidan F., Sartelli M., Ansaloni Luca. Pelvic trauma: WSES classification and guidelines. *Wld J. Emerg. Surg.* 2017; 12 (1): 1–18. <https://doi.org/10.1186/s13017-017-0117-6>
19. Hermans E., Cornelisse S.T., Biert J., Tan E.C.T.H., Edwards M.J.R. Paediatric pelvic fractures: how do they differ from adults? *J. Child. Orthopaed.* 2017; 11 (1): 49–56. <https://doi.org/10.1302/1863-2548-11-160138>
20. Шейх Ж.В., Араблинский А.В., Кармазановский Г.Г., Донченко С.В., Алексеев Д.В., Клишко С.В. Рентгенография и мультиспиральная компьютерная томография в диагностике травмы вертлужной впадины. *Медицинская визуализация.* 2016; 1: 113–122. Sheikh Z.V., Arablinskyi A.V., Karmazanovsky G.G., Donchenko S.V., Alekseev D.V., Klimko S.V. Radiography and MSCT in the Diagnostic of Acetabular Fractures. *Medical Visualization.* 2016; 1: 113–122. (In Russian)
21. Cerva Jr. D.S., Mirvis S.E., Shanmuganathan K., Kelly I.M., Pais S.O. Detection of bleeding in patients with major pelvic fractures: value of contrast-enhanced CT. *Am. J. Roentgenol.* 1996; 166(1): 131–135. <https://doi.org/10.2214/ajr.166.1.8571861>
22. Genin G., Rode A. Imagerie du polytraumatisé. Masson, 1992.
23. Hunter J.C., Brandser E.A., Tran K.A. Pelvic and acetabular. *Radiol. Clin. N. Am.* 1997; 35 (3): 559–590.
24. Gänsslen A., Heidari N., Weinberg A.M. Fractures of the pelvis in children: a review of the literature. *Eur. J. Orthopaed. Surg. & Traumatol.* 2013; 23 (8): 847–861. <https://doi.org/10.1007/s00590-012-1102-0>
25. Amorosa L.F., Kloen P., Helfet D.L. High-energy pediatric pelvic and acetabular fractures. *Orthoped. Clin.* 2014; 45 (4): 483–500. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2014.06.009>
26. Foex B.A., Russell A. BET 2: CT versus MRI for occult hip fractures. *Emerg. Med. J.* 2018; 35 (10): 645. <https://doi.org/10.1136/emermed-2018-208093.3>
27. Rehman H., Clement R.G.E., Perks F., White T.O. Imaging of occult hip fractures: CT or MRI? *Injury.* 2016; 47 (6): 1297–1301. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.02.020>
28. Eggenberger E., Hildebrand G., Vang S., Ly A., Ward C. Use of CT vs. MRI for Diagnosis of Hip or Pelvic Fractures in Elderly Patients After Low Energy Trauma. *Iowa Orthop. J.* 2019; 39 (1): 179.
29. Gaeta M., Minutoli F., Scribano E., Ascenti G., Vinci S., Bruschetta D., Magaouda L., Blandino A. CT and MR imaging findings in athletes with early tibial stress injuries: comparison with bone scintigraphy findings and emphasis on cortical abnormalities. *Radiology.* 2005; 235 (2): 553–561. <https://doi.org/10.1148/radiol.2352040406>
30. Nüchtern J.V., Hartel M.J., Henes F.O., Groth M., Jauch S.Y., Haegle J., Briem D., Hoffmann M., Lehmann W., Rueger J.M., Großterlinden L.G. Significance of clinical examination, CT and MRI scan in the diagnosis of posterior pelvic ring fractures. *Injury.* 2015; 46 (2): 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.10.050>
31. Vaccaro A.R., Kim D.H., Brodke D.S., Harris M., Chapman J.R., Schildhauer T., Routt M.L., Sasso R.C. Diagnosis and management of sacral spine fractures. *Instr. Course Lect.* 2004; 86 (1): 166–175. <https://doi.org/10.2106/00004623-200401000-00027>
32. Schicho A., Schmidt S.A., Seeber K., Olivier A., Richter P.H., Gebhard F. Pelvic X-ray misses out on detecting sacral fractures in the elderly—Importance of CT imaging in blunt pelvic trauma. *Injury.* 2016; 47 (3): 707–710. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.01.027>
33. Durkin A., Sagi H.C., Durham R., Flint L. Contemporary management of pelvic fractures. *Am. J. Surg.* 2006; 192 (2): 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2006.05.001>
34. Kos S., Gutzeit A., Hoppe H., Liu D.M., Jacob A.L. Diagnosis and therapy of acute hemorrhage in patients with pelvic fractures. *Seminars in musculoskeletal radiology.* – Thieme Medical Publishers. 2013; 17 (4): 396–406. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1356469>
35. Cabarrus M.C., Ambekar A., Lu Y., Link T.M. MRI and CT of insufficiency fractures of the pelvis and the proximal femur. *Am. J. Roentgenol.* 2008; 191 (4): 995–1001. <https://doi.org/10.2214/ajr.07.3714>
36. Torode I., Zieg D. Pelvic fractures in children. *J. Pediatr. Orthopaed.* 1985; 5 (1): 76–84. <https://doi.org/10.1097/01241398-198501000-00014>
37. Tile M. Pelvic ring fractures: should they be fixed? The Journal of bone and joint surgery. *Br. Vol.* 1988; 70 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.70b1.3276697>
38. Chia J.P.Y., Holland A.J.A., Little D., Cass D.T. Pelvic fractures and associated injuries in children. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2004; 56 (1): 83–88. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000084518.09928.ca>
39. Moore N., Mills T.J. Pelvic Fracture in Emergency Medicine. Medscape, 2017.
40. Burlew C.C., Moore E.E., Stahel P.F., Geddes A.E., Wagenaar A.E., Pieracci F.M., Fox C.J., Campion E.M., Johnson J.L., Mauffrey C. Preperitoneal pelvic packing reduces mortality in patients with life-threatening hemorrhage due to unstable pelvic fractures. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2017; 82 (2): 233. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000001324>
41. Caillot M., Hammad E., Le Baron M., Villes V., Leone M., Flecher X. Pelvic fracture in multiple trauma: a 67-case series. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2016; 102 (8): 1013–1016.
42. Andrich S., Haastert B., Neuhaus E., Neidert K., Arend W., Ohmann C., Grebe J., Vogt A., Jungbluth P., Thelen S., Windolf J., Icks A. Excess mortality after pelvic fractures among older people. *J. Bone Mineral Res.* 2017; 32 (9): 1789–1801. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3116>
43. Scott S.T., Watt I. Gas at the symphysis pubis: a sign of occult pelvic trauma. *Br. J. Radiol.* 1984; 57 (674): 173–176. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-57-674-173>



Для корреспонденции*: Ублинский Максим Вадимович – 119180 Москва, ул. Большая Полянка, д. 22. НИИ неотложной детской хирургии и травматологии ДЗ города Москвы. Тел.: +7-929-620-21-77. E-mail: maxublinsk@mail.ru

Серова Наталья Юрьевна – канд. мед. наук, научный сотрудник НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2527-2956>

Ахадов Толибджон Абдуллаевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевых методов диагностики НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3235-8854>

Карасева Ольга Витальевна – доктор мед. наук, заместитель директора по научной работе, руководитель отдела сочетанной травмы, анестезиологии-реанимации НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9418-4418>

Мельников Илья Андреевич – канд. мед. наук, врач-рентгенолог НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2910-3711>

Божко Ольга Васильевна – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4709-9461>

Никишов Сергей Олегович – канд. мед. наук, заведующий отделением травматологии НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7407-2515>

Дмитренко Дмитрий Михайлович – заведующий отделением рентгенодиагностики НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1260-4509>

Манжурцев Андрей Валерьевич – канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5022-9952>

Ахлебинина Мария Игоревна – врач-рентгенолог НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9862-3609>

Костикова Татьяна Дмитриевна – врач-рентгенолог НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9103-9191>

Сидоров Сергей Владимирович – врач-травматолог НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3304-8049>

Ублинский Максим Вадимович – канд. биол. наук, научный сотрудник НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4627-9874>

Хусаинова Дарья Николаевна – младший научный сотрудник НИИ НДХиТ, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0387-7046>

Contact*: Maxim V. Ublinskiy – 22, Bolshaya Polyanka str., Moscow, 119180, Russian Federation. Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma. Phone: + 7-929-620-21-77. E-mail: maxublinsk@mail.ru

Natalya Yu. Serova – Cand. of Sci. (Med.), researcher, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2527-2956>

Tolibdzhon A. Akhadov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of radiology department, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3235-8854>

Olga V. Karaseva – Doct. of Sci. (Med.), deputy director for research, Head of the Department of Combined Trauma, Anesthesiology and Resuscitation, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9418-4418>

Ilya A. Mel'nikov – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2910-3711>

Ol'ga V. Bozhko – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4709-9461>

Sergey O. Nikishov – Cand. of Sci. (Med.), Head of Traumatology Department, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7407-2515>

Dmitriy M. Dmitrenko – Head of X-ray Department, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1260-4509>

Andrei V. Manzhurtsev – Cand. of Sci. (Phys.-Math.), researcher, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5022-9952>

Maria I. Akhlebinina – radiologist, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9862-3609>

Tatyana D. Kostikova – radiologist, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9103-9191>

Sergey V. Sidorov – traumatologist, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3304-8049>

Maxim V. Ublinskiy – Cand. of Sci. (Biol.), researcher, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3235-8854>

Daria N. Khusainova – junior researcher, CRIEPST, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0387-7046>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1049>

Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор

© Петрайкин А.В.^{1*}, Скрипникова И.А.²

¹ ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия; 109029 Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1, Российская Федерация

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России; 101990 Москва, Петроверигский пер., 10, стр.3, Российская Федерация

Обзор посвящен методике количественной компьютерной томографии (ККТ, QCT – quantitative computed tomography). При ККТ производится перевод рентгеновской плотности (НУ) в минеральную плотность кости (МПК, мг/мл) с помощью линейных зависимостей, полученных при использовании калибровочных стандартов (фантомов). При сопоставлении с нормативными возрастными данными возможна диагностика остеопороза (ОП). В обзоре представлены различные методики ККТ и их диагностические возможности в соответствии с позициями ISCD 2019 (International Society for Clinical Densitometry). Рассмотрены результаты сравнения ККТ и стандартной двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА, DXA – dual-energy X-ray absorptiometry). Отмечено, что при исследовании проксимального отдела бедра результаты методик хорошо сопоставимы, по результатам обеих методик возможна диагностика ОП по Т-критерию. Однако при исследовании позвоночника при ККТ оценивается объемная МПК губчатого вещества тел позвонков, а при ДРА оценивается проекционная МПК. Различны и подходы к интерпретации результатов – при постановке диагноза ОП при ДРА позвоночника используется Т-критерий, а при ККТ – критерии ACR (American College of Radiology).

В обзоре описаны фантомы, применяемые в ККТ, приведены данные по лучевой нагрузке при проведении ККТ и ДРА.

Описан подход к оппортунистическому скринингу ОП методом ККТ по результатам ранее проведенной КТ, включая автоматизированные его варианты с использованием технологий искусственного интеллекта. Эти перспективные методики привлекательны ввиду большого количества выполняемых КТ-исследований и исключения проведения дополнительных исследований.

Ключевые слова: количественная компьютерная томография, КТ-денситометрия, остеоденситометрия, минеральная плотность кости, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, остеопороз, фантомы

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Петрайкин А.В., Скрипникова И.А. Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор. *Медицинская визуализация*. 2021; 25 (4): 134–146.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1049>

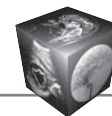
Поступила в редакцию: 17.07.2021. **Принята к печати:** 11.10.2021. **Опубликована online:** 29.12.2021.

Quantitative Computed Tomography, modern data. Review

© Alexey V. Petraikin^{1*}, Irina A. Skripnikova²

¹ State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow “Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Health Care Department”; 28-1, Srednyaya Kalitnikovskaya str., Moscow, 109029, Russian Federation

² National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Ministry of Health Care of Russia; 10-3, Petroverigsky per., Moscow, 101990, Russian Federation



In the review we discussed about the method of quantitative computed tomography (QCT, quantitative computed tomography). In QCT, X-ray density (HU) is converted to bone mineral density (BMD mg / ml) using linear relationships obtained by scanning calibration standards (phantoms). When compared with the normative age data, it is possible to diagnose osteoporosis (OP). The review presents various QCT techniques and their diagnostic capabilities in accordance with the positions of ISCD 2019 - (International Society for Clinical Densitometry). The results of comparison of QCT and conventional dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) are considered. It is noted that in the study of the proximal femur (PF), the results of the methods are well comparable, according to the results of both methods, it is possible to diagnose OP by the T-score. However, when examining the spine QCT, the volume BMD of the trabecular bone of the vertebral bodies is assessed, and with DXA, the projection BMD is assessed. The approaches to the interpretation of the results are also different - diagnosis of OP in DXA of the spine based on the T-score, but in QCT, the ACR (American College of Radiology) criteria are used.

We describe the phantoms used in QCT, as well as provide data on radiation exposure during QCT and DXA.

The article describes an approach to opportunistic screening of osteoporosis by the QCT based on the results of previously performed CT scans, including its automated work-flow using artificial intelligence technologies. These promising techniques are attractive due to the large number of CT examinations performed and the exclusion of additional examinations.

Keywords: Quantitative Computed Tomography; QCT; bone mineral density; BMD; Osteoporosis; phantom

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

For citation: Petraikin A.V., Skripnikova I.A. Quantitative Computed Tomography, modern data. Review. *Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 134–146. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1049>

Received: 17.07.2021.

Accepted for publication: 11.10.2021.

Published online: 29.12.2021.

Метод количественной компьютерной томографии (ККТ)

Компьютерная томография как метод формирования двумерных изображений получил развитие с 1972 г., когда Годфри Хаунсфилд (Godfrey Hounsfield) на базе лабораторий EMI в Великобритании (EMI – одна из 4 наиболее крупных фирм звукозаписи) создал первый компьютерный томограф [1]. Первоначально проводилось исследование только головного мозга. Определение минеральной плотности кости (МПК) методом КТ (ККТ, QCT) стало возможным после 1976 г., когда стали проводить КТ-исследования всего тела [2]. С началом широкого применения двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА) в 1986 г. [3] значимость ККТ снизилась, но метод продолжал развиваться.

Компьютерная томография является неинвазивным и не повреждающим ткани методом, позволяющим измерять рентгеновскую плотность в единицах Хаунсфила (Hounsfield Units, HU). В этих единицах плотность воздуха составляет –1000 HU, а воды 0 HU. С помощью КТ можно проводить анализ как макроструктуры, так и микроструктуры кости. Для исследования макроструктуры применяют ККТ с пространственным разрешением от 500 до 1000 мкм и высокоразрешающую ККТ (Вр-ККТ) с разрешением от 100 до 500 мкм. К методам неинвазивной визуализации микроструктуры кости относят микро-КТ (микро-КТ) с разрешением от 1 до 100 мкм. Методы ККТ и Вр-ККТ подходят для использования *in vivo* у человека в практической медицине. Микро-КТ используется в основном в

экспериментах *in vitro* и *in vivo* у животных [4], на образцах костной биопсии у человека в научных исследованиях [5], при изучении микрогравитации и испытаниях лекарственных препаратов [6, 7].

Количественная компьютерная томография

Одним из преимуществ ККТ по сравнению с ДРА является возможность раздельного анализа МПК в трабекулярном (губчатом) и кортикальном слоях кости. Поскольку трабекулярная кость, особенно в позвонках, более метаболически активна, измерение этого участка кости может использоваться в качестве раннего индикатора для оценки терапевтического эффекта. Кортикальная кость, доминирующая в области шейки бедра, имеет большое значение для оценки риска переломов [8].

При ККТ производится перевод HU в объемную МПК (мг/мл) с помощью линейных зависимостей, полученных при использовании калибровочных стандартов (фантомов). Полученные значения МПК соотносятся с нормативными возрастными данными [9].

Первые фантомы, необходимые для проведения ККТ, моделирующие МПК, состояли из растворов гидрофосфата калия (K_2HPO_4), например стандарт Cann–Genant [9, 10]. В дальнейшем были разработаны более стабильные твердотельные стандарты и была проведена корректировка нормативной базы МПК [11].

Подходы к анализу и интерпретации сходны с анализом данных при ДРА, однако имеются особенности различной оценки объемной и проекци-



Таблица 1. Виды ККТ

Table 1. Types of QCT

Методика ККТ	Центральная (ККТ, QCT)		Периферическая (пККТ, pQCT)
Пример программного обеспечения	QCT PRO™ Mindways Software, Inc.; Osteo CT, Siemens	СТХА (по аналогии с ДРА) Mindways Software, Inc.	3D Density and Structure Analysis, Scanco Medical
Область исследования	Поясничный отдел позвоночника (L_1-L_{II}), результаты в мг/мл	ПОБ, аналогично ДРА, результаты в г/см ²	Дистальный отдел лучевой кости, (большеберцовая, бедренная кости на сканерах другого типа), оценивается плотность кортикального, субкортикального слоев и губчатого вещества в мг/мл [23]
Тип КТ-сканера	КТ-сканер любой модели. Представлены примеры для Canon Aquilion 64		Специализированные конусно-лучевые компьютерные томографы) например XtremeCT II (Scanco Medical), xCT 3000 (Stratec Medizintechnik GmbH)

онной МПК, разработаны различные типы программного обеспечения для обсчета полученных результатов в соответствии с калибровочными данными [9, 12]. ККТ может выполняться на КТ-сканерах любых моделей, для этого необходимы калибровочные фантомы и программное обеспечение для обсчета полученных результатов в соответствии с калибровочными данными.

ККТ по анатомическим областям сканирования подразделяется на центральную и периферическую. К центральной ККТ относят исследование позвоночника и проксимального отдела бедра (ПОБ), а к периферической – исследование предплечья, дистального отдела бедренной кости и костей голени (табл. 1).

ККТ позвоночника. В стандартную процедуру, согласно рекомендации ISCD 2019 (International Society for Clinical Densitometry), входит сканирование тел двух позвонков в диапазоне от Th_{XII} до L_{IV} , предпочтительно L_1 и L_{II} [13]. Затем производятся сегментация тел позвонков, подбор углов вращения, чтобы зона интереса располагалась в передней части тела позвонка, не захватывая кортикальный слой и сосудистые структуры (рис. 1а; табл. 1); результаты измерений отдельных позвонков усредняются и представляются в единицах мг/мл. Состояние норма/остеопороз/остеопении определяется по критериям ACR (American College of Radiology) [14]. Норме соответствуют значения МПК более 120 мг/мл, остеопении – от 120 до 80 мг/мл, остеопорозу – менее 80 мг/мл.

Ряд исследований обосновывают использование только НУ для диагностики остеопороза (ОП) и предсказания риска переломов без калибровки и определения МПК [15–17]. Было показано, что для позвонка L_1 плотность 160 НУ соответствовала чувствительности более 90%, а порог в 73 НУ – более чем 90% специфичности разделения состоя-

ний остеопороза от остеопении и нормальной МПК. Порог 116 НУ показал сбалансированную чувствительность и специфичность 60% [18]. Этот подход нашел отражение в позиции ISCD 2019 [13].

В отечественных исследованиях обосновывается эффективность методики ККТ [19], а также приводятся популяционные данные по возрастному распределению МПК [20].

ККТ проксимального отдела бедренной кости. При проведении ККТ ПОБ проводится сканирование от головки включительно до проксимального отдела диафиза бедренной кости [13]. После сканирования в специальном программном обеспечении автоматически выполняются сегментация, выделение костных структур, исключение окружающих мягких тканей и ориентация разметки вдоль оси шейки бедренной кости, аналогично ДРА (см. рис. 1б; табл. 1). В данной методике отдельно определяется объемная МПК губчатого и кортикального слоев, после чего результаты объединяются и рассчитывается проекционная МПК (см. табл. 1), результаты предоставляются в г/см².

Учитывая то, что при ККТ проксимального отдела бедренной кости регистрируются проекционные данные МПК, оказалось возможным применение Т-критерия диагностики остеопороза согласно позиции ISCD 2019 [12, 13, 21]. Рассмотренная в табл. 2 методика получила название СТХА (Computed Tomography – X-ray Absorptiometry – методика ККТ для проксимального отдела бедра по аналогии с ДРА) [12, 21].

пККТ – периферическая компьютерная томография, выполняется для периферических отделов скелета: исследуются дистальный отдел предплечья [22], дистальный отдел бедренной кости, кости голени. Несмотря на небольшую дозовую нагрузку (см. табл. 2), данные исследования не являются широко распространенными, так как

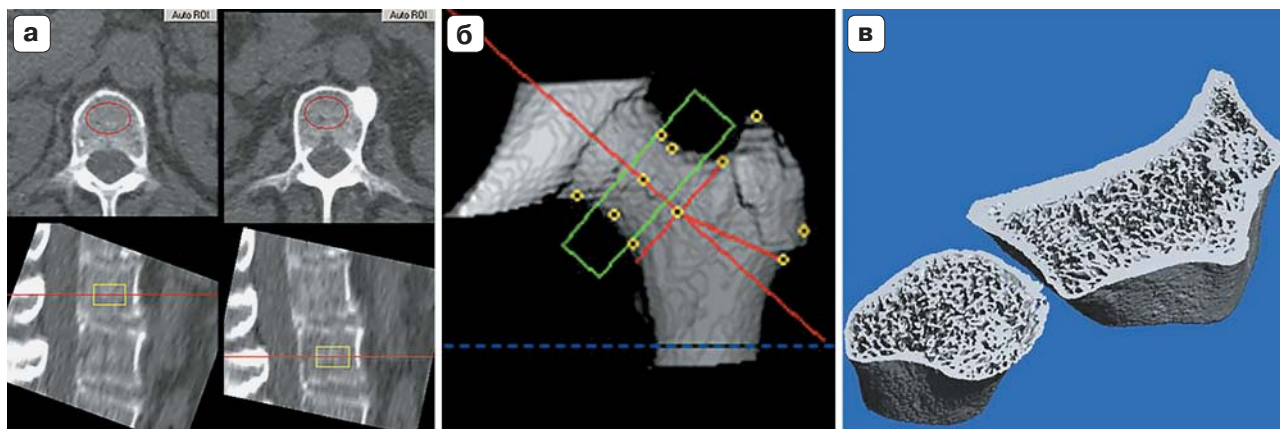
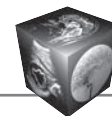


Рис. 1. Примеры ККТ-изображений. **а** – при исследовании позвоночника, обработка в программном обеспечении QCT PRO™ Mindways Software, Inc.; **б** – при исследовании ПОБ, обработка в программном обеспечении СТХА Mindways Software, Inc.; **в** – при исследовании дистального отдела предплечья по данным программы 3D Density and Structure Analysis SCANCO MEDICAL XtremeCT II.

Fig. 1. Examples of QCT images. **a** – spine study, processing in the software QCT PRO™ Mindways Software, Inc.; **б** – proximal femur study, processing in CTXA Mindways Software, Inc.; **в** – study of the distal forearm, according to the 3D Density and Structure Analysis SCANCO MEDICAL XtremeCT II program.

требуют использования дополнительного оборудования – конусно-лучевых компьютерных томографов со специальным дизайном [23]. Получаемые данные высокого разрешения позволяют оценить микроархитектуру костной ткани.

Для проведения пККТ могут использоваться как обычные клинические сканеры, так и специализированные [9]. Специализированные КТ-сканеры для предплечья позволяют получать изображения с разрешением до 82 мкм [23] (см. рис. 1в, табл. 1).

Эффективность объемной ККТ позвоночника в оценке риска переломов и потери костной массы с возрастом обусловлена возможностью данной технологии изолированно измерять МПК губчатого вещества тел позвонков [9]. Возрастные нормативные данные для объемной МПК позвоночника в сравнении с проекционной МПК ПОБ, измеренные с помощью ККТ, представлены на рис. 2. После 45 лет снижение объемной МПК тел позвонков с возрастом более выражено для ККТ (в среднем 1,5% в год), что хорошо соотносится с другими данными (1,96%) [24]. При этом потеря костной массы для проксимального отдела бедренной кости, измеренной проекционно, происходит медленнее (0,79% в год по нормативным данным проекционной ККТ, СТХА, рис. 2б), а также для ДРА позвоночника (0,45%) [24]. Это связано с более высокой метаболической активностью, более быстрым ремоделированием губчатого вещества по сравнению с кортикальным слоем, что в свою очередь обусловлено большим отношением площади к объему костных структур [25]. Ввиду более выра-

женного снижения объемной МПК губчатого вещества в зависимости от возраста становится не применимой диагностика по Т-критерию. На рис. 1а пунктирной линией показан уровень, соответствующий $-2,5$ SD (стандартные отклонения). Использование этого показателя привело бы к гипердиагностике ОП. Поэтому для диагностики остеопении и ОП при ККТ позвоночника используются критерии ACR [14], приведенные выше (см. рис. 2а). Данные проекционной МПК для ПОБ, определяемые методом ККТ, выражаются в г/см². Для этого показателя характерна менее выраженная возрастная зависимость, что позволяет применять Т-критерий (диагностика ОП при МПК по Т-критерию ниже $-2,5$ SD относительно пика 20–30-летних женщин европеоидной расы (рис. 2б), а нормативные данные после коррекции хорошо сопоставимы с NHANES III (Third National Health and Nutrition Examination Survey) [12, 21].

Сопоставимость результатов сканирования ПОБ (анализировалась шейка бедренной кости) методами ККТ и ДРА была подтверждена исследованиями отечественных авторов [26]. Стандартная процедура КТ-сканирования с контрастным усилением и с последующим выполнением ККТ (СТХА Mindways) была выполнена 355 взрослым пациентам (277 женщин) с последующей оценкой МПК методом ДРА в течение 100 дней [42]. Между результатами ККТ и ДРА была отмечена выраженная корреляция ($R^2 = 0,824$ как для проекционной МПК, так и для Т-критерия). Примечательно, что Т-критерий для шейки бедра при ДРА был на 0,18 SD выше, чем при ККТ. Чувствительность ККТ для

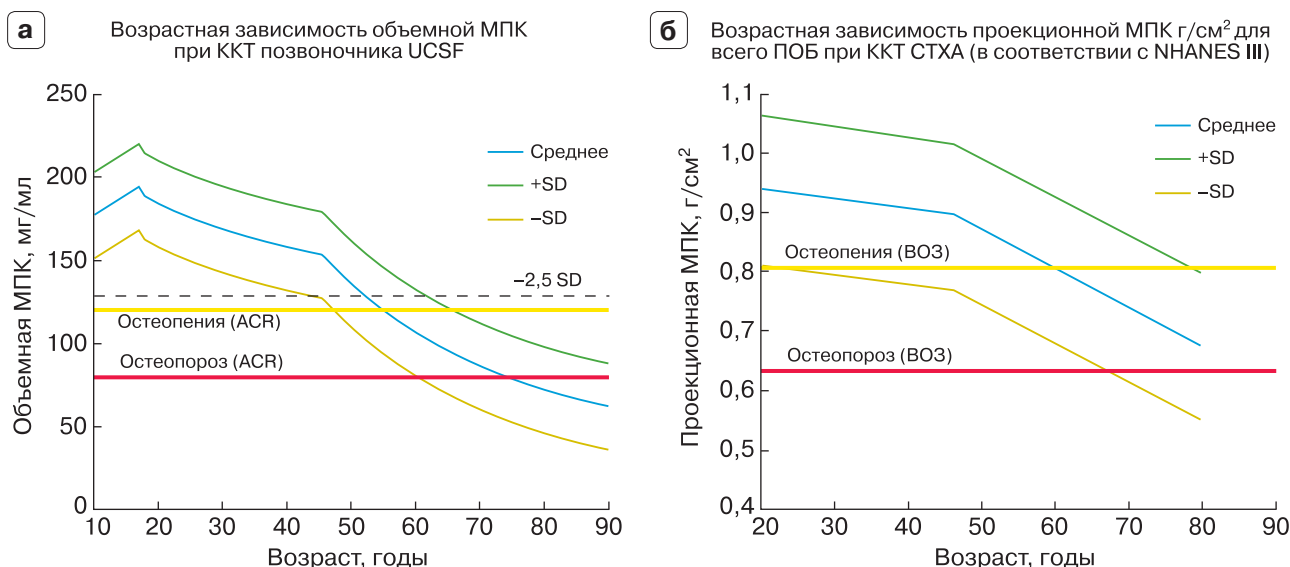


Рис. 2. Возрастные зависимости МПК при проведении ККТ (QCT PRO Mindways). **а** – возрастная нормативная кривая объемной МПК губчатого вещества тел позвонков у женщин; отмечены согласно критериям ACR 2018 [14]: желтая линия – уровень остеопении (менее 120 мг/мл), красная линия – уровень остеопороза (менее 80 мг/мл). В соответствии с нормативными данными UCSF (University of California, San Francisco). Пунктирная линия – уровень $-2,5$ SD относительно максимального значения МПК; **б** – возрастная нормативная кривая для ПОБ отмечена согласно критериям ВОЗ: желтая линия (-1 SD) – остеопения; красная линия ($-2,5$ SD) – остеопороз. В соответствии с нормативными данными NHANES III (Third National Health and Nutrition Examination Survey).

Fig. 2. Age dependences of BMD using QCT (QCT PRO Mindways). **а** – age normative data of the volumetric BMD of trabecular bone of the vertebral bodies in women in accordance with UCSF (University of California, San Francisco) regulatory data. Yellow line – the level of osteopenia (less than 120 mg / ml), the red line – the level of osteoporosis (less than 80 mg / ml) marked according to the ACR 2018 criteria [14]. Dotted line: $-2,5$ SD level relative to the maximum BMD value; **б** – age normative curve for proximal hip in accordance with NHANES III (Third National Health and Nutrition Examination Survey) regulatory data. Yellow line (-1 SD), osteopenia; red line ($-2,5$ SD), osteoporosis marked according to WHO criteria:

разграничения нормальной и сниженной МПК составила 94,9% в сравнении с ДРА. На основании полученных результатов метод ККТ рекомендован авторами для оппортунистического скрининга ОП, т.е. для исследования МПК параллельно с визуализацией других органов и тканей по результатам уже выполненных КТ-исследований с другими целями.

Соответствие показателей проекционной МПК по данным ККТ и ДРА позволило включить измерения по шейке бедра, полученные при ККТ, в калькулятор FRAX®, инструмент оценки риска переломов [27]. При этом более корректен расчет во FRAX® по данным абсолютных значений МПК, чем использование Т-критерия, так как происходит автоматический расчет Т-критерия с дополнительной корректировкой на 0,2 SD.

Была показана более высокая эффективность ККТ позвоночника в отношении оценки риска формирования патологических компрессионных переломов (КП) тел позвонков. Относительные риски (odds ratio) КП были выше у пациентов с низкой объемной МПК губчатого вещества по данным

ККТ: 3,26 по сравнению с ДРА в прямой проекции 1,54 [28]. По другим данным было определено отношение рисков 7,3 для ККТ и 1,9 для ДРА по Т-критерию, показатели ROC AUC составили 0,894 для ККТ и 0,67 для ДРА [29]. Сходные показатели ROC AUC при анализе предсказания переломов тел позвонков были продемонстрированы в отечественной публикации (Захаров И.С., 2016) для трабекулярной костной ткани тел позвонков (0,862) и для кортикального слоя (0,848).

Основные положения ISCD пересмотра 2019 г. [13] основаны на ряде исследований, посвященных анализу ККТ и пККТ [30], применению ККТ для оценки МПК ПОБ и диагностике ОП у взрослых [21], использованию ККТ для оценки механической прочности кости методом FEA (Finite Element Analysis) [31], оценке асинхронной калибровки ККТ и современных методов анализа данных ККТ [32].

Практические рекомендации для использования ККТ в клинической практике, так же как и для других методов оценки состояния костной ткани, сформулированы с учетом эффективности: 1) в оценке риска переломов; 2) в диагностике ОП;

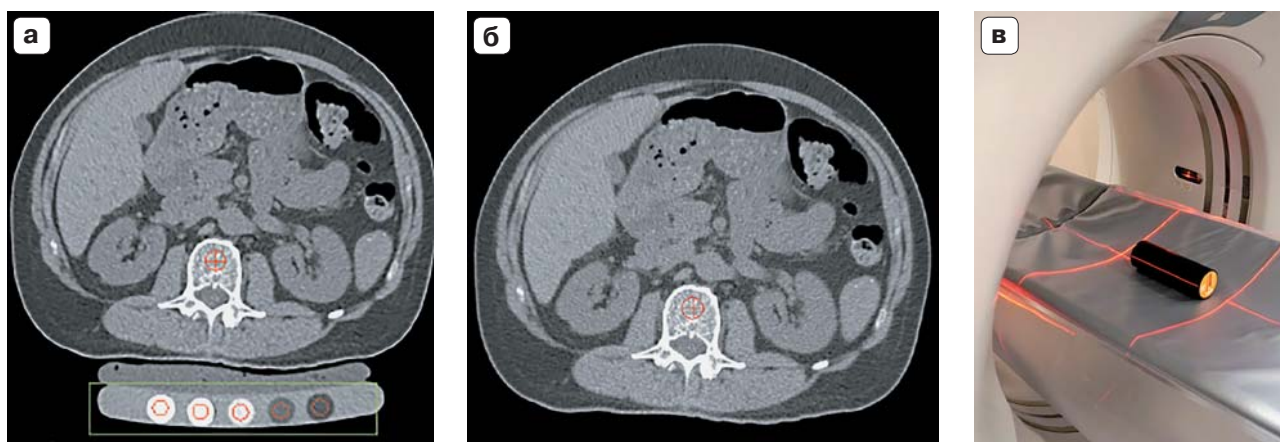
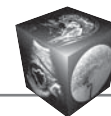


Рис. 3. Примеры выполнения ККТ. **а** – синхронная, то есть сканирование калибровочного фантома происходит одновременно с пациентом; **б** – асинхронная, КТ-сканирование пациента (**б**) и отдельное от пациента сканирование фантома, выполняемое один раз в месяц (**в**), необходимое для расчета калибровочных прямых по пересчету HU в МПК (по данным брошюр фирмы производителя QCT PRO Mindways Software, Inc.).

Fig. 3. Examples of QCT results. **a** – synchronous, that is scanning of the calibration phantom occurs simultaneously with the patient; **b** – asynchronous, CT scan of the patient and a separate scan of the phantom, performed once a month (**в**), necessary to calculate the calibration lines for recalculating HU to BMD (according to the brochures of the manufacturer QCT PRO Mindways Software, Inc.).

3) в назначении терапии; 4) в контроле терапии; 5) в обеспечении качества/контроля качества исследований. Все эти пункты нашли отражение в положениях ISCD 2019 [13].

Обеспечение качества проводимых измерений МПК при использовании ККТ

Помимо внутренних фантомов, применяемых для калибровки ККТ во время сканирования, разработаны внешние фантомы, подобные тем, которые применяются при ДРА. Они необходимы для независимой оценки точности выполняемых ККТ-исследований. Например, полуантропоморфный фантом позвоночника ESP (European Spine Phantom) разрабатывался с учетом возможности оценки проекционной МПК при ДРА и объемной МПК тел позвонков при ККТ [33]. Разработан отечественный фантом позвоночника, позволяющий оценивать результаты ККТ и ДРА [34]. Существуют сложные фантомы для ККТ, моделирующие строение ПОБ [35].

Оценка кратковременной воспроизводимости (short-term precision), оцененной как коэффициент вариации CV%, может проводиться как при исследовании пациентов [30], так и при фантомном моделировании. Коэффициент вариации для ККТ при оценке *in vivo* составляет CV = 1,4–1,7% [36]. При фантомном моделировании были показаны меньшие значения CV = 0,86% [34]. Для оценки точности (ассигура), которая оценивается как относительная погрешность $\epsilon\%$ метода ККТ, приводятся различные данные. При исследовании фан-

тома ESP методом синхронной ККТ разброс значений ϵ составлял от 3,7 (для моделируемой плотности 50 мг/мл) до 5,9% (200 мг/мл), а для асинхронной – от 3,8% (50 мг/мл) до –6,7% (200 мг/мл). Наиболее точно была определена МПК для моделируемой плотности 100 мг/мл с помощью метода асинхронной ККТ 1,4% [37]. Относительная погрешность при асинхронной ККТ зависит от режимов сканирования и моделирования жирового окружения. Для оптимального фильтра реконструкции и с моделированием подкожно-жировой клетчатки относительная погрешность имела разброс от 0,94 (50 мг/мл) до –3,92% (200 мг/мл) [34].

Дополнительные возможности исследования костной ткани с использованием ККТ

Синхронная ККТ – выполнение КТ-сканирования пациента одновременно (синхронно) с фантомом (рис. 3а). При этом виде сканирования под пациента подкладывают дополнительный матрас со специальными вставками, обеспечивающими опорные значения МПК [11]. В этом случае необходимо периодическое сканирование фантома, имитирующего тело человека, что усложняет эксплуатацию системы [38].

Асинхронная ККТ – выполнение КТ-сканирования пациента без одновременного сканирования фантома (рис. 3б), при этом фантом сканируют периодически (один раз в месяц), без пациента, то есть асинхронно (рис. 3в). Результаты калибровки, полученные при сканировании фантома, затем учитываются при количественном



анализе результатов КТ-сканирования. Это наиболее современный и упрощенный с точки зрения пользователя метод, который значительно расширяет возможности оппортунистического скрининга [38,39]. Широкое распространение сканеров с моноэнергетическими режимами и асинхронной калибровкой позволяет эффективно применять эти технологии для оппортунистического скрининга [12, 40–44]. Применение асинхронной ККТ отражено в позициях ISCD 2019 [13].

ККТ с использованием в качестве внутренних стандартов ткани пациента. Существуют методики ККТ, использующие в качестве референсных значений плотности ткани пациента (жир, мышцы) [45, 46].

Точность определения МПК, влияние параметров сканирования на результаты, а также зависимость результатов от конституции и наличия у пациента признаков мышечной атрофии недостаточно изучены [32]. Рекомендации ISCD в отношении данных методов не были сформированы.

Оценка прочности кости на основе технологий анализа конечных элементов FEA (finite element analysis). В основе данного метода лежит анализ трехмерного распределения МПК, полученного по данным ККТ с последующим расчетом показателей механической прочности кости с учетом геометрии костных структур. Было показано, что измерение прочности (strength) кости как предиктора переломов более эффективно по сравнению с измерением только объемной (для позвоночника) и проекционной МПК (для ПОБ) для мужчин и женщин [47]. На основании результатов этих исследований ISCD выработало рекомендации в отношении этого метода [13, 31].

Текстурный анализ – может быть отнесен к технологиям, усиливающим предсказательную силу измерения МПК в отношении риска переломов. Это вариант радиомического анализа; он может рассматриваться как трехмерный аналог трабекулярного костного индекса (ТКИ) при ДРА. Применение текстурного анализа тел позвонков позволило лучше прогнозировать переломы тел позвонков, поскольку показатель ROC AUC (0,88) превышал таковой при объемной МПК (0,63) [48].

Двухэнергетические методики ККТ (Dual Energy QCT)

Наряду с моноэнергетическими методиками разрабатывались подходы к определению МПК с помощью двухэнергетических методов [9]. До недавнего времени применение двухэнергетических методов было сопряжено с увеличением лучевой нагрузки. В 2019 г. опубликована работа по использованию КТ-сканера с двухслойным

детектором (IQon Spectral CT, Philips Healthcare) для определения МПК без калибровочного фантома и без дополнительной лучевой нагрузки. Показана высокая корреляция ($r = 0.987$) с моноэнергетической методикой ККТ (QCT Pro, Mindways Software, Inc.) [49]. Следует отметить, что сканеры данного типа (спектральные КТ-сканеры с двухслойным детектором) являются дорогостоящими, вследствие чего имеют ограниченное распространение. Моноэнергетические методики ККТ более просты в анализе и могут использоваться практически на всех видах компьютерных томографов. Для формирования рекомендации по использованию ККТ в оценке состояния костной ткани ISCD основывалось на моноэнергетических режимах сканирования.

Технологии искусственного интеллекта для автоматического измерения НУ и МПК тел позвонков

Подобно тому, как проводится автоматическая диагностика компрессионных переломов тел позвонков [50], саркопении [51, 52], современные технологии искусственного интеллекта, основанные на конволюционных нейронных сетях (convolutional neural networks – CNN), позволяющие автоматически проводить сегментацию, счет позвонков и определять МПК тел позвонков [29,53] по данным КТ. Объемная МПК, определенная автоматически, позволяла предсказывать переломы тел позвонков почти так же хорошо (относительные риски, odds ratio составили 6,8) по сравнению с оценкой экспертом (относительные риски 7,3) [29]. В другой публикации было показано, что автоматическая оценка трех показателей – наличие компрессионного перелома, определение МПК, а также суррогатного Т-критерия аналогичного ДРА по результатам ранее выполненных КТ – продемонстрировала сопоставимые показатели ROC AUC (70,9%) по сравнению с данными алгоритма FRAX без МПК (69,1%) при оценке 10-летнего риска основных переломов и переломов ПОБ 76,0% при автоматическом определении по сравнению с 75,1% при оценке по FRAX [54].

Эффективные дозы ионизирующего излучения при ККТ

Эффективные дозы при выполнении ККТ могут различаться в зависимости от методики, области сканирования и применяемого типа оборудования, однако в целом значительно превышают дозы при ДРА-исследовании, но ниже, чем при обычном исследовании брюшной полости (табл. 2). Это является существенным ограничением метода при его плановом применении.

**Таблица 2.** Эффективные дозы при выполнении ККТ в сравнении с другими методами**Table 2.** Effective doses during QCT scans in comparison with other methods

Характер излучения	Эффективная доза	Источник
Семичасовой перелет на самолете	50 мкЗв	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, 2021 [55]
Естественный фон (средний мировой)	2,4 мЗв/год (6,5 мкЗв / день)	J. Damilakis et al., 2010 [56]
ДРА взрослые, позвоночник	13 мкЗв	
ДРА взрослые, ПОБ	9 мкЗв	
ДРА дети, позвоночник	27 мкЗв	
Рентгенограмма позвоночника, грудной отдел, прямая проекция	0,4 мЗв	
КТ брюшной полости без контрастного усиления	9,8 ± 6,1 мЗв	J. Jang et al., 2016 [57]
ККТ позвоночника, 4 отдельных среза (8–10 мм) через позвонки L _I –L _{IV}	30 мкЗв (боковая сканограмма) + 50 мкЗв (отдельные срезы через 4 позвонка 8–10 мм) = 70 мкЗв	C.E. Cann, H.K. Genant, 1980 [10]
ККТ высокого разрешения на основе мультисрезовой КТ (позвоночник, L _I –L _{II})	1,5 мЗв	J. Damilakis et al., 2010 [56] по K. Engelke et al., 2008 [30]
ККТ высокого разрешения, на основе мультисрезовой КТ, ПОБ	2,5–3,0 мЗв	J. Damilakis et al., 2010 [56] по K. Engelke et al., 2008 [30] B.C.C. Khoo et al., 2009 [58]
ККТ высокого разрешения, на основе мультисрезовой КТ, предплечье	<0,01 мЗв	

Заключение

ККТ представляет собой метод оценки МПК по данным КТ-сканирования. Объемная МПК (выраженная в мг/мл) губчатого вещества тел позвонков позволяет эффективно оценивать возрастные изменения, проводимую терапию, прогнозировать переломы. Для объемной МПК диагностика по Т-критерию не применима, а определение состояний норма/остеопения/остеопороз проводится по критериям ACR. Диагностика остеопороза по Т-критерию возможна при проведении ККТ проксимального отдела бедра, когда учитываются кортикальный и трабекулярный слои бедренной кости, а результаты выражаются в г/см² аналогично ДРА. Результаты измерения МПК шейки бедренной кости методом ККТ могут использоваться в калькуляторе оценки риска переломов FRAX®. Существуют технологии, основанные на данных объемного распределения МПК, полученных при ККТ, повышающие эффективность оценки риска переломов, например расчет механической прочности кости методом анализа конечных элементов (Finite Element Analysis).

Перспективой развития ККТ является развитие оппортунистического скрининга на основе технологий искусственного интеллекта, включая полностью автоматическое определение МПК и диагностику компрессионных переломов по данным ранее выполненных КТ-исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-015-00260

The reported study was funded by RFBR № 20-015-00260

Участие авторов

Петрайкин А.В. – проведение исследования; утверждение окончательного варианта статьи; подготовка, создание опубликованной работы.

Скрипникова И.А. – концепция и дизайн исследования; ответственность за целостность всех частей статьи; утверждение окончательного варианта статьи; подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Petraikin A.V. – conducting research; approval of the final version of the article; preparation and creation of the published work.

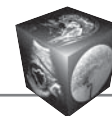
Skripnikova I.A. – concept and design of the study; responsibility for the integrity of all parts of the article; preparation and creation of the published work; approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Beckmann E.C. CT scanning the early days. *Br. J. Radiol.* 2006; 79(937): 5–8. <https://doi.org/10.1259/bjr/29444122>
2. Whitehouse R.W., Adams J.E. Single energy quantitative computed tomography: the effects of phantom calibration material and kVp on QCT bone densitometry. *Br. J. Radiol.*



- 1992; 65 (778): 931–934. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-65-778-931>
3. Mccready R., Gnanasegaran G., Bomanji J.B. A History of Radionuclide Studies in the UK. Cham, 2016. 152 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28624-2>
 4. Genant H.K., Engelke K., Prevrhal S. Advanced CT bone imaging in osteoporosis. *Rheumatology*. 2008; 47 (Suppl. 4): iv9. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ken180>
 5. Cohen A., Dempster D.W., Müller R., Guo X.E., Nickolas T.L., Liu X.S., Zhang X.H., Wirth A.J., van Lenthe G.H., Kohler T., McMahon D.J., Zhou H., Rubin M.R., Bilezikian J.P., Lappe J.M., Recker R.R., Shane E. Assessment of trabecular and cortical architecture and mechanical competence of bone by high-resolution peripheral computed tomography: Comparison with transiliac bone biopsy. *Osteoporos Int*. 2010; 21 (2): 263–273. <https://doi.org/10.1007/s00198-009-0945-7>
 6. Fournier R., Harrison R.E. Strategies for studying bone loss in microgravity. *Reach*. 2020; 17–20: 100036. <https://doi.org/10.1016/j.reach.2020.100036>
 7. Dadwal U.C., Maupin K.A., Zamarioli A., Tucker A., Harris J.S., Fischer J.P., Rytlewski J.D., Scofield D.C., Wininger A.E., Bhatti F.U.R., Alvarez M., Childress P.J., Chakraborty N., Gautam A., Hammamieh R., Kacena M.A. The effects of spaceflight and fracture healing on distant skeletal sites. *Sci. Rep*. 2019; 9 (1): 11419 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47695-3>
 8. Bousson V., Le Bras A., Roqueplan F., Kang Y., Mitton D., Kolta S., Bergot C., Skalli W., Vicaud E., Kalender W., Engelke K., Laredo J.D. Volumetric quantitative computed tomography of the proximal femur: Relationships linking geometric and densitometric variables to bone strength. Role for compact bone. *Osteoporos Int*. 2006; 17 (6): 855–864. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0074-5>
 9. Guglielmi G., Lang T.F., Cammisa M., Genant H.K. Quantitative Computed Tomography of the Axial Skeleton. Bone Densitometry and Osteoporosis. Berlin, Heidelberg: Springer. 336–347. https://doi.org/10.1007/978-3-642-80440-3_16
 10. Cann C.E., Genant H.K. Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr*. 1980; 4 (4): 493–500. <https://doi.org/10.1097/00004728-198008000-00018>
 11. Faulkner K.G., Glüer C.C., Grampp S., Genant H.K. Cross-calibration of liquid and solid QCT calibration standards: Corrections to the UCSF normative data. *Osteoporos Int*. 1993; 3 (1): 36–42. <https://doi.org/10.1007/BF01623175>
 12. Engelke K. Quantitative Computed Tomography – Current Status and New Developments. *J. Clin. Densitom*. 2017; 20 (3): 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2017.06.017>
 13. 2019 ISCD Official Positions – Adult – International Society for Clinical Densitometry Available at: <https://iscd.app.box.com/s/5r713cfzvf4gr28q7zdcg2i7169fv86>. Accessed July 14, 2021.
 14. The American College of Radiology. ACR–SPR–SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (Qct). Published 2018. <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/QCT.pdf> Accessed July 14, 2021
 15. Emohare O., Cagan A., Polly D.W., Gertner E. Opportunistic computed tomography screening shows a high incidence of osteoporosis in ankylosing spondylitis patients with acute vertebral fractures. *J. Clin. Densitom*. 2015; 18 (1): 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.07.006>
 16. Pickhardt P.J., Lee L.J., del Rio A.M., Lauder T., Bruce R.J., Summers R.M., Pooler B.D., Binkley N. Simultaneous screening for osteoporosis at CT colonography: Bone mineral density assessment using MDCT attenuation techniques compared with the DXA reference standard. *J. Bone Miner. Res*. 2011; 26 (9): 2194–2203. <https://doi.org/10.1002/jbmr.428>
 17. Jang S., Graffy P.M., Ziemlewicz T.J., Lee S.J., Summers R.M., Pickhardt P.J. Opportunistic osteoporosis screening at routine abdominal and Thoracic CT: Normative L1 trabecular attenuation values in more than 20 000 adults. *Radiology*. 2019; 291 (2): 360–367. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019181648>
 18. Alacreu E., Moratal D., Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe. *Osteoporos Int*. 2017; 28 (3): 983–990. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3804-3>
 19. Власова И.С., Терновой С.К., Сорокин А.Д., Горбатов М.М., Вожагов В.В. Возрастные изменения минеральной плотности позвонков в норме у российской популяции. Вестник рентгенологии и радиологии. 1998; 6: 28–33.
 20. Власова И.С., Сорокин А.Д., Терновой С.К. Возрастные изменения минеральной плотности трабекулярного вещества позвонков и риск переломов. Медицинская визуализация. 1998; 4: 31–35.
 21. Engelke K., Lang T., Khosla S., Qin L., Zysset P., Leslie W.D., Shepherd J.A., Schousboe J.T. Clinical use of quantitative computed tomography (QCT) of the hip in the management of osteoporosis in adults: the 2015 ISCD official positions Part I. *J. Clin. Densitom*. 2015; 18 (3): 338–358. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.012>
 22. Laaksonen M.M.L., Sievänen H., Tolonen S., et al. Determinants of bone strength and fracture incidence in adult Finns: cardiovascular risk in young finns study (the GENDI pQCT study). *Arch. Osteoporos*. 2010; 5 (1–2): 119–130. <https://doi.org/10.1007/s11657-010-0043-7>
 23. Scanco Medical – Xtreme CT II (specification) Available at: <https://pdf.medicalexpo.com/pdf/scanco-medical/xtremect-ii/105918-145347.html>. Accessed July 14, 2021.
 24. Guglielmi G., Grimston S.K., Fischer K.C., Pacifici R. Osteoporosis: Diagnosis with lateral and posteroanterior dual x-ray absorptiometry compared with quantitative CT. *Radiology*. 1994; 192 (3): 845–850. <https://doi.org/10.1148/radiology.192.3.8058958>
 25. Reinhold W.D., Genant H.K., Reiser U.J., Harris S.T., Ettinger B. Bone mineral content in early-postmenopausal and postmenopausal osteoporotic women: Comparison of measurement methods. *Radiology*. 1986; 160 (2): 469–478. <https://doi.org/10.1148/radiology.160.2.3726129>
 26. Петрайкин А.В., Кузнецов С.Ю., Артюкова З.Р., и др. Сравнение асинхронной количественной компьютерной томографии и двуэнергетической рентгеновской абсорбциометрии с узкоугольным верным пучком для оценки состояния МПК в области проксимального отдела бедра. Сборник тезисов VII Российского конгресса по остеопорозу. Остеопороз и остеопатии. 2020; 23 (2): 120–121.
 27. Centre for Metabolic Bone Diseases, University of Sheffield. FRAX – Fracture Risk Assessment Tool. Available at: <https://www.sheffield.ac.uk/FRAX/tool.aspx> Accessed July 14, 2021
 28. Yu W., Glüer C.C., Grampp S., Jergas M., Fuerst T., Wu C.Y., Lu Y., Fan B., Genant H.K. Spinal bone mineral assessment in postmenopausal women: A comparison between dual X-ray absorptiometry and quantitative computed tomography. *Osteoporos Int*. 1995; 5 (6): 433–439. <https://doi.org/10.1007/BF01626604>



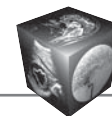
29. Löffler M.T., Jacob A., Scharr A., Sollmann N., Burian E., El Hussein M., Sekuboyina A., Tetteh G., Zimmer C., Gempt J., Baum T., Kirschke J.S. Automatic opportunistic osteoporosis screening in routine CT: improved prediction of patients with prevalent vertebral fractures compared to DXA. *Eur. Radiol.* Published online January 2021: 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07655-2>
30. Engelke K., Adams J.E., Armbrrecht G., Augat P., Bogado C.E., Boussein M.L., Felsenberg D., Ito M., Prevrhal S., Hans D.B., Lewiecki E.M. Clinical use of quantitative computed tomography and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: The 2007 ISCD Official Positions. *J. Clin. Densitom.* 2008; 11 (1): 123–162. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2007.12.010>
31. Zysset P., Qin L., Lang T., et al. Clinical Use of Quantitative Computed Tomography–Based Finite Element Analysis of the Hip and Spine in the Management of Osteoporosis in Adults: the 2015 ISCD Official Positions – Part II. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (3): 359–392. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.011>
32. Engelke K., Lang T., Khosla S., Qin L., Zysset P., Leslie W.D., Shepherd J.A., Shousboe J.T. Clinical use of quantitative computed tomography-based advanced techniques in the management of osteoporosis in adults: The 2015 ISCD Official Positions-Part III. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (3): 393–407. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.010>
33. Kalender W.A., Felsenberg D., Genant H.K., Fischer M., Dequeker J., Reeve J. The European Spine Phantom--a tool for standardization and quality control in spinal bone mineral measurements by DXA and QCT. *Eur. J. Radiol.* 1995; 20 (2): 83–92. [https://doi.org/10.1016/0720-048x\(95\)00631-y](https://doi.org/10.1016/0720-048x(95)00631-y)
34. Петрайкин А.В., Низовцова Л.А., Сергунова К.А., et al. Оценка точности асинхронной компьютерной денситометрии по данным фантомного моделирования. *Радиология – практика.* 2019; 6 (78): 49–59.
35. Bonaretti S., Carpenter R.D., Saeed I. et al. Novel anthropomorphic hip phantom corrects systemic interscanner differences in proximal femoral vBMD. *Phys. Med. Biol.* 2014; 59 (24): 7819–7834. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/59/24/7819>
36. Lang T.F., Li J., Harris S.T., Genant H.K. Assessment of vertebral bone mineral density using volumetric quantitative CT. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1999; 23 (1): 130–137. <https://doi.org/10.1097/00004728-199901000-00027>
37. Wang L., Su Y., Wang Q., Duanmu Y., Yang M., Yi C., Cheng X. Validation of asynchronous quantitative bone densitometry of the spine: Accuracy, short-term reproducibility, and a comparison with conventional quantitative computed tomography. *Sci. Rep.* 2017; 7 (1): 6284. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06608-y>
38. Brown J.K., Timm W., Bodeen G., Chason A., Perry M., Vernacchia F., DeJournett R. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
39. Pickhardt P.J., Bodeen G., Brett A., Brown J.K., Binkley N. Comparison of femoral neck BMD evaluation obtained using lunar DXA and QCT with asynchronous calibration from CT colonography. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (1): 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.03.002>
40. Gausden E.B., Nwachukwu B.U., Schreiber J.J., Lorich D.G., Lane J.M. Opportunistic use of CT imaging for osteoporosis screening and bone density assessment: A qualitative systematic review. *J. Bone Jt. Surg. – Am.* Vol. 2017; 99 (18): 1580–1590. <https://doi.org/10.2106/JBJS.16.00749>
41. Brown J.K., Timm W., Bodeen G., Chason A., Perry M., Vernacchia F., DeJournett R. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
42. Ziemlewicz T.J., Maciejewski A., Binkley N., Brett A.D., Brown J.K., Pickhardt P.J. Opportunistic Quantitative CT Bone Mineral Density Measurement at the Proximal Femur Using Routine Contrast-Enhanced Scans: Direct Comparison With DXA in 355 Adults. *J. Bone Miner. Res.* 2016; 31 (10): 1835–1840. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2856>
43. Summers R.M., Baecher N., Yao J., Liu J., Pickhardt P.J., Choi J.R., Hill S. Feasibility of Simultaneous Computed Tomographic Colonography and Fully Automated Bone Mineral Densitometry in a Single Examination. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2011; 35 (2): 212–216. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3182032537>
44. Cheng X., Zhao K., Zha X., et al. Opportunistic Screening Using Low-Dose CT and the Prevalence of Osteoporosis in China: A Nationwide, Multicenter Study. *J. Bone Miner. Res.* Published online November 2020; <https://doi.org/10.1002/jbmr.4187>
45. Boden S.D., Goodenough D.J., Stockham C.D., Jacobs E., Dina T., Allman R.M. Precise measurement of vertebral bone density using computed tomography without the use of an external reference phantom. *J. Digit. Imaging.* 1989; 2 (1): 31–38. <https://doi.org/10.1007/BF03168013>
46. Gudmundsdottir H., Jonsdottir B., Kristinsson S., Johannesson A., Goodenough D., Sigurdsson G. Vertebral bone density in icelandic women using quantitative computed tomography without an external reference phantom. *Osteoporos Int.* 1993; 3 (2): 84–89. <https://doi.org/10.1007/BF01623378>
47. Kopperdahl D.L., Aspelund T., Hoffmann P.F., Sigurdsson S., Siggeirsdottir K., Harris T.B., Gudnason V., Keaveny T.M. Assessment of incident spine and hip fractures in women and men using finite element analysis of CT scans. *J. Bone Miner. Res.* 2014; 29 (3): 570–580. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2069>
48. Valentinitich A., Trebeschi S., Kaesmacher J., Lorenz C., Löffler M.T., Zimmer C., Baum T., Kirschke J.S. Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images via local classification of textures. *Osteoporos Int.* 2019; 30 (6): 1275–1285. <https://doi.org/10.1007/s00198-019-04910-1>
49. Roski F., Hammel J., Mei K., Baum T., Kirschke J.S., Laugurette A., Kopp F.K., Bodden J., Pfeiffer D., Pfeiffer F., Rummeny E.J., Noël P.B., Gersing A.S., Schwaiger B.J. Bone mineral density measurements derived from dual-layer spectral CT enable opportunistic screening for osteoporosis. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (11): 6355–6363. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06263-z>
50. Петрайкин А.В., Белая Ж.Е., Киселева А.Н., Артюкова З.Р., Беляев М.Г., Кондратенко В.А., Писов М.Е., Соловьев А.В., Смородкова А.К., Абуладзе Л.Р., Киева И.Н., Феданов В.А., Яссин Л.Р., Семёнов Д.С., Кудрявцев Н.Д., Щелькалина С.П., Зинченко В.В., Ахмад Е.С., Сергунова К.А., Гомболевский В.А., Низовцова Л.А., Владимировский А.В., Морозов С.П. Технология искусственного интеллекта для распознавания компрессионных переломов позвонков с помощью модели морфометрического анализа, основанной на сверточных нейронных сетях. *Проблемы эндокринологии.* 2020; 66 (5): 48–60. <https://doi.org/10.14341/probl12605>



51. Graffy P.M., Liu J., Pickhardt P.J., Burns J.E., Yao J., Summers R.M. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1100). <https://doi.org/10.1259/bjr.20190327>
52. Paris M.T. Body Composition Analysis of Computed Tomography Scans in Clinical Populations: The Role of Deep Learning. *Lifestyle Genomics.* 2020; 13 (1): 28–31. <https://doi.org/10.1159/000503996>
53. Pickhardt P.J., Lee S.J., Liu J., Yao J., Lay N., Graffy P.M., Summers R.M. Population-based opportunistic osteoporosis screening: Validation of a fully automated CT tool for assessing longitudinal BMD changes. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1094). <https://doi.org/10.1259/bjr.20180726>
54. Dagan N., Elnekave E., Barda N., Bregman-Amitai O., Bar A., Orlovsky M., Bachmat E., Balicer R.D. Automated opportunistic osteoporotic fracture risk assessment using computed tomography scans to aid in FRAX underutilization. *Nat. Med.* 2020; 26 (1): 77–82. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0720-z>
55. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Flying and health: Cosmic radiation exposure for casual flyers and aircrew. Available at: <https://www.arpsa.gov.au/understanding-radiation/radiation-sources/more-radiation-sources/flying-and-health> Accessed July 14, 2021.
56. Damilakis J., Adams J.E., Guglielmi G., Link T.M.. Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis. *Eur. Radiol.* 2010; 20 (11): 2707–2714. <https://doi.org/10.1007/s00330-010-1845-0>
57. Jang J., Jung S.E., Jeong W.K., Lim Y.S., Choi J.I., Park M.Y., Kim Y., Lee S.K., Chung J.J., Eo H., Yong H.S., Hwang S.S. Radiation Doses of Various CT Protocols: A Multicenter Longitudinal Observation Study. *J. Korean Med. Sci.* 2016; 31: 24–31. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.S1.S24>
58. Khoo B.C., Brown K., Cann C., Zhu K., Henzell S., Low V., Gustafsson S., Price R.I., Prince R.L. Comparison of QCT-derived and DXA-derived areal bone mineral density and T scores. *Osteoporos Int.* 2009; 20 (9): 1539–1545. <https://doi.org/10.1007/s00198-008-0820-y>
6. Fournier R., Harrison R.E. Strategies for studying bone loss in microgravity. *Reach.* 2020; 17–20: 100036. <https://doi.org/10.1016/j.reach.2020.100036>
7. Dadwal U.C., Maupin K.A., Zamarioli A., Tucker A., Harris J.S., Fischer J.P., Rytlewski J.D., Scofield D.C., Wininger A.E., Bhatti F.U.R., Alvarez M., Childress P.J., Chakraborty N., Gautam A., Hammamieh R., Kacena M.A. The effects of spaceflight and fracture healing on distant skeletal sites. *Sci. Rep.* 2019; 9 (1): 11419 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47695-3>
8. Bousson V., Le Bras A., Roqueplan F., Kang Y., Mitton D., Kolta S., Bergot C., Skalli W., Vicaud E., Kalender W., Engelke K., Laredo J.D. Volumetric quantitative computed tomography of the proximal femur: Relationships linking geometric and densitometric variables to bone strength. Role for compact bone. *Osteoporos Int.* 2006; 17 (6): 855–864. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0074-5>
9. Guglielmi G., Lang T.F., Cammisia M., Genant H.K. Quantitative Computed Tomography of the Axial Skeleton. Bone Densitometry and Osteoporosis. Berlin, Heidelberg: Springer. 336–347. https://doi.org/10.1007/978-3-642-80440-3_16
10. Cann C.E., Genant H.K. Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1980; 4 (4): 493–500. <https://doi.org/10.1097/00004728-198008000-00018>
11. Faulkner K.G., Glüer C.C., Grampp S., Genant H.K. Cross-calibration of liquid and solid QCT calibration standards: Corrections to the UCSF normative data. *Osteoporos Int.* 1993; 3 (1): 36–42. <https://doi.org/10.1007/BF01623175>
12. Engelke K. Quantitative Computed Tomography – Current Status and New Developments. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (3): 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2017.06.017>
13. 2019 ISCD Official Positions – Adult – International Society for Clinical Densitometry Available at: <https://iscd.app.box.com/s/5r713cfzvf4gr28q7zdcg2i7169fv86>. Accessed July 14, 2021.
14. The American College of Radiology. ACR–SPR–SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (Qct). Published 2018. <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/QCT.pdf> Accessed July 14, 2021
15. Emohare O., Cagan A., Polly D.W., Gertner E. Opportunistic computed tomography screening shows a high incidence of osteoporosis in ankylosing spondylitis patients with acute vertebral fractures. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (1): 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.07.006>
16. Pickhardt P.J., Lee L.J., del Rio A.M., Lauder T., Bruce R.J., Summers R.M., Pooler B.D., Binkley N. Simultaneous screening for osteoporosis at CT colonography: Bone mineral density assessment using MDCT attenuation techniques compared with the DXA reference standard. *J. Bone Miner. Res.* 2011; 26 (9): 2194–2203. <https://doi.org/10.1002/jbmr.428>
17. Jang S., Graffy P.M., Ziemlewicz T.J., Lee S.J., Summers R.M., Pickhardt P.J. Opportunistic osteoporosis screening at routine abdominal and Thoracic CT: Normative L1 trabecular attenuation values in more than 20 000 adults. *Radiology.* 2019; 291 (2): 360–367. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019181648>
18. Alacreu E., Moratal D., Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe. *Osteoporos Int.* 2017; 28 (3): 983–990. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3804-3>
19. Vlasova I.S., Ternovoy S.K., Sorokin A.D., Gorbato M.M., Vozhagov V.V. Normal age related changes in vertebral

References

1. Beckmann E.C. CT scanning the early days. *Br. J. Radiol.* 2006; 79 (937): 5–8. <https://doi.org/10.1259/bjr/29444122>
2. Whitehouse R.W., Adams J.E. Single energy quantitative computed tomography: the effects of phantom calibration material and kVp on QCT bone densitometry. *Br. J. Radiol.* 1992; 65 (778): 931–934. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-65-778-931>
3. McCreedy R., Gnanasegaran G., Bomanji J.B. A History of Radionuclide Studies in the UK. Cham, 2016. 152 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28624-2>
4. Genant H.K., Engelke K., Prevrhal S. Advanced CT bone imaging in osteoporosis. *Rheumatology.* 2008; 47 (Suppl. 4): iv9. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ken180>
5. Cohen A., Dempster D.W., Müller R., Guo X.E., Nickolas T.L., Liu X.S., Zhang X.H., Wirth A.J., van Lenthe G.H., Kohler T., McMahon D.J., Zhou H., Rubin M.R., Bilezikian J.P., Lappe J.M., Recker R.R., Shane E. Assessment of trabecular and cortical architecture and mechanical competence of bone by high-resolution peripheral computed tomography: Comparison with transiliac bone biopsy. *Osteoporos Int.* 2010; 21 (2): 263–273. <https://doi.org/10.1007/s00198-009-0945-7>



- mineral bone density in russian population. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 1998; 6: 28–33. (In Russian)
20. Vlasova I.S., Sorokin A.D., Ternovoy S.K. Age related changes of vertebral trabecular substance mineral bone density and the risk of fractures. *Medical Visualization*. 1998; 4: 31–25. (In Russian)
 21. Engelke K., Lang T., Khosla S., Qin L., Zysset P., Leslie W.D., Shepherd J.A., Schousboe J.T. Clinical use of quantitative computed tomography (QCT) of the hip in the management of osteoporosis in adults: the 2015 ISCD official positions Part I. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (3): 338–358. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.012>
 22. Laaksonen M.M.L., Sievänen H., Tolonen S., et al. Determinants of bone strength and fracture incidence in adult Finns: cardiovascular risk in young finns study (the GENDI pQCT study). *Arch. Osteoporos.* 2010; 5 (1–2): 119–130. <https://doi.org/10.1007/s11657-010-0043-7>
 23. Scanco Medical – Xtreme CT II (specification) Available at: <https://pdf.medicaexpo.com/pdf/scanco-medical/xtremect-ii/105918-145347.html>. Accessed July 14, 2021.
 24. Guglielmi G., Grimston S.K., Fischer K.C., Pacifici R. Osteoporosis: Diagnosis with lateral and posteroanterior dual x-ray absorptiometry compared with quantitative CT. *Radiology*. 1994; 192 (3): 845–850. <https://doi.org/10.1148/radiology.192.3.8058958>
 25. Reinbold W.D., Genant H.K., Reiser U.J., Harris S.T., Ettinger B. Bone mineral content in early-postmenopausal and postmenopausal osteoporotic women: Comparison of measurement methods. *Radiology*. 1986; 160 (2): 469–478. <https://doi.org/10.1148/radiology.160.2.3726129>
 26. Petryaykin A.V., Kuznetsov S.Yu., Artyukova Z.R., Akhmad E.S., Nizovtsova L.A., Morozov S.P., Yassin L.R., Fedanov V.A., Nikitinskaya O.A., Toropectsova N.V. Comparison of asynchronous quantitative computed tomography and dualenergy x-ray absorptiometry with a narrow-angle fan beam to assess the state of bmd in the proximal femur. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2020; 23 (2): 120–121. (In Russian)
 27. Centre for Metabolic Bone Diseases, University of Sheffield. FRAX – Fracture Risk Assessment Tool. Available at: <https://www.sheffield.ac.uk/FRAX/tool.aspx> Accessed July 14, 2021
 28. Yu W., Glüer C.C., Grampp S., Jergas M., Fuerst T., Wu C.Y., Lu Y., Fan B., Genant H.K. Spinal bone mineral assessment in postmenopausal women: A comparison between dual X-ray absorptiometry and quantitative computed tomography. *Osteoporos Int.* 1995; 5 (6): 433–439. <https://doi.org/10.1007/BF01626604>
 29. Löffler M.T., Jacob A., Scharr A., Sollmann N., Burian E., El Hussein M., Sekuboyina A., Tetteh G., Zimmer C., Gempt J., Baum T., Kirschke J.S. Automatic opportunistic osteoporosis screening in routine CT: improved prediction of patients with prevalent vertebral fractures compared to DXA. *Eur. Radiol.* Published online January 2021: 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07655-2>
 30. Engelke K., Adams J.E., Ambrecht G., Augat P., Bogado C.E., Bouxsein M.L., Felsenberg D., Ito M., Prevrhal S., Hans D.B., Lewiecki E.M. Clinical use of quantitative computed tomography and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: The 2007 ISCD Official Positions. *J. Clin. Densitom.* 2008; 11 (1): 123–162. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2007.12.010>
 31. Zysset P., Qin L., Lang T., et al. Clinical Use of Quantitative Computed Tomography–Based Finite Element Analysis of the Hip and Spine in the Management of Osteoporosis in Adults: the 2015 ISCD Official Positions – Part II. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (3): 359–392. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.011>
 32. Engelke K., Lang T., Khosla S., Qin L., Zysset P., Leslie W.D., Shepherd J.A., Shousboe J.T. Clinical use of quantitative computed tomography-based advanced techniques in the management of osteoporosis in adults: The 2015 ISCD Official Positions-Part III. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (3): 393–407. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.010>
 33. Kalender W.A., Felsenberg D., Genant H.K., Fischer M., Dequeker J., Reeve J. The European Spine Phantom--a tool for standardization and quality control in spinal bone mineral measurements by DXA and QCT. *Eur. J. Radiol.* 1995; 20 (2): 83–92. [https://doi.org/10.1016/0720-048x\(95\)00631-y](https://doi.org/10.1016/0720-048x(95)00631-y)
 34. Petraikin A.V., Nisovtsova L.A., Sergunova K.A., Akhmad E.S., Semenov D.S., Petryaykin F.A., Gombolevisky V.A., Nikolaev A.E., Koshurnikov D.S., Titova Yu.I., Morozov S.P., Vladzmyrskyy A.V. Accuracy of Asynchronous Quantitative Computed Tomography by Phantom Modelling. *Radiology – Practice*. 2019; 6 (78): 49–59. (In Russian)
 35. Bonaretti S., Carpenter R.D., Saeed I. et al. Novel anthropomorphic hip phantom corrects systemic interscanner differences in proximal femoral vBMD. *Phys. Med. Biol.* 2014; 59 (24): 7819–7834. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/59/24/7819>
 36. Lang T.F., Li J., Harris S.T., Genant H.K. Assessment of vertebral bone mineral density using volumetric quantitative CT. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1999; 23 (1): 130–137. <https://doi.org/10.1097/00004728-199901000-00027>
 37. Wang L., Su Y., Wang Q., Duanmu Y., Yang M., Yi C., Cheng X. Validation of asynchronous quantitative bone densitometry of the spine: Accuracy, short-term reproducibility, and a comparison with conventional quantitative computed tomography. *Sci. Rep.* 2017; 7 (1): 6284. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06608-y>
 38. Brown J.K., Timm W., Bodeen G., Chason A., Perry M., Vernacchia F., DeJournett R. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
 39. Pickhardt P.J., Bodeen G., Brett A., Brown J.K., Binkley N. Comparison of femoral neck BMD evaluation obtained using lunar DXA and QCT with asynchronous calibration from CT colonography. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (1): 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.03.002>
 40. Gausden E.B., Nwachukwu B.U., Schreiber J.J., Lorch D.G., Lane J.M. Opportunistic use of CT imaging for osteoporosis screening and bone density assessment: A qualitative systematic review. *J. Bone Jt. Surg. – Am. Vol.* 2017; 99 (18): 1580–1590. <https://doi.org/10.2106/JBJS.16.00749>
 41. Brown J.K., Timm W., Bodeen G., Chason A., Perry M., Vernacchia F., DeJournett R. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
 42. Ziemlewicz T.J., Maciejewski A., Binkley N., Brett A.D., Brown J.K., Pickhardt P.J. Opportunistic Quantitative CT Bone Mineral Density Measurement at the Proximal Femur Using Routine Contrast-Enhanced Scans: Direct Comparison With DXA in 355 Adults. *J. Bone Miner. Res.* 2016; 31 (10): 1835–1840. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2856>
 43. Summers R.M., Baecher N., Yao J., Liu J., Pickhardt P.J., Choi J.R., Hill S. Feasibility of Simultaneous Computed



- Tomographic Colonography and Fully Automated Bone Mineral Densitometry in a Single Examination. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2011; 35 (2): 212–216. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3182032537>
44. Cheng X., Zhao K., Zha X., et al. Opportunistic Screening Using Low-Dose CT and the Prevalence of Osteoporosis in China: A Nationwide, Multicenter Study. *J. Bone Miner. Res.* Published online November 2020:jbmr.4187. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4187>
45. Boden S.D., Goodenough D.J., Stockham C.D., Jacobs E., Dina T., Allman R.M. Precise measurement of vertebral bone density using computed tomography without the use of an external reference phantom. *J. Digit. Imaging.* 1989; 2 (1): 31–38. <https://doi.org/10.1007/BF03168013>
46. Gudmundsdottir H., Jonsdottir B., Kristinsson S., Johannesson A., Goodenough D., Sigurdsson G. Vertebral bone density in icelandic women using quantitative computed tomography without an external reference phantom. *Osteoporos Int.* 1993; 3 (2): 84–89. <https://doi.org/10.1007/BF01623378>
47. Kopperdahl D.L., Aspelund T., Hoffmann P.F., Sigurdsson S., Siggeirsdottir K., Harris T.B., Gudnason V., Keaveny T.M. Assessment of incident spine and hip fractures in women and men using finite element analysis of CT scans. *J. Bone Miner. Res.* 2014; 29 (3): 570–580. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2069>
48. Valentinitich A., Trebeschi S., Kaesmacher J., Lorenz C., Löffler M.T., Zimmer C., Baum T., Kirschke J.S. Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images via local classification of textures. *Osteoporos Int.* 2019; 30 (6): 1275–1285. <https://doi.org/10.1007/s00198-019-04910-1>
49. Roski F., Hammel J., Mei K., Baum T., Kirschke J.S., Laugerette A., Kopp F.K., Bodden J., Pfeiffer D., Pfeiffer F., Rummeny E.J., Noël P.B., Gersing A.S., Schwaiger B.J. Bone mineral density measurements derived from dual-layer spectral CT enable opportunistic screening for osteoporosis. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (11): 6355–6363. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06263-z>
50. Petraikin A.V., Belaya Z.E., Kiseleva A.N. et al. Artificial intelligence for diagnosis of vertebral compression fractures using a morphometric analysis model, based on convolutional neural networks. *Problems of Endocrinology = Problemi Endocrinologii.* 2020; 66 (5): 48–60. <https://doi.org/10.14341/probl12605> (In Russian)
51. Graffy P.M., Liu J., Pickhardt P.J., Burns J.E., Yao J., Summers R.M. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1100). <https://doi.org/10.1259/bjr.20190327>
52. Paris M.T. Body Composition Analysis of Computed Tomography Scans in Clinical Populations: The Role of Deep Learning. *Lifestyle Genomics.* 2020; 13 (1): 28–31. <https://doi.org/10.1159/000503996>
53. Pickhardt P.J., Lee S.J., Liu J., Yao J., Lay N., Graffy P.M., Summers R.M. Population-based opportunistic osteoporosis screening: Validation of a fully automated CT tool for assessing longitudinal BMD changes. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1094). <https://doi.org/10.1259/bjr.20180726>
54. Dagan N., Elnekave E., Barda N., Bregman-Amitai O., Bar A., Orlovsky M., Bachmat E., Balicer R.D. Automated opportunistic osteoporotic fracture risk assessment using computed tomography scans to aid in FRAX underutilization. *Nat. Med.* 2020; 26 (1): 77–82. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0720-z>
55. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Flying and health: Cosmic radiation exposure for casual flyers and aircrew. Available at: <https://www.arpsa.gov.au/understanding-radiation/radiation-sources/more-radiation-sources/flying-and-health> Accessed July 14, 2021.
56. Damilakis J., Adams J.E., Guglielmi G., Link T.M.. Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis. *Eur. Radiol.* 2010; 20 (11): 2707–2714. <https://doi.org/10.1007/s00330-010-1845-0>
57. Jang J., Jung S.E., Jeong W.K., Lim Y.S., Choi J.I., Park M.Y., Kim Y., Lee S.K., Chung J.J., Eo H., Yong H.S., Hwang S.S. Radiation Doses of Various CT Protocols: A Multicenter Longitudinal Observation Study. *J. Korean Med. Sci.* 2016; 31: 24–31. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.S1.S24>
58. Khoo B.C., Brown K., Cann C., Zhu K., Henzell S., Low V., Gustafsson S., Price R.I., Prince R.L. Comparison of QCT-derived and DXA-derived areal bone mineral density and T scores. *Osteoporos Int.* 2009; 20 (9): 1539–1545. <https://doi.org/10.1007/s00198-008-0820-y>

Для корреспонденции*: Петрайкин Алексей Владимирович – 109029 Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1, Российская Федерация. ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Петрайкин Алексей Владимирович – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва. SPIN: 6193-1656. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Скрипникова Ирина Анатольевна – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела профилактики остеопороза ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины” Минздрава России, Москва. SPIN: 1514-0880. <https://orcid.org/0000-0002-1763-0725>. E-mail: ISkripnikova@gnicpm.ru

Contact*: Alexey V. Petraikin – Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Health Care Department; 28-1, Srednyaya Kalitnikovskaya str., Moscow, 109029, Russian Federation. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Alexey V. Petraikin – Cand. of Sci. (Med.), leading researcher, of Innovative Technologies Department Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Irina A. Skripnikova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Osteoporosis prevention Department of National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Ministry of Health Care of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1763-0725>. E-mail: ISkripnikova@gnicpm.ru