

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

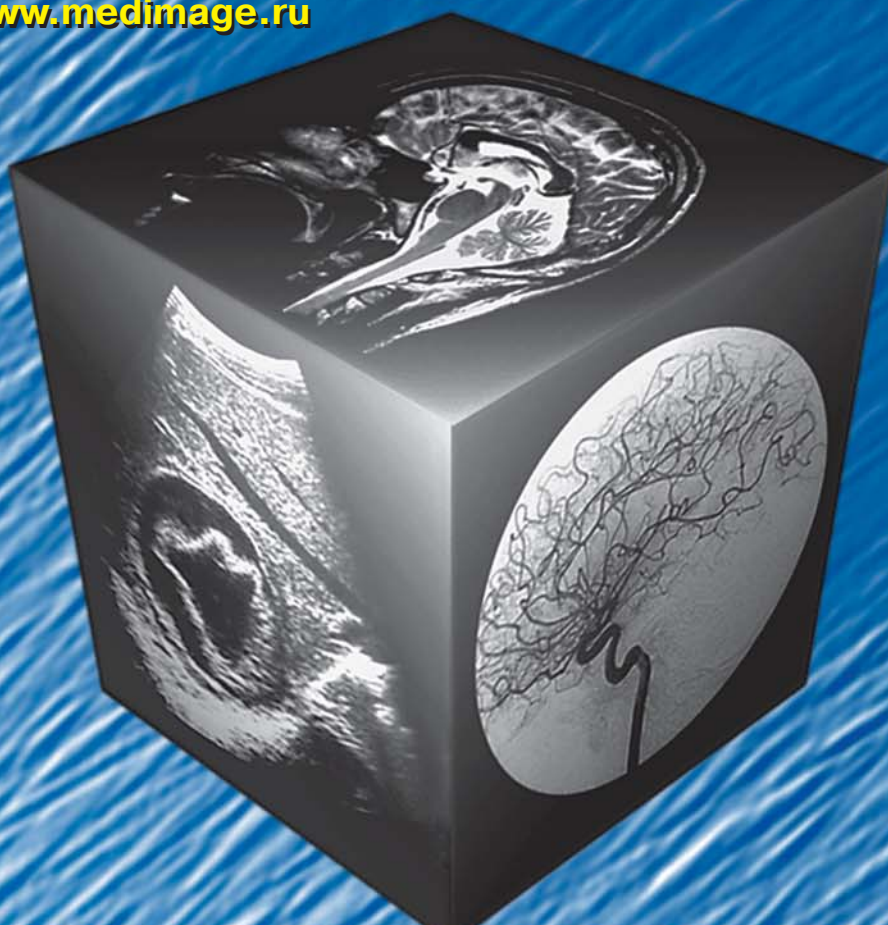
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №4
Vol 28 N4

2024

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



- Перфузионная ОФЭК/КТ головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС
- Эхокардиография у детей с кардиомиопатией
- КТ и МРТ в оценке местных осложнений при некротическом панкреатите
- 2D и 3D УЗИ у женщин, не достигших возраста маммографического скрининга
- МРТ после инъекционной пластики лица
- Подагрические тофусы и современная диагностика
- Олигометастатическая болезнь. Вопросы диагностики

ВИДАР-М

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

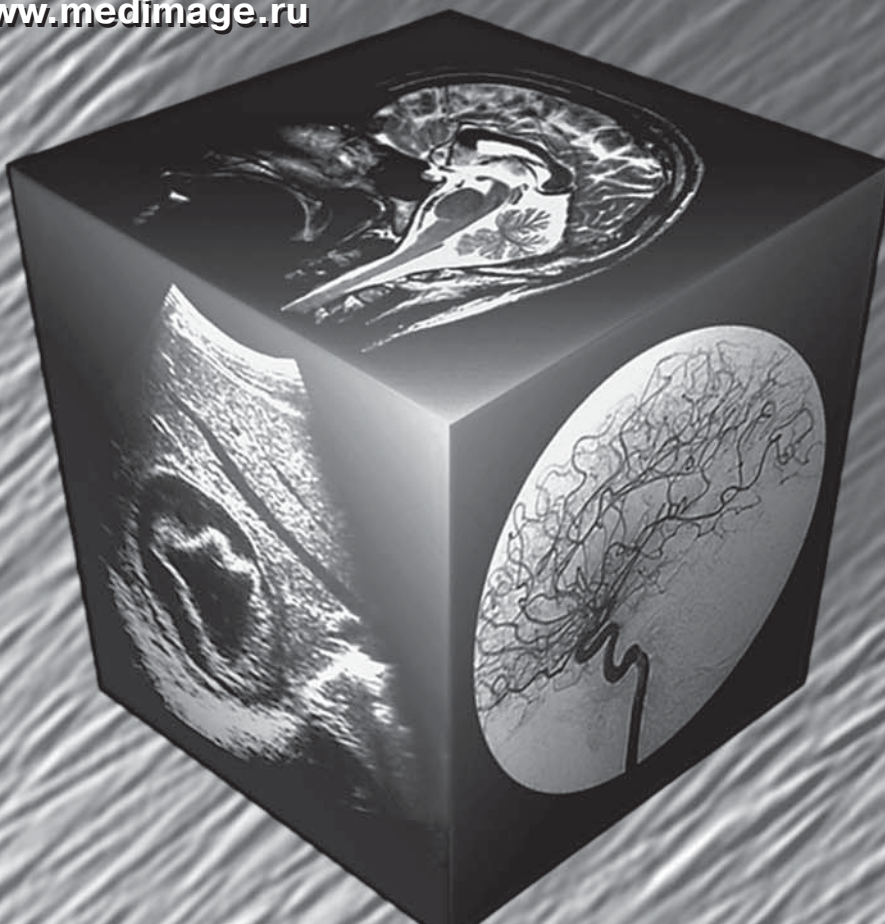
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №4
Vol 28 N4

2024

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



- Перфузионная ОФЭК/КТ головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС
- Эхокардиография у детей с кардиомиопатией
- КТ и МРТ в оценке местных осложнений при некротическом панкреатите
- 2D и 3D УЗИ у женщин, не достигших возраста маммографического скрининга
- МРТ после инъекционной пластики лица
- Подагрические тофусы и современная диагностика
- Олигометастатическая болезнь. Вопросы диагностики

ВИДАР-М

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization

Meditsinskaya vizualizatsiya

2024 Том 28 №4**Научно-практический журнал. Основан в 1997 г.****Выходит 4 раза в год****Официальный
печатный орган****Российского общества рентгенологов и радиологов (129344, Москва, ул. Верхоянская, д. 18, корп. 2)
Общества специалистов по лучевой диагностике (119435, Москва, ул. Большая Пироговская, д. 6)
Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов
и радиологов (125040, Москва, ул. Расковой, д. 16/26, стр. 1)****Издатель****ООО “Видар-М” (109028, Москва, а/я 16)**

Главные редакторы

Ревивили Амиран Шотаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заместитель директора по научной работе ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Заместитель главного редактора

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

Научные консультанты

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

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

Зав. редакцией

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Лукьянченко Александр Борисович – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>. Scopus Author ID 6507563458

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

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

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

Прокопенко Сергей Павлович – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением МНИОИ им. П.А.Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0369-5755>. Scopus Author ID: 7004120546

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

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

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

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

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой диагностики факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus Author ID: 7102735724

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

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

Трофимова Татьяна Николаевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры рентгенологии и радиационной медицины ФГБОУ ВО “СанктПетербургский государственный университет”, СанктПетербург, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. Scopus Author ID: 7006098439

Троян Владимир Николаевич – доктор мед. наук, профессор, начальник Центра лучевой диагностики, главный рентгенолог ФГБУ “Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко” Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-8008-9660>

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

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, старший научный сотрудник НИИ кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”; доцент ФГАОУ “Национальный исследовательский Томский политехнический университет”, НОЦ им. Н.М. Кижнера, Томск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>. Scopus Author ID: 16937595600

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

Фисенко Елена Полиектовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. Scopus Author ID 6507536162

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

Хохлов Александр Леонидович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой клинической фармакологии и этики применения лекарств ЮНЕСКО ФГБОУ ВО “Ярославский государственный медицинский университет” Минздрава России, Ярославль, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0032-0341>. Scopus Author ID: 7201745706

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

Шейх Жанна Владимировна – доктор мед. наук, профессор, врач-рентгенолог ГБУЗ “Городская клиническая больница имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы”; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ “Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна” ФМБА России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>. Scopus Author ID 57285215600

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии медико-биологического факультета ФГБОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0310-0889>. Scopus Author ID 7102669707

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

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

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

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

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

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

Адрес для корреспонденции

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

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

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

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

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

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

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

“МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ”

© ООО “Видар”, 2024.

Все права сохраняются.

Формат 60 × 90 1/8. Печ. л. 18. Тираж 1500 экз. Свободная цена.
Отпечатано в типографии Onebook.ru (ООО “СамПолиграфист”), www.onebook.ru
Подписано в печать 16.12.2024 г.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditsinskaya vizualizatsiya

2024 V. 28 N4



Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

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

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

Moscow regional department of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists

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

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

Editors-in-Chief

Amiran Sh. Revishvili – Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Director of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, Deputy Director for Science and Research at the Russian Research Center of Radiology, Moscow, Russian Federation. Email: nudnov@rncrr.ru. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Publishing Editor

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the group of radiation methods of diagnosis and treatment N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology - branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. Email: gai8@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>. Scopus Author ID: 7102053957

Scientific consultants

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

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

Chief of office

Tatyana D. Safonova – Cand. of Sci. (Med.). E-mail: safonova.td@mail.ru

Editorial board

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

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

Tolibdzhon A. Akhadov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-3235-8854>

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

Alexey V. Borsukov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of Problem Research Laboratory “Diagnostic Researches and Mini-invasive Technologies”, Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>. Scopus Author ID 7801311680

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Peter M. Kotlyarov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Research Department for New Technologies and Semiotics of Diagnostic Radiology in Diseases and Body Systems, Russian Research Center for X-Ray and Radiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>. Scopus Author ID: 7003497625

Alexander B. Lukianchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, leading researcher of N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>. Scopus Author ID 6507563458

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

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

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

Sergey P. Prokopenko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Center of Radiology (Moscow, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-0369-5755>. Scopus Author ID: 7004120546

Raushan I. Rakhimzhanova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honorary Head of the Zh.Kh. Khamzabaev Department of Radiology, Astana Medical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan. <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>. Scopus Author ID: 55776205100

Mikhail V. Rostovtsev – Doct. of Sci. (Med.), Head of Radiology department Zhadkevich City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5032-4164>

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

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

Valentin E. Sinitsyn – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology of the Medical Research and Education Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus Author ID: 7102735724

Yulia A. Stepanova – Doct. of Sci. (Med.), Academic Secretary of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-2348-4963>. Scopus Author ID 57194482656

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

Tat'yana N. Trofimova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor at the Department of Radiology and Radiation Medicine, Pavlov First State Medical University of St. Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. Scopus Author ID: 7006098439

Vladimir N. Troyan – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Center for Diagnostic Radiology, Chief Radiologist Main military clinical hospital named after academician N.N. Burdenko, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-8008-9660>

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

Vladimir Yu. Usov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, senior researcher, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Cardiology; Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Kizhner Research Center, Tomsk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>. Scopus Author ID: 16937595600

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

Elena P. Fisenko – Doct. of Sci. (Med.), Petrovsky National Research Centre of Surgery (Moscow, Russian Federation), principal researcher, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. Scopus Author ID 6507536162

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

Aleksandr L. Khokhlov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the UNESCO Department of Clinical Pharmacology and Ethics of Medicines, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0032-0341>. Scopus Author ID: 7201745706

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

Zhanna V. Sheikh – Doct. of Sci. (Med.), Professor, radiologist, Botkin City Clinical Hospital (Moscow, Russian Federation); Professor at the Department of Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Professor at the Department of Diagnostic Radiology, Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (Moscow, Russian Federation), Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>. Scopus Author ID 57285215600

Andrey L. Yudin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the Department of Diagnostic Radiology and Therapy, Medicine and Biology Division, N.I. Pirogov Russian national research medical university, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0310-0889>. Scopus Author ID 7102669707

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

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

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

Reg. № ПИ № ФС-77-21017, 12.05.05.

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

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

For inquiries relating to the publication, please contact:

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

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

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

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

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

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

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

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

Format 60 × 90 1/8. 18 printer's sheet. Circulation: 1500 ex. Free price.
Printed at Onebook.ru (OOO “SamPoligrafist”), www.onebook.ru
Signed for printing: 16.12.2024



Содержание

Голова

- 11** Оценка и сравнительный анализ параметров перфузионной ОФЭКТ головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с дисциркуляторной энцефалопатией в отдаленном периоде после облучения
Куликова Т.А., Мешков Н.А., Солодкий В.А., Фомин Д.К., Борисова О.А., Нуднов Н.В.
- 26** Толщина структур век в различных возрастных группах по данным ультразвукового исследования
Гушина М.Б., Надточий А.Г., Терещенко А.В., Афанасьева Д.С.

Сердце и сосуды

- 33** Удлинения сонных артерий (каротидная долохотертиопатия): некоторые особенности структуры и гемодинамики
Головин Д.А., Бердалин А.Б., Кудрявцев Ю.С., Федосенко М.Б., Ростовцева Т.М., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г.
- 47** Эхокардиографическая оценка структурных и функциональных свойств левого желудочка у детей с гипертрофической кардиомиопатией
Соколов А.А., Кожанов Р.С., Егунов О.А., Кривошеков Е.В.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

- 57** Характеристика структуры местных осложнений некротического панкреатита в позднюю фазу с помощью КТ и МРТ
Араблинский А.В., Титов М.Ю., Буславская А.
- 70** Сравнительный анализ методик компьютерной томографии при оценке топографо-анатомического состояния вен желудка
Ягубова К.В., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А.

Молочная железа

- 79** Сравнение диагностической эффективности 2D- и 3D-ультразвукового исследования у женщин, не достигших возраста маммографического скрининга
Гаранина А.Э., Холин А.В.

Мягкие ткани

- 92** Магнитно-резонансная томография после инъекционной контурной пластики лица различными типами филлеров: особенности картины и сигнальные характеристики
Магомедова С.А., Васильев А.Ю.

Малый таз

- 100** Изменения гемодинамики матки после лечения хронического эндометрита
Озерская И.А., Порховатый С.Я., Казарян Г.Г., Ожогина Е.В.

Кости и суставы

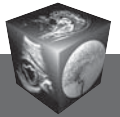
- 112** Современные методы визуализации подагрических тофусов
Ким Т.В., Завадовская В.Д., Дегтярев И.Ю., Замышевская М.А., Удодов В.Д., Зоркальцев М.А., Траудт А.К.

Детская рентгенология

- 133** Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа
Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э.

Технологии лучевой диагностики

- 142** Диагностическая визуализация при олигометастатической болезни. Общие вопросы (краткий обзор литературы)
Нуднов Н.В., Панышин Г.А.
- 154** Магнитно-резонансная томография височно-нижнечелюстного сустава у пациентов с металлоконструкциями
Васильев Ю.А., Буренчев Д.В., Васильева Ю.Н., Панина О.Ю., Игнатьева В.А., Душкова Д.В., Бажин А.В., Привалова Е.Г., Ульянова В.А.



Contents

Head

- 11 Assessment and comparison analysis of cerebral perfusion SPECT parameters in liquidators of the chernobyl accident suffering from dyscirculatory encephalopathy long after exposure to radiation**

Tatyana A. Kulikova, Nikolay A. Meshkov,
Vladimir A. Solodkiy, Dmitry K. Fomin,
Olga A. Borisova, Nikolay V. Nudnov

- 26 Thickness of the eyelid structures in different age groups based on the ultrasound study**

Marina B. Gushchina, Andrey G. Nadtochiy,
Alexander V. Tereshchenko, Daria S. Afanasyeva

Heart and vessels

- 33 Carotid artery elongation (carotid dolichoarteriopathy): some features of the structure and hemodynamics**

Denis A. Golovin, Alexander B. Berdalín,
Yuri S. Kudryavtsev, Marina B. Fedosenko,
Tatyana M. Rostovtseva, Svetlana E. Lelyuk,
Vladimir G. Lelyuk

- 47 Echocardiographic assessment of the structural and functional properties of the left ventricle in children with hypertrophic cardiomyopathy**

Alexander A. Sokolov, Roman S. Kozhanov,
Oleg A. Egunov, Evgeny V. Krivoshchekov

Abdomen and retroperitoneum

- 57 Characterization of the structure of local complications of necrotic pancreatitis in the late phase using CT and MRI**

Andrey V. Arablinskii, Mikhail Yu. Titov,
Alisa Buslavskaya

- 70 Comparative analysis of computed tomography techniques in assessing the topographic and anatomical condition of the gastric veins**

Kira V. Yagubova, Andrey L. Yudin, Natalya I. Afanas'eva,
Elena A. Yumatova

Breast

- 79 Comparison of diagnostic efficacy of 2D and 3D ultrasound in women under the age of mammography screening**

Anna E. Garanina, Aleksandr V. Kholin

Soft tissue

- 92 Magnetic-resonance tomography post injection contouring plastic face different type fillers: features of the picture and signal characteristics**

Saida A. Magomedova, Aleksandr Yu. Vasil'ev

Small pelvis

- 100 Changes in uterine hemodynamics after treatment of chronic endometritis**

Irina A. Ozerskaya, Sergey Ya. Porkhovaty,
Gayane G. Kazaryan, Ekaterina V. Ozhogina

Bones and joints

- 112 Modern methods of visualization of gouty tophi**

Tkhe Van Kim, Vera D. Zavadovskaya,
Ilia Yu. Degtyarev, Maria A. Zamyshevskaya,
Vladimir D. Udodov, Maxim A. Zorkaltsev, Alina K. Traudt

Pediatric radiology

- 133 Possibilities of ultrasound elastography of peripheral nerves in children with type 1 diabetes mellitus**

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

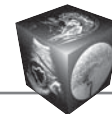
Radiological technologies

- 142 Diagnostic imaging for oligo metastatic disease. General questions (a brief review of the literature)**

Nikolay V. Nudnov, Georgy A. Panshin

- 154 Magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint in patients with metal structures**

Yuri A. Vasiliev, Dmitry V. Burenchev, Yulia N. Vasileva,
Olga Yu. Panina, Varvara A. Ignatieva, Daria V. Dushkova,
Alexander V. Bazhin, Ekaterina G. Privalova,
Violetta A. Ulyanova



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1506>

Оценка и сравнительный анализ параметров перфузионной ОФЭКТ головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с дисциркуляторной энцефалопатией в отдаленном периоде после облучения

© Куликова Т.А. *, Мешков Н.А., Солодкий В.А., Фомин Д.К.,
Борисова О.А., Нуднов Н.В.

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

Цель исследования: сравнительный анализ параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС с дисциркуляторной энцефалопатией (ДЭП) в отдаленном периоде, выбор показателей для мониторинга их состояния и оценки эффективности лечения.

Материал и методы. Выполнено ОФЭКТ-исследование головного мозга у ЛПА на ЧАЭС и необлученных пациентов с ДЭП. Обследовано 147 пациентов мужского пола, в том числе 93 (возраст 69,38 (6,42) года) – основная группа и 54 пациента (70,70 (7,25)) – группа сравнения (ГС). Различий по возрасту не установлено ($p = 0,347$). Исследование проводилось на ОФЭКТ-КТ-системе General Electric, Healthcare Discovery NM/CT 670 Pro. Сцинтиграфия головного мозга выполнялась с использованием ^{99m}Tc -теоксима (Россия). Для визуализации мозговой перфузии использовалась нагрузка диакарбом (ацетазоламидом). Сравнивались 22 параметра ОФЭКТ.

Результаты. Время артериального притока в передней и задней проекции в обеих группах увеличилось после нагрузки диакарбом у ЛПА на 8,37% ($p = 0,138$) и 6,62% ($p = 0,213$), в ГС на 15,38% ($p = 0,035$) и 13,63% ($p = 0,037$). Регионарный мозговой кровоток (рМК) в правом и левом полушариях у ЛПА ниже возрастной нормы ($p = 0,001$ и $p < 0,001$), а также чем рМК в лобных, височных, теменных и затылочных долях головного мозга у здоровых людей сопоставимого возраста ($p < 0,001$). Средние значения цереброваскулярного резерва (ЦВР) в обеих группах меньше нижней границы диапазона нормы – 31–75%. Соответствие этому диапазону выявлено только в ГС: у 2,94% от числа обследованных в височной и затылочной долях правого полушария и 8,82% – в затылочной доле левого полушария. ЦВР у ЛПА ниже, чем в ГС: в лобных долях обоих полушарий на 14,19 и 14,08%, в височной доле левого полушария – на 16,31%, но выше в затылочных долях на 29,07 и 12,06%. У ЛПА обнаружена отрицательная связь рМК и ЦВР с возрастом, а также ЦВР с дозой облучения ($p < 0,05$).

Заключение. ОФЭКТ является перспективным методом выявления ДЭП у ЛПА и лиц, подвергшихся воздействию радиации, предупреждения осложнений и оценки эффективности лечения. Критерием может служить снижение рМК и ЦВР в лобной и лобно-височной областях головного мозга.

Ключевые слова: ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС; дисциркуляторная энцефалопатия; ОФЭКТ-перфузии головного мозга; регионарный мозговой кровоток; цереброваскулярный резерв

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Куликова Т.А., Мешков Н.А., Солодкий В.А., Фомин Д.К., Борисова О.А., Нуднов Н.В. Оценка и сравнительный анализ параметров перфузионной ОФЭКТ головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с дисциркуляторной энцефалопатией в отдаленном периоде после облучения. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 11–25. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1506>

Поступила в редакцию: 03.10.2024. **Принята к печати:** 24.10.2024. **Опубликована online:** 8.11.2024.



Assessment and comparison analysis of cerebral perfusion SPECT parameters in liquidators of the Chernobyl accident suffering from dyscirculatory encephalopathy long after exposure to radiation

© Tatyana A. Kulikova*, Nikolay A. Meshkov, Vladimir A. Solodkiy, Dmitry K. Fomin, Olga A. Borisova, Nikolay V. Nudnov

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

The purpose of the study is to perform comparative analysis of cerebral perfusion SPECT parameters found in liquidators of the Chernobyl accident suffering from dyscirculatory encephalopathy (DEP) long after exposure to radiation and to identify indicators for monitoring their physical condition and assess treatment effectiveness.

Materials and methods. We used cerebral single-photon emission computed tomography (SPECT) to examine a group of liquidators of the Chernobyl accident (LCA) and a group of patients who had not been exposed to radiation, all of them suffering from dyscirculatory encephalopathy (DEP). We examined a total of 147 men, including 93 LCAs aged 69.38 (6.42) (the study group) and 54 patients aged 70.70 (7.25) (the comparison group). No differences by age were identified ($p = 0.347$). The study was performed using General Electric Healthcare Discovery NM/CT 670 Pro. Cerebral scintigraphy was performed using Russian-made Theoxym, ^{99m}Tc . Cerebral perfusion imaging was carried out with the help of diacarb (acetazolamide). We compared a total of 22 SPECT parameters.

Results. Arterial inflow time in the frontal and back views in both groups increased after taking diacarb by 8.37% ($p = 0.138$) and 6.62% ($p = 0.213$) in LCAs and by 15.38% ($p = 0.035$) and 13.63% ($p = 0.037$) in the comparison group. Regional cerebral blood flow (rCBF) in the right and left brain hemispheres of LCAs was below the age norm ($p = 0.001$ and $p < 0.001$), as well as below the rCBF in the frontal, temporal, parietal, and occipital lobes of the brain in healthy subjects of comparable age ($p < 0.001$). Average cerebrovascular reserve (CVR) in both groups was lower than the lower end of the normal range (31–75%). Only some of the patients from the comparison group fell within this range: 2.94% of those examined – in the temporal and occipital lobes of the right hemisphere and 8.82% – in the occipital lobe of the left hemisphere. CVR was lower in LCAs than in the comparison group by 14.19 and 14.08% in the frontal lobes of both hemispheres and by 16.31% in the temporal lobe of the left hemisphere; in the occipital lobes, however, it was higher by 29.07 and 12.06%. We found a negative correlation between rCBF and CVR and LCAs' age, as well as between CVR and radiation dose ($p < 0.05$).

Conclusion. SPECT is a promising method of detecting DEP in LCAs and other patients who have been exposed to radiation, as well as of preventing health complications and assessing treatment effectiveness. A decrease in rCBF and CVR in the frontal and frontotemporal areas of the brain may serve as the criterion for DEP detection.

Keywords: liquidators of the Chernobyl accident; dyscirculatory encephalopathy; cerebral perfusion SPECT; regional cerebral blood flow; cerebrovascular reserve

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

For citation: Kulikova T.A., Meshkov N.A., Solodkiy V.A., Fomin D.K., Borisova O.A., Nudnov N.V. Assessment and comparison analysis of cerebral perfusion SPECT parameters in liquidators of the chernobyl accident suffering from dyscirculatory encephalopathy long after exposure to radiation. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 11–25. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1506>

Received: 03.10.2024.

Accepted for publication: 24.10.2024.

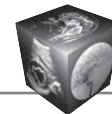
Published online: 8.11.2024.

Введение

Своевременная диагностика цереброваскулярной патологии имеет большое значение в выборе патогенетической терапии и лечебных мероприятий, что особенно важно при обследовании пациентов пожилого возраста. К числу таких пациентов относятся ликвидаторы последствий аварии (ЛПА)

на Чернобыльской АЭС, у которых сосудистые заболевания головного мозга занимают ведущее место среди отдаленных медицинских последствий.

Цереброваскулярная патология проявляется прогрессивным медленно прогрессирующим диффузным поражением мозга. Эту патологию принято обозначать как “дисциркуляторная энце-



фалопатия” (ДЭП) или “церебральная микроангиопатия” [1].

Приоритетными факторами риска ДЭП у ЛПА в отдаленном периоде являются возраст и коморбидная патология, среди которой ведущее место занимают артериальная гипертензия (АГ) и ишемическая болезнь сердца [2–7]. У людей с более высоким диастолическим давлением повышен риск развития ишемического инсульта [8]. Многолетними исследованиями установлено, что основной причиной цереброваскулярных расстройств являются нарушения микроциркуляторных процессов [9].

Перечисленные факторы риска и полиморбидный характер заболеваемости пациентов пожилого возраста существенно осложняют диагностику ДЭП. Отмечается, что более чем у половины пациентов с ДЭП диагноз является ошибочным [10].

Большое значение при диагностике цереброваскулярной патологии у ЛПА имеет определение характера, локализации и тяжести нарушения мозгового кровообращения [11]. Важная роль отводится изучению влияния возрастных изменений и АГ, как приоритетных факторов риска развития хронической прогрессирующей недостаточности мозгового кровообращения.

В диагностике АГ, возрастных изменений головного мозга и нарушений церебрального кровообращения применяется перфузионная однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) [12, 13]. Перфузионная ОФЭКТ используется для определения состояния регионарного мозгового кровотока, цереброваскулярной реактивности и перфузионного резерва цереброваскулярного русла.

Результаты ОФЭКТ служат уникальными дескрипторами динамических изменений в функции мозга. Так, например, повышенная гетерогенность перфузии мозга связана с повышенным риском тромбоэмболических событий [14], а низкая глобальная перфузия мозга – с повышенным риском транзиторной ишемической атаки [8].

ОФЭКТ может быть использована для дифференциальной диагностики ДЭП у ЛПА с гипертонической энцефалопатией, сосудистой деменцией и болезнью Альцгеймера [15–19]. Для повышения качества диагностики данные ОФЭКТ рекомендуются сопоставлять с данными МРТ-перфузии [20]. Установлено, что параметры перфузионной КТ мозгового кровотока, объема мозговой крови и среднего времени транзита (МТТ) коррелировали с региональными соотношениями мозгового кровотока по данным ОФЭКТ ($p < 0,01$) [21].

Сопоставление данных ОФЭКТ и МРТ позволяет суммировать преимущества и возможности этих методов для оценки резервов церебральной гемодинамики [22].

Состояние кровотока в головном мозге является предметом изучения многих исследователей, но до настоящего времени не установлены критерии оценки перфузии головного мозга. Эта проблема осложняется значительным диапазоном колебаний параметров перфузии. При сосудистой патологии головного мозга определение нарушений перфузии становится ключевым для выбора дифференциальной диагностики, обоснования критериев мониторинга за состоянием пациентов с ДЭП и патогенетической терапии.

Дифференциальная диагностика ДЭП у ЛПА с гипертонической энцефалопатией, сосудистой деменцией и болезнью Альцгеймера имеет большое значение для экспертов Межведомственного экспертного совета по установлению причинной связи заболеваний, инвалидности и смерти граждан, подвергшихся воздействию радиационных факторов.

Цель исследования: сравнительный анализ параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС с ДЭП в отдаленном периоде и выбор показателей для мониторинга их состояния и оценки эффективности лечения.

Материал и методы

Материалом исследования послужили данные ОФЭКТ головного мозга у ЛПА на Чернобыльской АЭС и пациентов, не подвергавшихся радиационному воздействию, с диагнозом ДЭП. Всего было обследовано 147 пациентов мужского пола в возрасте от 55 до 87 лет (средний возраст 68,78 (6,42) года). Из них основную группу (ОГ) составили 93 ЛПА (средний возраст 69,38 (6,42) года в диапазоне 60–87 лет), группу сравнения (ГС) – 54 пациента (средний возраст 70,70 (7,25) года в диапазоне 57–84 лет). Возраст обследованных в обеих группах не имел статистически значимых различий ($p = 0,347$).

Исследование проводилось на комбинированной ОФЭКТ-КТ-системе General Electric, Healthcare Discovery NM/CT 670 Pro. Сцинтиграфия головного мозга выполнялась с использованием ^{99m}Tc -теоксима (Российская Федерация). Для визуализации мозговой перфузии использовалась фармакологическая нагрузка диакарбом (ацетазоламидом).

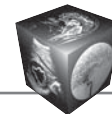
Параметры ОФЭКТ-перфузии головного мозга представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Параметры ОФЭКТ-исследования основных показателей мозгового кровотока**Table 1.** SPECT parameters for the study of key cerebral blood flow measures

№ п/п Item	Параметры ОФЭКТ-перфузии головного мозга Cerebral perfusion SPECT parameters	Сокращения Abbreviations
1.	Время артериального притока в передней проекции, с Arterial inflow time in the frontal views,	ВАПп, с AIT FV, sec
2.	Время артериального притока в задней проекции, с Arterial inflow time in the back views	ВАПзп, с AIT BV, sec
3.	Захват радиофармацевтического препарата, % Electron capture of the radiopharmaceutical, %	Захват РФП, % RP capture, %
4.	Регионарный мозговой кровоток. Правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow. Right hemisphere, ml/100 g/min	рМК прав. ПШ RH rCBF
5.	Регионарный мозговой кровоток. Левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow. Left hemisphere, ml/100 g/min	рМК лев. ПШ LH rCBF
6.	Степень асимметрии регионарного мозгового кровотока Regional cerebral blood flow asymmetry	CApMK rCBFA
7.	Регионарный мозговой кровоток. Лобная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, frontal lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЛД прав. ПШ RH FL rCBF
8.	Регионарный мозговой кровоток. Лобная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, frontal lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЛД лев. ПШ LH FL rCBF
9.	Регионарный мозговой кровоток. Височная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, temporal lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ВД прав. ПШ RH TL rCBF
10.	Регионарный мозговой кровоток. Височная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, temporal lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ВД лев. ПШ LH TL rCBF
11.	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, parietal lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ТД прав. ПШ RH PL rCBF
12.	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, parietal lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ТД лев. ПШ LH PL rCBF
13.	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, правое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, occipital lobe, right hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЗД прав. ПШ RH OL rCBF
14.	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, левое полушарие, мл/100 г/мин Regional cerebral blood flow, occipital lobe, left hemisphere, ml/100 g/min	рМК ЗД лев. ПШ LH OL rCBF
15.	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, frontal lobe, right hemisphere, %	ЦВР ЛД прав. ПШ RH FL CVR
16.	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, frontal lobe, left hemisphere, %	ЦВР ЛД лев. ПШ LH FL CVR
17.	Цереброваскулярный резерв. Височная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, temporal lobe, right hemisphere, %	ЦВР ВД прав. ПШ RH TL CVR
18.	Цереброваскулярный резерв. Височная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, temporal lobe, left hemisphere, %	ЦВР ВД лев. ПШ LH TL CVR
19.	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, parietal lobe, right hemisphere, %	ЦВР ТД прав. ПШ RH PL CVR
20.	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, parietal lobe, left hemisphere, %	ЦВР ТД лев. ПШ LH PL CVR
21.	Цереброваскулярный резерв. Затылочная доля, правое полушарие, % Cerebrovascular reserve, occipital lobe, right hemisphere, %	ЦВР ЗД прав. ПШ RH OL CVR
22.	Цереброваскулярный резерв. Затылочная доля, левое полушарие, % Cerebrovascular reserve, occipital lobe, left hemisphere, %	ЦВР ЗД лев. ПШ LH OL CVR

Примечание. Показатели без нагрузки диакарбом имели обозначение БД, с нагрузкой – СД.

Note. Parameters measured in subjects who have not taken diacarb are referred to as NDC, and those measured after taking diacarb are referred to as DC.



Систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов выполнялась в электронных таблицах Microsoft Excel 2016, обработка полученных данных – с использованием программы Statistica version 10.0. С целью проверки однородности изучаемых показателей проводили анализ распределения полученных величин по отношению к нормальному ожидаемому распределению с использованием критерия Шапиро–Уилка.

Описание количественных данных, имеющих нормальное распределение, представлено в виде среднего арифметического (M) и стандартного отклонения (SD). Качественные данные представлены в виде частот или процентов. Для сравнения данных с нормальным распределением применялся t -критерий для независимых переменных. Различия между группами оценивали с помощью относительного риска (OR), 95% доверительных интервалов ($ДИ$) и критерия значимости различий χ^2 . Выявление взаимосвязи между переменными проводилось с применением корреляционно-регрессионного анализа. Различия считали статистически значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$. Показатели с уровнем значимости от $>0,05$ до $<0,10$ рассматривались в качестве тенденций.

Результаты исследования

При сравнительном анализе групп обследованных по времени постановки диагноза ДЭП установлено, что у ЛПА эта патология стала выявляться, начиная с 1988 г., а в ГС – с 1993 г. В обеих группах сопоставимого возраста обнаружена статистически значимая взаимосвязь связь между календарным возрастом и возрастом постановки диагноза цереброваскулярной болезни – соответственно $p < 0,001$ и $p = 0,007$. Достоверных различий между длительностью заболевания в изучаемых группах не установлено.

Результаты статистической обработки параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у ЛПА и пациентов, не подвергавшихся воздействию радиации, представлены в табл. 2.

При сравнительном анализе приведенных в табл. 2 данных установлено, что у ЛПА время артериального притока в передней проекции ($ВАП_{пп}$), ниже, чем в задней проекции ($ВАП_{зп}$) на 3,29% ($p = 0,411$). После нагрузки диакарбом $ВАП_{пп}$ увеличилась на 8,37% ($p = 0,138$), а $ВАП_{зп}$ –

на 6,62% ($p = 0,213$). Регионарный мозговой кровоток ($рМК$) в правом полушарии на 1,17% ($p = 0,082$) выше показателя в левом, $рМК$ в лобной доле правого полушария выше показателя в лобной доле левого полушария на 1,60% ($p = 0,028$), а после нагрузки – на 2,52% ($p = 0,001$), в височной доле правого полушария по сравнению с левым полушарием – на 2,16% ($p = 0,009$).

В ГС после нагрузки диакарбом наблюдалось повышение $ВАП$ в передней и задней проекции – соответственно на 15,38% ($p = 0,035$) и на 13,63% ($p = 0,037$), $рМК$ в лобной доле правого полушария увеличился по сравнению с $рМК$ в лобной доле левого полушария на 2,24% ($p = 0,031$).

В табл. 3 представлены показатели цереброваскулярного резерва ($ЦВР$) в группах обследованных.

Статистически значимых различий между величинами $ЦВР$ в ОГ и ГС не установлено.

Результаты сравнительного анализа $ЦВР$ между ОГ и ГС представлены на рисунке.

Как показано на рисунке, в ОГ выявлено снижение $ЦВР$ ГМ, $ЦВР$ в лобных долях правого и левого полушарий, а также в височной доле левого полушария и в теменных долях обоих полушарий. Статистически значимых различий между выявленными различиями не обнаружено.

Для выбора показателей оценки мониторинга состояния и эффективности лечения пациентов исследовали причинно-следственные отношения между немодифицируемыми факторами риска развития ДЭП (возраст и доза облучения) и параметрами ОФЭКТ-перфузии у обследованных в обеих группах. Результаты оценки взаимосвязи представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, у ЛПА до нагрузки диакарбом выявлена умеренная отрицательная связь между календарным возрастом и $рМК$ в левом полушарии, в лобной, теменной и затылочной долях этого полушария. После нагрузки диакарбом обнаружена умеренная положительная связь с величиной захвата, а также отрицательная связь такой же силы с $ЦВР$ в правом полушарии и в теменных долях обоих полушарий. Обнаружена высокая отрицательная связь между дозой облучения и $ЦВР$ в лобных долях правого и левого полушарий. У пациентов в ГС умеренная отрицательная связь календарного возраста установлена с $рМК$ до введения диакарба в теменных и затылочных долях обоих полушарий.

**Таблица 2.** Средние значения параметров ОФЭКТ-перфузии головного мозга у обследованных в основной группе и группе сравнения**Table 2.** Average cerebral perfusion SPECT parameters in subjects from the study group and the comparison group

Параметры ОФЭКТ SPECT parameters	Группы обследованных, М (SD) Examined groups, M (SD)			
	основная the study group		сравнения the comparison group	
	без диакарба not taken diacarb	с диакарбом after taking diacarb	без диакарба not taken diacarb	с диакарбом after taking diacarb
ВАПп, с AIT FV, sec	16.97 (3.31)	18.38 (4.94)	17.83 (5.49)*	20.57 (6.12)*
ВАПзп, с AIT BV, sec	17.54 (3.25)	18.70 (4.80)	18.37 (4.79)*	20.88 (5.92)*
Захват РФП, % RP capture, %	5.37 (1.01)	5.69 (0.91)	5.55 (1.30)	5.07 (1.99)
рМК прав. ПШ RH rCBF	30.87 (0.92)	31.07 (0.54)	31.10 (1.14)	31.07 (1.30)
рМК лев. ПШ LH rCBF	30.51 (1.02)	30.48 (0.87)	30.76 (1.08)	29.75 (5.19)
СарМК (Степень симметрии) rCBFA (asymmetry)	0.98 (0.01)	0.98 (0.91)	0.98 (0.01)	0.98 (0.02)
рМК ЛД прав. ПШ RH FL rCBF	30.72 (1.03)*	30.98 (0.87)	30.96 (1.23)	31.00 (1.34)*
рМК ЛД лев. ПШ LH FL rCBF	30.24 (1.04)*	30.22 (0.92)	30.52 (1.14)	30.32 (1.20)*
рМК ВД прав. ПШ RH TL rCBF	30.96 (0.97)	31.28 (0.93)*	31.19 (1.12)	31.23 (1.37)
рМК ВД лев. ПШ LH TL rCBF	30.66 (1.03)	30.61 (1.02)*	30.86 (1.13)	30.74 (1.19)
рМК ТД прав. ПШ RH PL rCBF	30.84 (0.92)	30.91 (0.97)	31.12 (1.18)	30.89 (1.30)
рМК ТД лев. ПШ LH PL rCBF	30.63 (1.30)	29.86 (3.76)	30.87 (1.15)	30.53 (1.10)
рМК ЗД прав. ПШ RH OL rCBF	31.63 (0.89)	31.73 (0.80)	31.74 (1.01)	31.71 (1.25)
рМК ЗД лев. ПШ LH OL rCBF	31.46 (1.02)	31.33 (1.01)	31.70 (1.01)	31.03 (2.98)

* Между значениями параметров имеются статистически значимые различия. Сокращения см. в Табл. 1.

* There are statistically significant differences between the parameter values. Abbreviations in Tabl. 1.

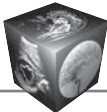


Таблица 3. Средние величины цереброваскулярного резерва у обследованных основной группы и группы сравнения, %
Table 3. Average cerebrovascular reserve in subjects from the study group and the comparison group, %

Области оценки ЦВР Evaluation areas of the CVR	Группы обследованных Examined groups			
	основная the study group		сравнения the comparison group	
	M (SD)	min–max	M (SD)	min–max
ЦВР ГМ CVR	11.10 (5.96)	2.1–22.00	11.01 (7.80)	2.60–35.00
ЦВР ЛД прав. ПШ RH FL CVR	7.12 (5.70)	0.18–21.57	8.23 (6.78)	0.07–29.77
ЦВР ЛД лев. ПШ LH FL CVR	7.36 (4.25)	0.32–15.84	8.52 (5.74)	0.30–22.27
ЦВР ВД прав. ПШ RH TL CVR	9.59 (9.24)	0.33–37.46	9.46 (7.70)	0.05–30.77
ЦВР ВД лев. ПШ LH TL CVR	8.86 (6.02)	0.10–24.21	10.44 (9.27)	0.08–38.01
ЦВР ТД прав. ПШ RH PL CVR	8.32 (5.78)	0.20–19.65	8.77 (6.29)	0.22–22.08
ЦВР ТД лев. ПШ LH PL CVR	8.27 (4.20)	0.92–19.97	8.25 (6.72)	0.19–26.76
ЦВР ЗД прав. ПШ RH OL CVR	10.38 (13.14)	0.14–43.43	7.94 (8.74)	0.87–47.32
ЦВР ЗД лев. ПШ LH OL CVR	11.88 (11.58)1	0.17–44.50	10.47 (12.26)	0.34–55.00

Примечание. Сокращения см. в табл. 1.

Note. Abbreviations in Tabl. 1.

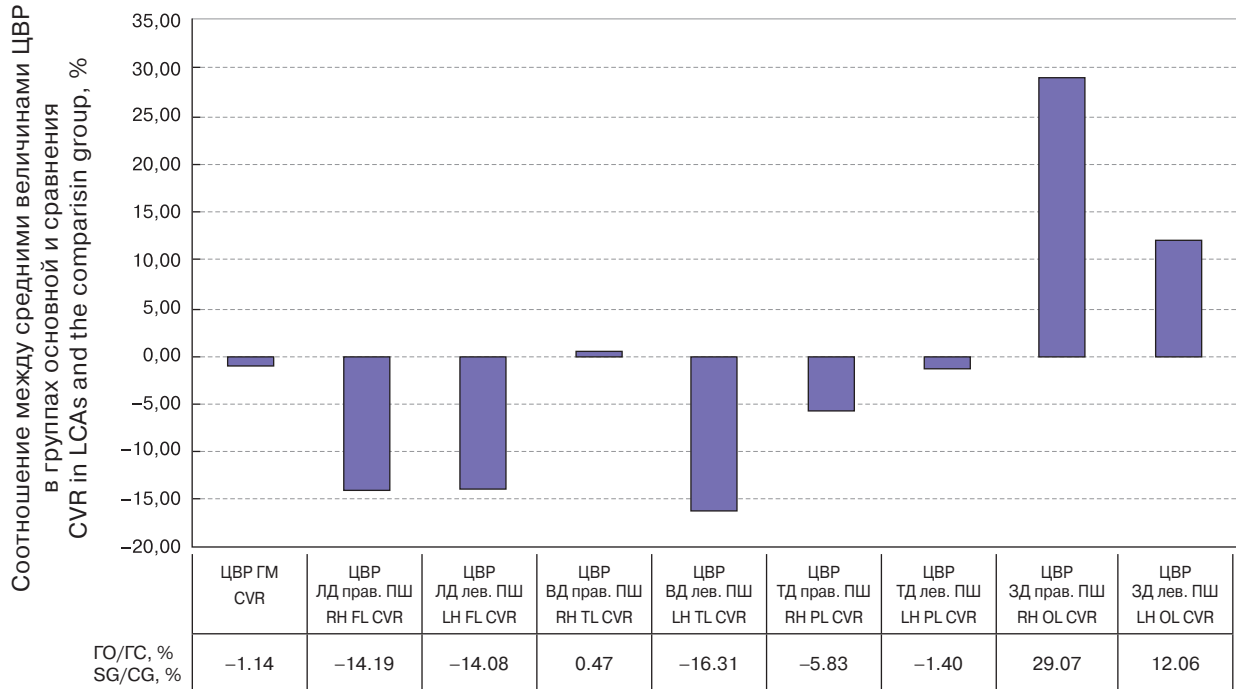


Рисунок. Соотношение между средними значениями ЦВР у ЛПА и в группе сравнения, %. Сокращения см. в табл. 1.
Figure. Correlation between average CVR in LCAs and the comparison group, %. Abbreviations in Tabl. 1.

**Таблица 4.** Модели зависимости параметров ОФЭКТ от не модифицируемых факторов риска ДЭП у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС и пациентов в группе сравнения**Table 4.** Model of correlation between SPECT parameters and non-modifiable DEP risk factors in liquidators of the Chernobyl accident and patients from the comparison group

Факторы Factors	Уравнение регрессии* Regression equation*	Итоговые статистики Summary statistics		
		R	R ²	p
Основная группа				
Возраст, годы Age, years	БД рМК лев. ПШ: y = 35,3363 – 0,0699 NDC LH rCBF: y = 35.3363 – 0.0699	–0.439	0.1930	0.002
	БД рМК ЛД лев. ПШ: y = 35,0832 – 0,0701 NDC LH FL rCBF: y = 35.0832 – 0.0701	–0.431	0.1860	0.002
	БД рМК ТД прав. ПШ: y = 33,6006 – 0,04 NDC RH PL rCBF: y = 33.6006 – 0.04	–0.2780	0.0770	0.061
	БД рМК ТД лев. ПШ: y = 36,0828 – 0,0789 NDC LH PL rCBF: y = 36,0828 – 0,0789	–0.3894	0.1517	0.007
	БД рМК ЗД прав. ПШ: y = 33,7305 – 0,0305 NDC RH OL rCBF: y = 33.7305 – 0.0305	–0.2177	0.0474	0.146
	БД рМК ЗД лев. ПШ: y = 35,6994 – 0,0614 NDC LH OL rCBF: 35.6994 – 0.0614	–0.383	0.1480	0.008
	СД захват РФП: y = 0,6045 + 0,0736 DC RP capture: y = 0.6045 + 0.0736	0.468	0.2190	0.007
	ЦВР ЛД прав. ПШ: y = 45,0601 – 0,6649 RH FL CVR: y = 0.6045 + 0.0736	–0.425	0.1800	0.015
	ЦВР ТД прав. ПШ: y = 58,5571 – 0,8409 RH PL CVR: y = 58.5571 – 0.8409	–0.479	0.2300	0.005
	ЦВР ТД лев. ПШ: y = 52,1166 – 0,7499 LH PL CVR: y = 52.1166 – 0.7499	–0.445	0.1980	0.011
Доза, Гр Dose, Gy	ЦВР ЛД прав. ПШ: y = 25,6193 – 103,0451 RH FL CVR: y = 25.6193 – 103.0451	–0.778	0.605	0.023
	ЦВР ЛД лев. ПШ: y = 22,6592 – 100,4044 LH FL CVR: y = 22.6592 – 100.4044	–0.815	0.663	0.013
	ЦВР ТД лев. ПШ: y = 24,6743 – 89,9735 LH PL CVR: y = 24.6743 – 89.9735	–0.662	0.439	0.073
Группа сравнения				
Возраст, годы Age, years	БД рМК лев. ПШ: y = 32,8006 – 0,0295 NDC LH rCBF: y = 32.8006 – 0.0295	–0.2011	0.0404	0.170
	БД рМК ЛД лев. ПШ: y = 31,8234 – 0,0192 NDC LH FL rCBF: y = 31.8234 – 0.0192	–0.1245	0.0155	0.399
	БД рМК ТД прав. ПШ: y = 34,7013 – 0,051 NDC RH PL rCBF: y = 34.7013 – 0.051	–0.373	0.139	0.007
	БД рМК ТД лев. ПШ: y = 33,5988 – 0,0391 NDC LH PL rCBF: y = 33.5988 – 0.0391	–0.2477	0.0614	0.089
	БД рМК ЗД прав. ПШ: y = 34,9325 – 0,0458 NDC RH OL rCBF: y = 34.9325 – 0.0458	–0.386	0.149	0.006
	БД рМК ЗД лев. ПШ: y = 33,9351 – 0,0321 NDC LH OL rCBF: y = 33.9351 – 0.0321	–0.277	0.076	0.051

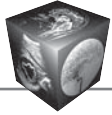


Таблица 4 (окончание).
Table 4 (end).

Факторы Factors	Уравнение регрессии* Regression equation*	Итоговые статистики Summary statistics		
		R	R²	p
Группа сравнения				
Возраст, годы Age, years	СД захват РФП: y = 5,1461 + 0,0027 DC RP capture: y = 5.1461 + 0.0027	0.0122	0.0001	0.946
	ЦВР ЛД прав. ПШ: y = 5,5007 + 0,0417 RH FL CVR: y = 5.5007 + 0.0417	0.0440	0.0019	0.807
	ЦВР ТД прав. ПШ: y = 19,9476 – 0,163 RH PL CVR: y = 19.9476 – 0.163	–0.1945	0.0378	0.278
	ЦВР ТД лев. ПШ: y = 16,2204 – 0,112 LH PL CVR: y = 16.2204 – 0.112	–0.1170	0.0137	0.516

Примечания. * Показатели без нагрузки диакарбом имели обозначение БД, с нагрузкой – СД. ** В таблицу внесены уравнения регрессии, соответствующие статистически значимому уровню или близкие к нему (от $\leq 0,05$ до $< 0,10$). Уравнения, не отвечающие этому уровню, приведены для сравнения выявленных тенденций, если в одной из групп они имели статистически значимый уровень.

Notes. *Parameters measured in subjects who have not taken diacarb are referred to as NDC, and those measured after taking diacarb are referred to as DC. ** The table includes regression equations that correspond to the statistically significant level or are close to the statistically significant level (from ≤ 0.05 up to < 0.10). The equations that do not correspond to this level are given for the purposes of comparing the identified trends when they are statistically significant in one of the groups.

Сокращения (Abbreviations):

БД рМК лев. ПШ NDC LH rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, left hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ЛД лев. ПШ NDC LH FL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Лобная доля, левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, frontal lobe, left hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ТД прав. ПШ NDC RH PL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, правое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, parietal lobe, right hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ТД лев. ПШ NDC LH PL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Теменная доля, левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, parietal lobe, left hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ЗД прав. ПШ NDC RH OL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, правое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, occipital lobe, right hemisphere, not taken diacarb
БД рМК ЗД лев. ПШ NDC LH OL rCBF	Регионарный мозговой кровоток. Затылочная доля, левое полушарие, без нагрузки диакарбом Regional cerebral blood flow, occipital lobe, left hemisphere, not taken diacarb
СД захват DC Capture	Захват диакарба Diacarb capture
ЦВР ЛД прав. ПШ RH FL CVR	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, правое полушарие Cerebrovascular reserve, frontal lobe, right hemisphere
ЦВР ЛД лев. ПШ LH FL CVR	Цереброваскулярный резерв. Лобная доля, левое полушарие Cerebrovascular reserve, frontal lobe, left hemisphere
ЦВР ТД прав. ПШ RH PL CVR	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, правое полушарие Cerebrovascular reserve, parietal lobe, right hemisphere
ЦВР ТД лев. ПШ LH PL CVR	Цереброваскулярный резерв. Теменная доля, левое полушарие Cerebrovascular reserve, parietal lobe, left hemisphere



Обсуждение

Рост цереброваскулярной патологии наблюдается среди населения большинства стран мира. В Российской Федерации прирост цереброваскулярной заболеваемости регистрируется начиная с 2008 г. Частота первичной и общей заболеваемости цереброваскулярными болезнями (классы I67 и I69 по МКБ-10) среди населения в возрасте от 55 до 60 лет и старше составляет соответственно 23 и 20% [23]. Ведущей патологией среди этих заболеваний является хроническая ишемия головного мозга различного генеза, в том числе ДЭП.

Среди ЛПА и населения, эвакуированного из 30-километровой зоны ЧАЭС, прирост сердечно-сосудистой заболеваемости наблюдался в период с 7 по 21 год после аварии с пиковым уровнем через 12–21 год в основном в возрасте 40–60 лет. В последующие 22–30 лет после аварии регистрировалось снижение уровня этой патологии [24].

Средний возраст выявления ДЭП у включенных в исследование ЛПА и у пациентов ГС составляет соответственно 46,41 (9,27) и 44,56 (7,97) года, достоверных различий между этими величинами не обнаружено ($p = 0,577$). При этом у ЛПА диагноз этой патологии впервые был поставлен уже в 1988 г., а у пациентов ГС – в 1993 г., то есть на 5 лет раньше, что соответствует данным Г.Г. Ефремушкина и И.В. Подсонной (2011) [25].

Нейровизуализация с применением ОФЭКТ-перфузии головного мозга у пациентов с ДЭП, особенно у подвергшихся воздействию радиации в период ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС или других радиационных инцидентов, имеет большое значение для прогнозирования возможных осложнений, обоснования патогенетической терапии, выбора тактики лечения и контроля ее эффективности [26].

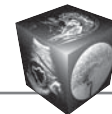
Для ЛПА, заболеваемость которых носит полиморбидный характер, ОФЭКТ является перспективным методом для своевременной и точной постановки диагноза, а также проведения дифференциальной диагностики с сосудистой патологией головного мозга у пациентов пожилого возраста, у которых часто встречаются изменения перфузии головного мозга в виде зон снижения в лобных, теменно-затылочных и височных областях [27, 28].

ОФЭКТ-перфузия с применением фармакологической нагрузки диакарбом позволяет оценить состояние мозгового кровотока и ЦВР. В областях мозга с сохранившимся ЦВР этот препарат увеличивает перфузию, а в областях с низким ЦВР перфузия снижается или же остается на прежнем уровне [29].

Установлено, что ВАП в передней и задней проекциях значительно превышает значения нормы (6–8 с). У ЛПА после нагрузки диакарбом выявлено увеличение ВАП в передней и задней проекциях – соответственно на 8,37% ($p = 0,138$) и 6,62% ($p = 0,213$). Характерное для ДЭП изначальное снижение мозгового кровотока (рМК в мл/100 г/мин) подтверждено результатами исследования: рМК в правом ($30,87 \pm 0,14$) и левом ($30,51 \pm 0,15$) полушариях значительно ниже возрастной нормы ($43,1 \pm 3,8$ и $42,2 \pm 3,3$) – соответственно $t = 3,22$ ($p = 0,001$) и $t = 3,54$ ($p < 0,001$) [17], а также чем рМК в лобных, височных, теменных и затылочных долях головного мозга у здоровых людей сопоставимого возраста [30–36] и у больных с ДЭП гипертонического генеза ($37,1 \pm 1,1$) [35] – соответственно $t = 5,62$ ($p < 0,001$) и $t = 5,94$ ($p < 0,001$). Выявлено снижение перфузии в левом полушарии у ЛПА и пациентов ГС – соответственно на 1,15% ($p = 0,082$) и 1,11% ($p = 0,128$) и регионарной перфузии в лобной доле левого полушария у ЛПА и в ГС на 1,57% ($p = 0,028$) и 1,43% ($p = 0,065$). После введения диакарба рМК в этой области увеличился соответственно на 2,46% ($p = 0,001$) и 2,19% ($p = 0,031$), в височной – на 2,11% ($p = 0,009$). Полученные данные согласуются с результатами А.И. Кугоева и соавт. (2000) [37].

Достоверных различий между ЦВР в ОГ и ГС не обнаружено, но установлено, что у ЛПА этот показатель ниже, чем в ГС, в лобных долях обоих полушарий соответственно на 14,19 и 14,08%, на 16,31% – в височной доле левого полушария, а также на 5,83 и 1,40% – в теменных долях обоих полушарий, но на 29,07 и 12,06% выше, чем у ГС, в затылочных долях. Средние значения ЦВР в группах ЛПА и сравнения – 8,97 (1,59) и 9,01 (0,99)% – значительно меньше нижней границы диапазона нормы – 31–75% [38]. Соответствующие этому диапазону значения ЦВР выявлены только у пациентов ГС в височной доле правого полушария – 38,1% (2,94% от числа обследованных), в затылочной доле правого и левого полушарий – соответственно 47,3% (2,94%) и от 35,7 до 55,0% (8,82%).

Выявлена отрицательная связь рМК и ЦВР с возрастом, а также ЦВР с дозой облучения, что совпадает с данными А.С. Engstrom и соавт. (2024) [39] и И.В. Степаненко (2002) [40]. Исследование причинно-следственных отношений между календарным возрастом и состоянием перфузии выявило, что в группе ЛПА 8 уравнений регрессии соответствуют статистически значимому уровню ($p \leq 0,05$) и одно – уровню $p < 0,10$. В ГС два уравнения статистически значимы и два – близки к этому уровню, при этом статистическая значимая связь между возрастом и ЦВР обнаружена только



в ОГ. Доля возраста в объясненной этим фактором дисперсии составляет в ОГ 16,30 (5,93)%, что в 3 раза выше ($p < 0,001$), чем в ГС, – 5,35 (5,37)%. Доля дисперсии, объясненной влиянием дозы облучения, достигает 56,90 (11,63)%.

Выявленное у ЛПА снижение скорости мозгового кровотока в лобной и лобно-височной областях может служить критерием для мониторинга за состоянием пациентов с ДЭП, подвергшихся воздействию радиации, а также оценки эффективности их лечения и проведения дифференциальной диагностики ДЭП с болезнью Альцгеймера [15, 16].

Заключение

ОФЭКТ является перспективным методом для выявления ДЭП у ЛПА и лиц, подвергшихся радиационному воздействию, и проведения дифференциальной диагностики с сосудистой патологией головного мозга у пациентов пожилого возраста. Нейровизуализация с применением ОФЭКТ-перфузии головного мозга имеет большое значение для прогнозирования возможных осложнений ДЭП, обоснования патогенетической терапии, выбора тактики лечения и контроля ее эффективности. Выявленное снижение скорости мозгового кровотока и ЦВР в лобной и лобно-височной областях в группе ЛПА может использоваться в качестве критерия для мониторинга за состоянием пациентов с ЦВБ, возникшей в отдаленном периоде после лучевой терапии, с целью предупреждения осложнений и оценки эффективности их лечения, а также проведения дифференциальной диагностики ДЭП с сосудистой деменцией и болезнью Альцгеймера.

Участие авторов

Куликова Т.А. – обзор публикаций, проведение исследования, интерпретация полученных данных, написание текста.

Мешков Н.А. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка и анализ данных, интерпретация результатов, написание текста статьи.

Солодкий В.А. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательной версии статьи.

Фомин Д.К. – анализ и интерпретация полученных данных.

Борисова О.А. – проведение исследования, обработка полученных результатов.

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

Authors' participation

Kulikova T.A. – review of publications, conducting research, interpretation of the obtained data, writing text.

Meshkov N.A. – concept and design of the study, statistical processing and analysis of data, Interpretation of results, writing the text of the article.

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

Fomin D.K. – analysis and interpretation of the obtained data.

Borisova O.A. – conducting research, processing the results obtained.

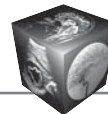
Nudnov N.B. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы

1. Гулевская Т.С., Ануфриев П.Л., Танашян М.М. Морфология и патогенез изменений белого вещества при хронической цереброваскулярной патологии. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2022; 16 (2): 78–88. <https://doi.org/10.54101/ACEN.2022.2.9>
2. Новикова Л.Б., Акопян А.П., Мустафин Х.М., Хабибрахманова Н.С., Каюмова И.И. Факторы риска цереброваскулярных заболеваний в нейрорегии. *Фарматека*. 2017; 9 (342): 61–65.
3. Boehme A.K., Esenwa C., Elkind M.S. Stroke Risk Factors, Genetics, and Prevention. *Circ. Res.* 2017; 120 (3): 472–495. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.308398>.
4. Калашникова Л.А., Гулевская Т.С., Добрынина Л.А. Актуальные проблемы патологии головного мозга при церебральной микроангиопатии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018; 118 (2): 90–99.
5. Полозова Э.И., Сеськина А.А., Пузанова Е.В., Домина Е.Н., Овсянникова И.С., Суркова И.А. Коморбидные состояния у больных артериальной гипертензией. *Современные проблемы науки и образования*. 2019; 4: 135.
6. Телкова И.Л., Внушинская М.А., Капилович Л.В. Особенности патологии сердечно-сосудистой системы у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС по данным кардиологического стационара. *Бюллетень Сибирской медицины*. 2010; 9 (5): 180–185.
7. Верюгина Н.И., Амикишиев Ш.Г., Чимагомедова А.Ш., Левин О.С. Дисциркуляторная энцефалопатия как цереброваскулярный синдром: роль поражения малых артерий в патогенезе и перспективы терапии. *Современная терапия в психиатрии и неврологии*. 2021; 3–4: 35–45.
8. Fani L., Bos D., Mutlu U. et al. Global Brain Perfusion and the Risk of Transient Ischemic Attack and Ischemic Stroke: The Rotterdam Study. *J. Am. Heart Assoc.* 2019; 8 (7): e011565. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.011565>
9. Алексанин С.С. Результаты многолетних исследований особенностей соматической патологии в отдаленном периоде после радиационных аварий. *Радиационная гигиена*. 2009; 2 (1): 5–7.
10. Парфенов В.А. Дисциркуляторная энцефалопатия и сосудистые когнитивные расстройства. М.: ИМА-ПРЕСС, 2017. 128 с.
11. Алексанин С.С., Маматова Н.Т., Тихомирова О.В., Параничева Л.Н., Стяжкина Э.Ю. Особенности функционального состояния центральной нервной системы у участников ликвидации последствий аварии на



- Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2007; 52 (5): 5–11.
12. Семенов С.Е., Милиневский Н.И., Короткевич А.А., Портнов Ю.М., Семенов А.С. Исследование перфузии при нарушениях церебрального кровообращения. Часть III (Бесконтрастные способы. Целесообразность и безопасность). Обзор. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2018; 7 (4): 101–111. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-4-101-111>
 13. Портнов Ю.М., Семенов С.Е., Сигитов И.В., Короткевич А.А. Роль лучевой диагностики в оценке естественного старения головного мозга. *Клиническая физиология кровообращения*. 2020; 17 (1): 5–12. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2020-17-1-5-12>
 14. Lin T.S., Hsu P.Y., Ko C.L. et al. Increased heterogeneity of brain perfusion predicts the development of cerebrovascular accidents. *Medicine (Baltimore)*. 2021; 100 (15): e25557. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025557>
 15. Mountz J.M., Liu H.G., Deutsch G. Neuroimaging in cerebrovascular disorders: measurement of cerebral physiology after stroke and assessment of stroke recovery. *Semin. Nucl. Med.* 2003; 33(1): 56–76. <https://doi.org/10.1053/snuc.2003.127293>
 16. Гринев Б.В., Гектин А.В., Демин А.В., Любинский В.Р., Макеев С.С. Специализированная для диагностики головного мозга томографическая гамма-камера «ОФЕКТ-3». *Наука та інновації*. 2005; 2: 75–79.
 17. Мурашко Н.К. Однофотонная эмиссионная томография при хронической гипертонической энцефалопатии. *Клиническая геронтология*. 2007; 8: 26–29.
 18. Кондаков А.К., Мосин Д.Ю., Страбыкина Д.С., Филимонова А.М., Гречко А.В., Знаменский И.А. Применимость теменно-базального индекса в целях диагностики болезни Альцгеймера. *Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке*. 2018; 20 (1): 71–76.
 19. Емелин А.Ю., Бойков И.В., Лобзин В.Ю., Колмакова К.А., Наумов К.М., Дынин П.С., Лупанов И.А. Сравнительная оценка перфузии и метаболизма головного мозга у пациентов с болезнью Альцгеймера и сосудистыми когнитивными расстройствами. *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2023; 42 (4): 391–402. <https://doi.org/10.17816/rmmar501788>
 20. Бабиянц А.Я., Хананашвили Я.А. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования. *Журнал фундаментальной медицины и биологии*. 2018; 3: 46–54.
 21. Kim E., Sohn C.H., Na D.G. et al. Perfusion computed tomography evaluation of cerebral hemodynamic impairment in patients with unilateral chronic stenotic disease: a comparison with the acetazolamide challenge ^{99m}Tc-hexamethylpropyleneamine oxime single-photon emission computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2009; 33 (4): 546–551. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e318188887d>
 22. Farid K., Petras S., Ducasse V. et al. Brain perfusion SPECT imaging and acetazolamide challenge in vascular cognitive impairment. *Nucl. Med. Commun.* 2012; 33 (6): 571–580. <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e328351d583>
 23. Савина А.А., Фейгинова С.И. Динамика заболеваемости болезнями системы кровообращения взрослого населения Российской Федерации в 2007–2019 гг. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2021; 67 (2): 1. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2021-67-2-1>
 24. Buzunov V.O., Kapustynska O.A. Epidemiological studies of cerebrovascular disease of the population evacuated from the 306km zone of the ChNPP at the age of 18–60 years. Analysis of the influence of internal ionizing radiation on the thyroid gland ¹³¹I. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2018; 23: 96–106. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2018-23-96-106>. (In English, Ukrainian)
 25. Ефремушкин Г.Г., Подсонная И.В. Артериальная гипертония и дисциркуляторная энцефалопатия – что первично? *CardioСоматика*. 2011; 2 (4): 28–34.
 26. Короткевич А.А., Семенов С.Е., Трубникова О.А. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография в диагностике изменений перфузии головного мозга в хирургии сердца и сосудов. *REJR*. 2023; 13 (2): 98–108. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-98-108>
 27. Витько Н.К., Соколова Л.П., Шмырев В.И., Зайцева А.Ю. Особенности перфузии головного мозга при легких и умеренных когнитивных расстройствах (диагностика и лечение). *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2010; 4: 46–50.
 28. Сергуладзе Т.Н., Бокерия А.А., Асланиди И.П., Дарвиш Н.А., Трифонов Т.А., Качеишвили М.Ю. Комплексная функциональная оценка мозгового кровотока при ишемических поражениях головного мозга. *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания*. 2012; 13 (S6): 130.
 29. Kuroda S., Houkin K., Kamiyama H. et al. Long-term prognosis of medically treated patients with internal carotid or middle cerebral artery occlusion: can acetazolamide test predict it? *Stroke*. 2001; 32 (9): 2110–2116. <https://doi.org/10.1161/hs0901.095692>
 30. Hauge A., Nicolaysen G., Thoresen M. Acute effects of acetazolamide on cerebral blood flow in man. *Acta. Physiol. Scand.* 1983; 117: 233–239.
 31. Lassen N.A., Andersen A.R., Friberg L., Paulson O.B. The retention of [^{99m}Tc]-d,l-HM-PAO in the human brain after intracarotid bolus injection: a kinetic analysis. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 1988; 8 (6): S13–22. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1988.28>
 32. Yonas H., Pindzola R.R. Physiological determination of cerebrovascular reserves and its use in clinical management. *Cerebrovasc. Brain Metab. Rev.* 1994; 6: 325–340.
 33. Webster M.W., Makaroun M.S., Steed D.L. et al. Compromised cerebral blood flow reactivity is a predictor of stroke in patients with symptomatic carotid artery occlusive disease. *J. Vasc. Surg.* 1995; 21: 338–345.
 34. Yamashita T. Tests of cerebral blood flow reserve capacity. In: Quantitative cerebral blood flow measurements using stable Xenon/CT: clinical applications / Eds M. Tomonaga, A. Tanaka, H. Yonas. Armonk, NY: Futura Publishing Co., Inc., 1995: 125–134.
 35. Томашевский И.О., Касаткин Ю.Н., Сошин Л.Д., Лучшев А.И., Дорофеева В.Ю., Сидоров К.С. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография с ^{99m}Tc-ГМПАО в оценке кровотока коры головного мозга при дисциркуляторной энцефалопатии. *Радиология – практика*. 2003; 4: 25–29.
 36. Лишманов Ю.Б., Ефимова Н.Ю., Чернов В.И., Ефимова И.Ю., Калашникова Т.П. Роль дисфункции эндотелия и нарушения суточного профиля артери-



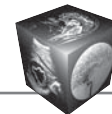
ального давления в механизме развития цереброваскулярной недостаточности у пациентов с метаболическим синдромом. *Российский кардиологический журнал*. 2013; 18 (3): 6–11.

<https://doi.org/10.15829/1560-4071-2013-3-6-11>

37. Кугоев А.И., Шарыпова Т.Н., Борисенко В.В., Коновалова Е.В., Гераскина Л.А., Фонякин А.В. Особенности изменения мозговой перфузии по данным ОФЭКТ у больных с дисциркуляторной энцефалопатией. В сб.: *Современные проблемы ядерной медицины и фармацевтики: Тезисы докладов 2-го съезда Российского общества ядерной медицины*. Обнинск, 2000: 179.
38. Радионуклидная диагностика для практических врачей / Под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. Томск: СТТ, 2004. 394 с.
39. Engstrom A.C., Alitin J.P., Kapoor A. et al. Spontaneous cerebrovascular reactivity at rest in older adults with and without mild cognitive impairment and memory deficits. *medRxiv [Preprint]*. 2024: 2024.06.18.24309109. <https://doi.org/10.1101/2024.06.18.24309109>
40. Степаненко И.В. Оценка особенностей изменений головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по результатам современных нейровизуальных методов обследования. *Украинский нейрохирургический журнал*. 2002; 3: 57–61.
1. Gulevskaya T.S., Anufriev P.L., Tanashyan M.M. Morphology and pathogenesis of white matter changes in chronic cerebrovascular disease. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noy neurologii = Annals of clinical and experimental neurology*. 2022; 16 (2): 78–88. <https://doi.org/10.54101/ACEN.2022.2.9> (In Russian)
2. Novikova L.B., Akopyan A.P., Mustafin Kh.M., Khabibrakhmanova N.S., Kayumova I.I. Risk factors for cerebrovascular diseases in neurogeriatrics. *Farmateka = Pharmateca*. 2017; 9 (342): 61–65. (In Russian)
3. Boehme A.K., Esenwa C., Elkind M.S. Stroke Risk Factors, Genetics, and Prevention. *Circ. Res*. 2017; 120 (3): 472–495. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.308398>
4. Kalashnikova L.A., Gulevskaia T.S., Dobrynina L.A. Actual problems of brain pathology in cerebral microangiopathy. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2018; 118 (2): 90–99. <https://doi.org/10.17116/jnevro20181182190-99> (In Russian)
5. Polozova E.I., Ses'kina A.A., Puzanova E.V., Domina E.N., Ovsyannikova I.S., Surkova I.A. Comorbide conditions in patients with arterial hypertension. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2019; 4: 135. (In Russian)
6. Telkova I.L., Vnushinskaya M.A., Kapilevich L.V. Peculiarities of pathology cardiovascular system in liquidators or clean-up workers at the Chernobyl nuclear power station to data of cardiology hospital. *Byulleten' Sibirskoy meditsiny = Bulletin of Siberian medicine*. 2010; 9 (5): 180–185. (In Russian)
7. Veryugina N.I., Amikishiev S.H.G., Chimagomedova A.S.H., Levin O.S. Dyscirculatory encephalopathy as a cerebrovascular syndrome: the role of lesion of small arteries in pathogenesis and prospects of therapy. *Sovremennaya terapiya v psikiatrii i neurologii = Modern therapy in psychiatry and neurology*. 2021; 3–4: 35–45. (In Russian)
8. Fani L., Bos D., Mutlu U. et al. Global Brain Perfusion and the Risk of Transient Ischemic Attack and Ischemic Stroke: The Rotterdam Study. *J. Am. Heart Assoc*. 2019; 8 (7): e011565. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.011565>
9. Alexanin S.S. Results of multiannual research of somatic pathology distinctive features in the long-term period after radiation accidents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009; 2 (1): 5–7. (In Russian)
10. Parfenov V.A. Dyscirculatory encephalopathy and vascular cognitive disorders. Moscow: IMA-PRESS, 2017. 128. (In Russian)
11. Alexanin S.S., Mamatova N.T., Tikhomirova O.V., Paranchikova L.N., Styaschikina E.Y. Functional state peculiarities of central nervous system in Chernobyl recovery workers with chronic cerebrovascular diseases. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical radiology and radiation safety*. 2007; 52 (5): 5–11. (In Russian)
12. Semenov S.E., Milinevskiy N.I., Korotkevich A.A. et al. Cerebral perfusion and circulation disturbances. Part III (non-contrast methods, rationale and safety): a review. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistyykh zabolevaniy = Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2018; 7 (4): 101–111. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-4-101-111> (In Russian)
13. Portnov Yu.M., Semenov S.E., Sigitov I.V., Korotkevich A.A. Place of radiology in visualisation and estimation of brain aging changes. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobra-shcheniya = Clinical Physiology of Circulation*. 2020; 17 (1): 5–12. <https://doi.org/10.24022/1814-6910-2020-17-1-5-12> (In Russian)
14. Lin T.S., Hsu P.Y., Ko C.L. et al. Increased heterogeneity of brain perfusion predicts the development of cerebrovascular accidents. *Medicine (Baltimore)*. 2021; 100 (15): e25557. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000002557>
15. Mountz J.M., Liu H.G., Deutsch G. Neuroimaging in cerebrovascular disorders: measurement of cerebral physiology after stroke and assessment of stroke recovery. *Semin. Nucl. Med*. 2003; 33 (1): 56–76. <https://doi.org/10.1053/snuc.2003.127293>
16. Grinev B.V., Gektin A.V., Demin A.V. et al. Specialized for brain diagnostics tomographic gamma camera "OFECT-3". *Nauka i innovatsii = Science and Innovations*. 2005; 2: 75–79. (In Ukrainian, Russian)
17. Murashko N.K. Single-photon emissive computer tomography at chronic hypertensive encephalopathy. *Klinicheskaya gerontologiya = Clinical Gerontology*. 2007; 8: 26–29. (In Russian)
18. Kondakov A.K., Mosin D.Yu., Strabykina D.S. et al. Application of the parietal-basal index for the diagnosis of Alzheimer's disease. *Zhurnal nauchnykh statej Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke = The Journal of scientific articles Health and Education Millennium*. 2018; 20 (1): 71–76. (In Russian)
19. Emelin A.Yu., Boykov I.V., Lobzin V.Yu. et al. Comparative assessment of cerebral perfusion and metabolism in patients with Alzheimer's disease and vascular cognitive disorders. *Izvestiya Rossijskoj voenno-medicheskoy akademii = Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2023; 42 (4): 391–402. <https://doi.org/10.17816/rmmar501788> (In Russian)
20. Babiants A.Ya., Khananashvili Ya.A. Cerebral circulation: physiological aspects and modern research methods. *Zhurnal fundamental'noj mediciny i biologii = The Journal*



- of "Fundamental medicine and Biology". 2018; 3: 46–54. (In Russian)
21. Kim E., Sohn C.H., Na D.G. et al. Perfusion computed tomography evaluation of cerebral hemodynamic impairment in patients with unilateral chronic stenocclusive disease: a comparison with the acetazolamide challenge ^{99m}Tc -hexamethylpropyleneamine oxime single-photon emission computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2009; 33 (4): 546–551. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e318188887d>
 22. Farid K., Petras S., Ducasse V. et al. Brain perfusion SPECT imaging and acetazolamide challenge in vascular cognitive impairment. *Nucl. Med. Commun.* 2012; 33 (6): 571–580. <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e328351d583>
 23. Savina A.A., Feyginova S.I. Dynamics in incidence of diseases of the circulatory system among adults in the Russian Federation in 2007–2019. *Social'nye aspekty zdorov'ja naselenija = Social Aspects of Population Health.* 2021; 67 (2): 1. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2021-67-2-1> (In Russian)
 24. Buzunov V.O., Kapustynska O.A. Epidemiological studies of cerebrovascular disease of the population evacuated from the 306km zone of the ChNPP at the age of 18–60 years. Analysis of the influence of internal ionizing radiation on the thyroid gland ^{131}I . *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2018; 23: 96–106. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2018-23-96-106>. (In English, Ukrainian)
 25. Eremushkin G.G., Podsonnaya I.V. Arterial hypertension and discirculatory encephalopathy – what is primary? *CardioSomatika = Cardiosomatics.* 2011; 2 (4): 28–34. (In Russian)
 26. Korotkevich A.A., Semenov S.E., Trubnikova O.A. Single-photon emission computed tomography in the diagnosis of cerebral perfusion changes in cardiac and vascular surgery. *Rossiiskij elektronnyj zhurnal luchevoj diagnostiki = Russian Electronic Journal of Radiology (REJR).* 2023; 13 (2): 98–108. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-98-108> (In Russian)
 27. Vitko N.K., Sokolova L.P., Shmirjev V.I., Zaitzeva A.Yu. Some peculiarities of brain perfusion in mild and moderate cognitive disorders (diagnostics and treatment). *Kremlevskaja medicina. Klinicheskij vestnik = Kremlin Medicine. Clinical Bulletin.* 2010; 4: 46–50. (In Russian)
 28. Serguladze T.N., Bokerija A.A., Aslanidi I.P. et al. Complex functional assessment of cerebral blood flow in ischemic cerebral lesions. *Bjulleten' NCSSH im. A.N. Bakuleva RAMN. Serdechno-sosudistye zabolevaniya = The Bulletin of Bakoulev center. Cardiovascular diseases.* 2012; 13 (S6): 130. (In Russian)
 29. Kuroda S., Houkin K., Kamiyama H. et al. Long-term prognosis of medically treated patients with internal carotid or middle cerebral artery occlusion: can acetazolamide test predict it? *Stroke.* 2001; 32 (9): 2110–2116. <https://doi.org/10.1161/hs0901.095692>
 30. Hauge A., Nicolaysen G., Thoresen M. Acute effects of acetazolamide on cerebral blood flow in man. *Acta. Physiol. Scand.* 1983; 117: 233–239.
 31. Lassen N.A., Andersen A.R., Friberg L., Paulson O.B. The retention of [^{99m}Tc]-d,l-HM-PAO in the human brain after intracarotid bolus injection: a kinetic analysis. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 1988; 8(6): S13–22. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1988.28>
 32. Yonas H., Pindzola R.R. Physiological determination of cerebrovascular reserves and its use in clinical management. *Cerebrovasc. Brain Metab. Rev.* 1994; 6: 325–340.
 33. Webster M.W., Makaroun M.S., Steed D.L. et al. Compromised cerebral blood flow reactivity is a predictor of stroke in patients with symptomatic carotid artery occlusive disease. *J. Vase. Surg.* 1995; 21: 338–345.
 34. Yamashita T. Tests of cerebral blood flow reserve capacity. In: Quantitative cerebral blood flow measurements using stable Xenon/CT: clinical applications / Eds M. Tomonaga, A. Tanaka, H. Yonas. Armonk, NY: Futura Publishing Co., Inc., 1995: 125–134.
 35. Tomashevskij I.O., Kasatkin Ju.N., Soshin L.D. et al. Single-photon emission computed tomography with ^{99m}Tc -GMPAO in the evaluation of cortical blood flow in dyscirculatory encephalopathy. *Radiologija – praktika = Radiology-Practice.* 2003; 4: 25–29. (In Russian)
 36. Lishmanov Yu.B., Efimova N.Yu., Chernov V.I. et al. Role of endothelial dysfunction and circadian blood pressure profile disturbances in the development of cerebrovascular insufficiency among patients with metabolic syndrome. *Rossiiskij kardiologicheskij zhurnal = Russian Journal of Cardiology.* 2013; 18(3): 6–11. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2013-3-6-11> (In Russian)
 37. Kugoev A.I., Sharypova T.N., Borisenko V.V. et al. Changes in cerebral perfusion SPECT in patients with dyscirculatory encephalopathy. In: Current Issues of Nuclear Medicine and Pharmacy: Proceedings of the 2nd Convention of the Russian Society of Nuclear Medicine. Obninsk, 2000: 179.
 38. Radionuclide diagnostics for practicing physicians / Eds Y.B. Lishmanov, V.I. Chernov. Tomsk: STT, 2004. 394 p.
 39. Engstrom A.C., Alitin J.P., Kapoor A. et al. Spontaneous cerebrovascular reactivity at rest in older adults with and without mild cognitive impairment and memory deficits. *medRxiv [Preprint].* 2024: 2024.06.18.24309109. <https://doi.org/10.1101/2024.06.18.24309109>
 40. Stepanenko I.V. Assessment of the peculiarities of cerebral changes in the liquidators of the Chernobyl accident according to the results of modern neuroimaging methods of examination. *Ukrainskij nejrohirurgicheskij zhurnal = Ukrainian Neurosurgical Journal.* 2002; (3): 57–61. (In Ukrainian, Russian)



Для корреспонденции*: Куликова Татьяна Анатольевна – e-mail: tkulikova61@gmail.com

Куликова Татьяна Анатольевна – канд. мед. наук, заведующая терапевтическим отделением клиники ядерной медицины ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0005-1763-5031>.

Мешков Николай Алексеевич – академик РАЕН, доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-6139-5833>

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

Фомин Дмитрий Кириллович – доктор мед. наук, профессор РАН, заведующий клиникой ядерной медицины ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7316-3519>

Борисова Ольга Анатольевна – канд. мед. наук, заведующая отделением радионуклидной диагностики клиники ядерной медицины ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/009-0003-7809-0130>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Contact*: Tatyana A. Kulikova – e-mail: tkulikova61@gmail.com

Tatyana A. Kulikova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the therapeutic department of the Nuclear Medicine Clinic, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow.

Nikolay A. Meshkov – Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Radiation Therapy and Complex Methods for the Treatment of Oncological Diseases, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-6139-5833>

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

Dmitry K. Fomin – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Nuclear Medicine Clinic, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7316-3519>

Olga A. Borisova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radionuclide Diagnostics of the Nuclear Medicine Clinic, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/009-0003-7809-0130>

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Research Department for Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1424>

Толщина структур век в различных возрастных группах по данным ультразвукового исследования

© Гущина М.Б.¹, Надточий А.Г.², Терещенко А.В.¹, Афанасьева Д.С.^{3*}¹ ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калужский филиал; 248007 Калуга, ул. им. Святослава Фёдорова, д. 5, Российская Федерация² ФГБУ НМИЦ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России; 119021 Москва, ул. Тимура Фрунзе, д. 16, Российская Федерация³ АО «Лечебно-диагностическое отделение клиники микрохирургии глаза «Окулист»; 630091 Новосибирск, ул. Крылова, д. 4, Российская Федерация

Знание прижизненной толщины структур век человека помогает при диагностике и планировании хирургического вмешательства. Однако веки подвержены естественным возрастным изменениям, как и другие мягкие ткани лица.

Цель исследования: сравнить нормальную толщину структур век, измеренную с помощью ультразвукового исследования, в разных возрастных группах.

Материал и методы. В проспективное наблюдение включены интактные веки с одной стороны лица 37 человек европеоидной популяции обоих полов в возрасте 27–79 лет. Выделены четыре группы с интервалом 10 лет в диапазоне 20–60 лет и группа лиц старше 60 лет. Измерения были сделаны при ультразвуковом В-сканировании одним опытным оператором.

Результаты. Определена толщина кожи, круговой мышцы, конъюнктивы, тарзуса, их комплекса на разных уровнях верхнего и нижнего века, комплекса леватор–мышца Мюллера и мышцы Риолана, а также общая толщина век для каждой возрастной группы. Установлено, что прослеживаются возрастные особенности по всем параметрам, однако наиболее существенно изменяются два из них. Толщина кожи нижнего века в возрасте 31–40 лет (1,2 [1,0; 1,4] мм) значительно отличалась от значений в возрасте 41–50 лет (1,65 [1,45; 1,85] мм) и 51–60 лет (2,05 [1,73; 2,7] мм). Также конъюнктивa на уровне пальпебральной складки верхнего века после 60 лет (0,97 [0,8; 1,2] мм) становилась значительно толще, чем у более молодых лиц особенно в возрасте 21–30 лет (0,49 [0,44; 0,55] мм, $p = 0,053$) и 41–50 лет (0,58 [0,50; 0,65] мм, $p = 0,05$).

Заключение. Значительные отличия толщины кожи нижнего века выявлены в группе 31–40 лет от значений в группах 41–50 лет ($p = 0,03$) и 51–60 лет ($p = 0,05$). У лиц старше 60 лет конъюнктивa верхнего века на уровне верхнего края тарзальной пластинки (ТП) была значительно толще, чем у лиц более молодых возрастных групп. Отмечено, что большинство структур верхнего века (кожа, конъюнктивa, ТП, комплекс конъюнктивa–ТП, круговая мышца глаза и общая толщина века на уровне ТП) во всех возрастных группах намного тоньше ($p < 0,05$) соответствующих структур нижнего века. Полученные данные могут служить ориентиром при диагностике и планировании хирургических вмешательств.

Ключевые слова: веки; круговая мышца глаза; леватор; мышца Риолани; блефаропластика; старение

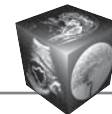
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Гущина М.Б., Надточий А.Г., Терещенко А.В., Афанасьева Д.С. Толщина структур век в различных возрастных группах по данным ультразвукового исследования. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 26–32. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1424>

Поступила в редакцию: 27.12.2023.

Принята к печати: 24.07.2024.

Опубликована online: 5.11.2024.



Thickness of the eyelid structures in different age groups based on the ultrasound study

© Marina B. Gushchina¹, Andrey G. Nadtochiy²,
Alexander V. Tereshchenko¹, Daria S. Afanasyeva^{3*}

¹ S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga branch; 5, Svyatoslav Fyodorov str., Kaluga 248007, Russian Federation

² Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery; 16, Timur Frunze str., Moscow 119021, Russian Federation

³ Treatment and Diagnostics Department of Eye Microsurgery Clinic "Okulist"; 4, Krylova str., Novosibirsk 630091, Russian Federation

Most of the literature data on eyelid structures are based on the measurements in cadavers or histological samples. Nonetheless, such data can differ from the living tissues with interstitial fluid and filled vessels. In clinical work, specialists sometimes need to be aware of the in vivo parameters of eyelids tissue structures.

Information on live thickness of eyelid structures supports diagnostic process and surgery planning. Nonetheless, the eyelids are affected by age related changes as other facial soft tissues.

Purpose: To compare thickness of normal eyelid structures measured with ultrasound in various age groups.

Methods. This prospective observational study was comprised of intact eyelids of 37 patients with a mean age of 46 ± 13.13 years (aged 27–79 years; 28 women). All subjects were divided into 4 groups with an interval of 10 years from 20 to 60 years and a group of aged above 60 years. Same operator took measurements skin, circular eye muscle, conjunctiva, tarsus and their composition of both eyelids with B-scan ultrasonography.

Results. We established some age-related trends for all parameters, but two of them change the most significantly. The lower eyelid skin thickness in group of 31–40 years old people (1.2 [1.0;1.4] mm) significantly differed from the values in the groups of people aged 41–50 (1.65 [1.45;1.85] mm and 51–60 years (2.05 [1.73;2.7] mm). Upper eyelid conjunctiva at the level of tarsal plate upper margin also tends to be thicker in people(older 60 years (0.97 [0.8;1.2] mm) than in younger adults, especially at the age of 21–30 (0.49 [0.44; 0.55], $p = 0.053$) and 41–50 y.o. (0.58 [0.50;0.65] mm, $p = 0.053$).

Conclusion. Significant differences in the skin thickness of the lower eyelid were detected in the group of 31–40 years from the values in the groups of 41–50 years ($p = 0.03$) and 51–60 years ($p = 0.05$). In persons over 60 years of age, the conjunctiva of the upper eyelid at the level of the upper edge of the TP was significantly thicker than in younger age groups. It was noted that most of the structures of the upper eyelid (skin, conjunctiva, TP, conjunctiva–TP complex, orbicularis oculi muscle and the total thickness of the eyelid at the level of TP) in all age groups are much thinner ($p < 0.05$) than the corresponding structures of the lower eyelid. The obtained data can serve as a guide for diagnosis and planning of surgical interventions.

Keywords: eyelids; orbicularis oculi muscle; levator; Rioli muscle, blepharoplasty; aging

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

For citation: Gushchina M.B., Nadtochiy A.G., Tereshchenko A.V., Afanasyeva D.S. Thickness of the eyelid structures in different age groups based on the ultrasound study. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 26–32. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1424>

Received: 27.12.2023.

Accepted for publication: 24.07.2024.

Published online: 5.11.2024.

Введение

Современные методы ультразвукового исследования (УЗИ) открывают широкие возможности для визуализации различных тканей и органов и измерения их параметров. Активное применение УЗИ нашло и в офтальмологии [1–4], в том числе для исследования тканей век [5–9]. Знание прижизненной толщины структур век человека помогает при диагностике и выборе хирургической тактики, а также материала для трансплантации в окологлазничной области [5, 6, 10]. Однако веки,

как и другие мягкие ткани лица, подвержены естественным возрастным изменениям, что в крайних случаях может проявляться прогрессирующим блефароптозом, блефарохалазисом, выворотом или заворотом нижнего века [11, 12]. В связи с изложенным представляется важным изучить нормальную толщину структур век в разных возрастных группах.

Цель исследования: сравнить нормальную толщину структур век, измеренную с помощью УЗИ, в разных возрастных группах.



Материал и методы

Выполнено проспективное наблюдательное исследование, в которое включили интактные веки с одной стороны лица 37 человек (28 женщин и 9 мужчин) европеоидной расы в возрасте от 27 до 79 (в среднем 46 ± 13) лет. УЗИ век проводилось по медицинским показаниям пациентам с различной приобретенной патологией на одном глазу (травма, новообразование века, лагофтальм и др.), парная сторона лица данных пациентов была интактна. Для анализа в рамках этой работы были взяты только параметры интактных век этих пациентов.

Выделили 4 возрастные группы в диапазоне от 20 до 60 лет с интервалом 10 лет и группу лиц старше 60 лет.

Эхографическое исследование проводилось в горизонтальном положении пациента при закрытых веках в сагиттальной плоскости в В-режиме на ультразвуковом сканере MyLabTwice (Esaote, Италия) с использованием линейного датчика 10–22 МГц (рабочая частота 20–22 МГц, механический индекс 0,13–0,18) с шириной апертуры 16 мм и пространственным разрешением 0,2 мм. Для измерения толщины кожи века, круговой мышцы глаза верхнего и нижнего век датчик устанавливали на уровне центра тарзальной пластинки (ТП). Толщина ТП, конъюнктивы, комплекса конъюнктив–ТП и общая толщина верхнего века измерялись на уровне ресничного края верхнего века, центра и верхнего края ТП (складка верхнего века). Толщину комплекса леватора верхнего века и мышцы Мюллера измеряли на уровне брюшка. Толщина мышцы Риолани измерялась на субцилиарном уровне нижнего века. Измерение толщины конъюнктивы, ТП и комплекса конъюнктив–ТП нижнего века проводили на уровне центра ТП. Общая толщина нижнего века измерялась на уровне ТП и под ней (рис. 1, 2).

Статистический анализ проводили в Rstudio (RStudio Inc., Boston, MA, USA). В связи с ненормальным распределением значений признаков (критерий Шапиро–Уилка) значения представлены в виде медианы [1-й; 3-й квартиль]. Для сравнения значений признаков использовали парный критерий Вилкоксона и тест Крускала–Уоллиса с поправкой Benjamini и Hochberg для множественных сравнений. Значение $p < 0,05$ принимали как статистически значимое, а $p = 0,05$ – как выявленную тенденцию.

Результаты исследования

В результатах измерения различных структур века в исследуемых возрастных группах практически по всем параметрам были отмечены возрастные колебания (см. таблицу). Толщина кожи нижнего века в группе 31–40 лет (1,2 [1,0; 1,4] мм) значительно отличалась от значений в группах 41–50 лет (1,65 [1,45; 1,85] мм, $p = 0,03$) и 51–60 лет (2,05 [1,73; 2,7] мм, $p = 0,05$). В то же время между лицами в возрасте 21–30 лет и старше 60 лет значимых различий по этому параметру не наблюдалось, что согласуется с данными Н. Demirci и С.С. Nelson (2007) [5]. На верхнем веке конъюнктив на уровне верхнего края ТП у людей после 60 лет (0,97 [0,8; 1,2] мм) становилась значительно толще, чем у более молодых лиц, особенно в возрасте 21–30 лет (0,49 [0,44; 0,55], $p = 0,05$) и 41–50 лет (0,58 [0,50; 0,65] мм, $p = 0,05$).

Дополнительно было обнаружено, что большинство структур верхнего века (кожа, конъюнктив, ТП, комплекс конъюнктив–ТП, круговая мышца глаза и общая толщина века на уровне ТП) во всех возрастных группах намного тоньше ($p < 0,05$) соответствующих структур нижнего века. Кроме того, соотношение толщины круговой мышцы глаза верхнего века и толщины мышц, поднимающих верхнее веко, у лиц разного возраста составляет преимущественно от 1:2,1 до 1:2,5, за исключением группы 51–60 лет, где это соотношение равнялось 1:1,5. В то же время соотношение толщины круговой мышцы глаза нижнего века и толщины мышцы Риолани колебалось в пределах от 1:1,3 до 1:1,8.

Обсуждение

Благодаря своей доступности, неинвазивности, безопасности и высокой разрешающей способности ультразвуковой метод позволяет получать точные результаты в режиме реального времени. Он прекрасно подходит для изучения морфометрических параметров век у пациентов любого возраста, поэтому был выбран для выполнения данной работы.

В целях настоящего исследования мы столкнулись с необходимостью выделить возрастные группы, которые могли бы наиболее ярко показать возрастную динамику измеряемых параметров. Однако не удалось обнаружить единого общепризнанного подхода к выделению возрастных групп. В опубликованных исследованиях к разде-

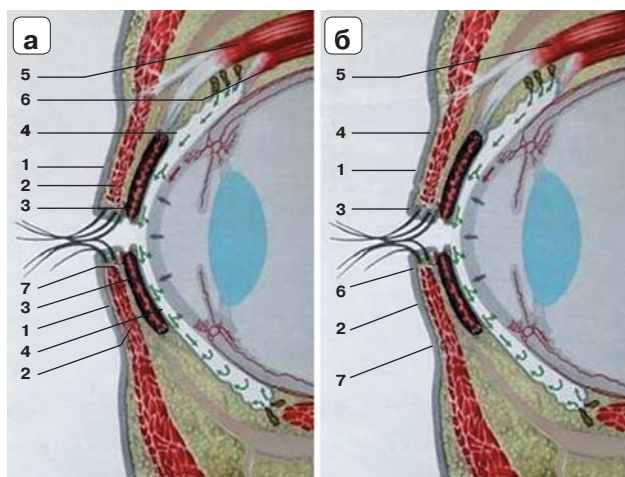
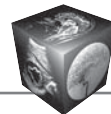


Рис. 1. Структурные элементы век (адаптировано из наглядного материала для студентов-медиков). **а** – анатомические образования век, доступные УЗИ: 1 – кожа, 2 – круговая мышца глаза, 3 – тарзальная пластинка (ТП), 4 – конъюнктура век, 5 – леватор, 6 – мышца Мюллера, 7 – мышца Риолани; **б** – уровни ультразвукового измерения параметров век: 1 – кожа, круговая мышца, ТП, конъюнктура, комплекс ТП–конъюнктуры и общая толщина верхнего века на уровне центра ТП; 2 – кожа, круговая мышца глаза, ТП, конъюнктура, комплекс ТП–конъюнктуры, общая толщина нижнего века на уровне центра ТП, 3 – ТП, конъюнктура, комплекс ТП–конъюнктуры и общая толщина верхнего века на уровне ресничного края, 4 – ТП, конъюнктура, комплекс ТП–конъюнктуры и общая толщина верхнего века на уровне верхнего края ТП, 5 – комплекс леватор–мышца Мюллера, 6 – мышца Риолани, 7 – общая толщина нижнего века ниже ТП.

Fig. 1. Eyelid structures (adapted from materials for medical students). **a** – eyelid structures assessed with ultrasound: 1 – skin, 2 – musculus orbicularis oculi, 3 – tarsal plate (TP), 4 – conjunctiva, 5 – levator muscle, 6 – Muller's muscle, 7 – Riolan's muscle; **б** – levels of measurement: 1 – skin, musculus orbicularis oculi, TP, conjunctiva, conjunctiva-tarsal plate and total upper eyelid thickness at the level of TP center; 2 – skin, musculus orbicularis oculi, TP, conjunctiva, conjunctiva-tarsal plate, total lower eyelid thickness At the level of tarsal plate center; 3 – TP, conjunctiva, conjunctiva-tarsal plate and total upper eyelid thickness at the level of ciliary margin, 4 – TP, conjunctiva, conjunctiva-tarsal plate and total upper eyelid thickness at the level of TP upper margin, 5 – levator-Muller's muscle, 6 – Riolan's muscle, 7 – total lower eyelid thickness lower TP.

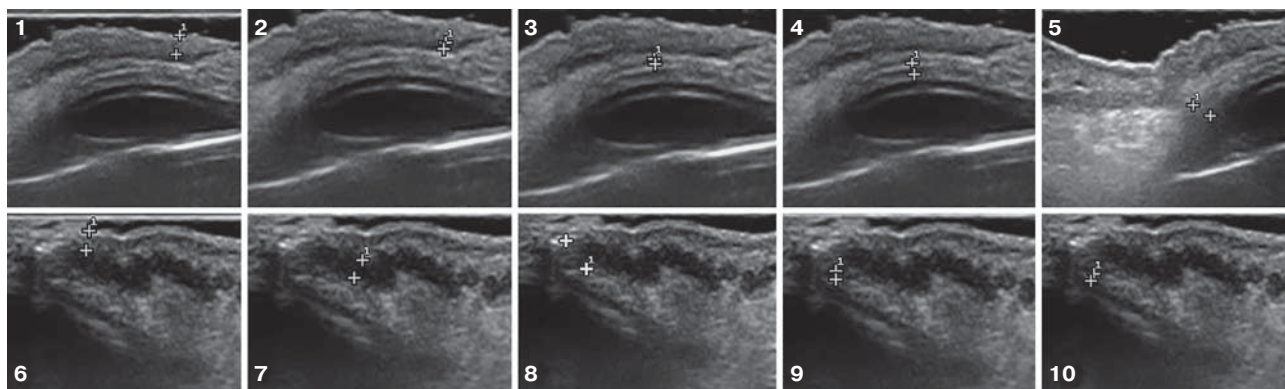
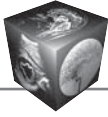
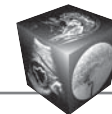


Рис. 2. Эхограммы верхнего (1–5) и нижнего (6–10) века в сагиттальной плоскости. Измерение толщины основных структур век: кожа (1), претарзальная часть пальпебральной порции круговой мышцы (2), тарзальная пластинка (3), конъюнктура (4), мышцы, поднимающие верхнее веко (5), и нижнего века: кожа (6), круговая мышца (7), мышца Риолани (8), тарзальная пластинка (9), конъюнктура (10).

Fig. 2. Ultrasound sagittal images of the upper (1–5) and lower (6–10) eyelids. Measuring of the main eyelid structures: skin (1, 6), pretarsal part of musculus orbicularis oculi of the eyelid (2), tarsal plate (3, 9), conjunctiva (4, 10), levators of the upper eyelid (5), musculus orbicularis oculi (7), Riolan's muscle (8).

**Таблица.** Толщина структур верхнего и нижнего века по данным УЗИ (мм)**Table.** Thickness of the upper and lower eyelid structures measured with ultrasound (mm)

Возраст / Age		21–30 лет 21–30 y.o	31–40 лет 31–40 y.o	41–50 лет 41–50 y.o	51–60 лет 51–60 y.o	>60 лет >60 y.o
Женщины/мужчины / Female/Male		4/1	9/0	9/3	1/3	5/2
Верхнее веко / Upper eyelid	Кожа / Skin	1.3 [1.0;1.3]	1.15 [1.1–1.5]	1.3 (1.05–1.4)	1.65 [1.3;2.1]	1.2 [1.1;1.4]
	Круговая мышца глаза / Musculus orbicularis oculi	0.67 [0.59;0.9]	0.58 [0.4;1.05]	0.71 [0.55;0.9]	0.99 [0.94;1.1]	0.87 [0.6;1.0]
	Леватор–мышца Мюллера / Levator–Muller's muscle	1.6 [1.5;1.7]	1.45 [1.40;1.6]	1.6 [1.45;1.7]	1.38 [1.1;2.18]	1.9 [1.7;2.5]
	На уровне ресничного края века / At the level of ciliary margin of the eyelid:					
	Конъюнктив / Conjunctiva	0.55 [0.38;0.87]	0.7 [0.64;0.94]	0.6 [0.5;0.8]	0.76 [0.56;1.03]	0.7 [0.57;1.1]
	Тарзальная пластинка / Tarsal plate	0.34 [0.32;0.39]	0.3 [0.25;0.36]	0.31 [0.23;0.37]	0.45 [0.37;0.5]	0.28 [0.2;0.4]
	Конъюнктив–тарзальная пластинка / Conjunctiva–Tarsal plate	1.1 [0.82;1.5]	1.0 [0.9;1.3]	1.03 [0.82;1.27]	1.18 [1.03;1.5]	1.0 [0.85;1.5]
	Общая толщина века / Total eyelid thickness	3.7 [3.5;4.4]	3.625 [2.75;4.5]	4.23 [3.9;4.8]	5.1 [4.33;5.25]	4.3 [3.6;4.8]
	На уровне середины тарзальной пластинки / At the level of tarsal plate center:					
	Конъюнктив / Conjunctiva	0.54 [0.51;0.75]	0.7 [0.45;0.75]	0.69 [0.6;0.93]	0.62 [0.27;1.07]	0.8 [0.74;0.8]
Нижнее веко / Lower eyelid	Тарзальная пластинка / Tarsal plate	0.25 [0.25;0.42]	0.2 [0.2;0.27]	0.3 [0.23;0.39]	0.31 [0.26;0.37]	0.33 [0.2;0.4]
	Конъюнктив–тарзальная пластинка / Conjunctiva–Tarsal plate	0.75 [0.74;1.2]	0.9 [0.73;1.02]	1.2 [0.94;1.45]	1.05 [0.75;1.35]	1.3 [1.0;1.6]
	Общая толщина века / Total eyelid thickness	3.1 [2.5;3.8]	3.05 [2.65;3.35]	3.85 [2.95;4.6]	3.38 [3.13;3.7]	3.4 [2.7;3.8]
	На уровне верхнего края тарзальной пластинки / At the level of tarsal plate upper margin:					
	Конъюнктив / Conjunctiva	0.49 [0.44;0.55]	0.59 [0.45;0.78]	0.58 [0.5;0.65]	0.55 [0.35;0.75]	0.97 [0.8;1.2]
	Тарзальная пластинка / Tarsal plate	0.26 [0.22;0.29]	0.3 [0.24;0.37]	0.3 [0.23;0.3]	0.28 [0.23;0.32]	0.22 [0.2;0.3]
	Конъюнктив–тарзальная пластинка / Conjunctiva–Tarsal plate	0.81 [0.70;0.81]	0.9 [0.69;0.93]	0.8 [0.74;0.95]	0.83 [0.73;0.93]	1.2 [0.97;1.5]
	Общая толщина века / Total eyelid thickness	4.2 [3.4;4.7]	3.475 [3.18;4.4]	4.15 [3.35;5.1]	3.38 [2.95;3.93]	4.1 [3.8;4.4]
	Кожа / Skin	1.5 [1.3;1.85]	1.2 [1.0;1.4]	1.65 [1.45;1.85]	2.05 [1.73;2.3]	1.4 [1.2;1.6]
	Круговая мышца глаза / Musculus orbicularis oculi	1.3 [1.2;1.4]	0.845 [0.8;1.0]	0.995 [0.75;1.22]	1.5 [1.18;1.65]	1.2 [0.83;1.5]
	Мышца Риолана / Riolan's muscle	1.6 [1.45;1.93]	1.6 [0.9;2.2]	1.7 [1.6;2.05]	2.5 [1.95;2.7]	2.05 [1.5;2.6]
	Конъюнктив / Conjunctiva	1.3 [0.84;1.4]	0.745 [0.53;1.38]	1.0 [0.65;1.05]	0.73 [0.65;1.08]	0.93 [0.76;1.3]
	Тарзальная пластинка / Tarsal plate	0.65 [0.5;0.79]	0.36 [0.3;0.47]	0.5 [0.4;0.5]	0.46 [0.37;0.73]	0.5 [0.43;0.7]
	Конъюнктив– тарзальная пластинка / Conjunctiva–Tarsal plate	2.1 [1.5;2.15]	1.11 [0.85;2.1]	1.5 [1.1;2.1]	1.15 [1.05;1.8]	1.4 [1.2;1.6]
	Общая толщина века на уровне середины тарзальной пластинки / Total eyelid thickness at the level tarsal plate center	5.4 [3.8;6.8]	5.1 [3.0;5.8]	5.75 [4.73;6.8]	7.2 [5.6;7.55]	6.6 [5.3;8.2]
	Общая толщина века ниже тарзальной пластинки / Total eyelid thickness lower tarsal plate	6.4 [5.5;7.6]	6.225 [4.5;7.05]	7.2 [6.93;7.65]	8.00 [6.63;8.5]	7.8 [6.1;9.3]



лению по возрасту подходили субъективно или на основании распространенности заболеваний [5, 7, 13–15]. Этот факт затрудняет дальнейший анализ данных и сравнение их между различными исследованиями, а также может приводить к сглаживанию межгрупповых различий. При разработке дизайна данного исследования мы следовали подходу, описанному в работе Р. Chandra и соавт. (2014), где пациенты распределялись на возрастные группы с интервалом 10 лет [7].

Попытки изучения отдельных структур век с помощью УЗИ предпринимались и ранее, однако в литературе чаще встречается описание век в азиатской популяции [9, 13, 14]. При этом известно, что анатомия ориентальных век значительно отличается от европеоидных [10]. Кроме того, измерению подвергались только некоторые структурные элементы и без учета возраста пациентов [6–9]. Так, например, Т.Н. Киселева и соавт. представили подробное качественное описание структур здоровых век пациентов в возрасте от 17 до 46 лет, включая измерение акустической плотности тканей. Однако в статье [6] представлены только обобщенные значения толщины кожи, круговой мышцы глаза и ТП с конъюнктивой верхнего и нижнего век по всей выборке. Только в единичных публикациях нам удалось обнаружить разделение исследуемой выборки на возрастные группы [5, 13]. Так, I. Okuda и соавт. (2012) измеряли толщину круговой мышцы глаза у корейцев с помощью реконструкции снимков компьютерной томографии. Полученная авторами общая ($n = 34$) толщина круговой мышцы глаза составила в среднем $2 \pm 0,57$ мм, при этом значение этого параметра оказалось значительно меньше ($p = 0,018$) у лиц 30–54 лет ($2,2 \pm 0,39$ мм), чем у пациентов 20–29 лет ($2,7 \pm 0,53$ мм) [13].

Заключение

В результате выполненного исследования с помощью УЗИ была измерена толщина всех структур верхних и нижних век у лиц европеоидной расы отдельно по каждой возрастной группе с шагом 10 лет. Значительные отличия толщины кожи нижнего века выявлены в группе 31–40 лет от значений в группах 41–50 лет ($p = 0,03$) и 51–60 лет ($p = 0,05$). В то же время между лицами в возрасте 21–30 лет и старше 60 лет значимых различий по этому параметру не наблюдалось. Кроме того, у лиц старше 60 лет конъюнктива верхнего века на уровне верхнего края ТП становилась значительно толще, чем у лиц более молодых возрастных групп. Отмечено, что большинство струк-

тур верхнего века (кожа, конъюнктива, ТП, комплекс конъюнктив–ТП, круговая мышца глаза и общая толщина века на уровне ТП) во всех возрастных группах намного тоньше ($p < 0,05$) соответствующих структур нижнего века.

Выявленные различия между возрастными группами углубляют наши представления о механизмах формирования возрастных деформаций век и могут служить ориентиром при диагностике и планировании хирургических вмешательств.

При проведении дальнейших исследований возрастных изменений век рекомендуется обоснованно подходить к разделению на группы по возрасту и придерживаться единообразия для обеспечения сравнимости результатов.

Дополнительная информация

Работа выполнена в Калужском филиале ФГАУ НМИЦ “МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова” Минздрава России, Калуга; ФГБУ НМИЦ “Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии” Минздрава России, Москва.

Additional information

The study was conducted at S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga branch (Kaluga) and Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery (Moscow).

Участие авторов

Гущина М.Б. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Надточий А.Г. – проведение исследования, написание текста.

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

Афанасьева Д.С. – статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста.

Authors' participation

Gushchina M.B. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Nadtochiy A.G. – conducting research, writing text.

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

Afanasyeva D.S. – statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, review of publications, writing text.



Список литературы [References]

1. Masiwa L.E., Moodley V. A review of corneal imaging methods for the early diagnosis of pre-clinical Keratoconus. *J. Optom.* 2020; 13 (4): 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2019.11.001>
2. Potop V., Coviltir V., Schmitzer S. et al. Ultrasound biomicroscopy in glaucoma assessment. *Rom. J. Ophthalmol.* 2021; 65 (2): 114–119. <https://doi.org/10.22336/rjo.2021.24>
3. Alexander J.L., Wei L., Palmer J. et al. A systematic review of ultrasound biomicroscopy use in pediatric ophthalmology. *Eye (Lond.)*. 2021; 35 (1): 265–276. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-01184-4>
4. Ochmann A., Winder M., Nalewajka-Kołodziejczak J., Chudek J. Current imaging methods for assessing Graves' orbitopathy activity with particular emphasis on FDG-PET. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2023; 14: 1138569. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1138569>
5. Demirci H., Nelson C.C. Ultrasound biomicroscopy of the upper eyelid structures in normal eyelids. *Ophthalmic. Plast. Reconstr. Surg.* 2007; 23 (2): 122–125. <https://doi.org/10.1097/IOP.0b013e31802f2074>
6. Киселева Т.Н., Катаев М.Г., Ильина Н.В., Захарова М.А., Рамазанова К.А. Метод ультразвукового сканирования в оценке состояния век. *Вестник офтальмологии*. 2014; 1: 46–51.
Kiseleva T.N., Kataev M.G., Il'ina N.V. et al. Ultrasonography in normal eyelids assessment. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2014; 130 (1): 46–51. (In Russian)
7. Chandra P., Sudhakar A., Jalali S. et al. Echographic study of extraocular muscle thickness in normal Indian population. *Saudi J. Ophthalmol.* 2014; 28 (4): 281–286. <https://doi.org/10.1016/j.sjopt.2014.05.003>
8. Surve A., Meel R., Pushker N., Bajaj M.S. Ultrasound biomicroscopy image patterns in normal upper eyelid and congenital ptosis in the Indian population. *Indian J. Ophthalmol.* 2018; 3: 383–388. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_915_17
9. Lee H.-S., Lew H., Yun Y.-S. Ultrasonographic Measurement of Upper Eyelid Thickness in Korean Children with Epicanthus. *Korean J. Ophthalmol.* 2006; 2: 79–81. <https://doi.org/10.3341/kjo.2006.20.2.79>
10. Качкинбаев И.К., Алыбаев М.Э., Нгуен Д.Б. Клинико-анатомическая классификация азиатских век по сагиттальному срезу и ее роль в выборе тактики оперативного вмешательства на верхнем веке. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2021; 4: 29–37. <https://doi.org/10.17116/plast.hirurgia202104129>
Kachkinbaev I.K., Alybaev M.E., Nguyen D.B. Clinical and anatomical classification of Asian eyelids by sagittal slice and its role in the choice of upper eyelid surgery. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2021; 4: 29–37. <https://doi.org/10.17116/plast.hirurgia202104129> (In Russian)
11. Mupas-Uy J., Kitaguchi Y., Takahashi Y., Kakizaki H. Age-related eyelid changes. *J. Cosmet. Med.* 2017; 1(1): 16–24.
12. Windhager S., Mitteroecker P., Rupić I. Facial aging trajectories: A common shape pattern in male and female faces is disrupted after menopause. *American journal of physical anthropology*. 2019; 4: 678–688. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23878>
13. Okuda I., Irimoto M., Nakajima Y. et al. Using multidetector row computed tomography to evaluate baggy eyelid. *Aesthetic Plast Surg.* 2012; 2: 290–294. <https://doi.org/10.1007/s00266-011-9829-2>
14. Cho W.K., Paik J.S., Han S.H., Yang S.W. Microscopic characteristics of lower eyelid retractors in Koreans. *Korean J. Ophthalmol.* 2011; 5: 344–348. <https://doi.org/10.3341/kjo.2011.25.5.344>
15. Geifman N., Cohen R., Rubin E. Redefining meaningful age groups in the context of disease. *Age (Dordr.)*. 2013; 6: 2357–2366. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9510-6>

Для корреспонденции*: Афанасьева Дарья Сергеевна – e-mail: ada-tomsk@yandex.ru

Гущина Марина Борисовна – канд. мед. наук, врач-офтальмолог Калужского филиала ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калуга. <https://orcid.org/0000-0003-1134-8064>

Надточий Андрей Геннадьевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевой диагностики ФГБУ НМИЦ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3268-0982>

Терещенко Александр Владимирович – доктор мед. наук, профессор, директор Калужского филиала ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калуга. <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Афанасьева Дарья Сергеевна – канд. мед. наук, врач-офтальмолог АО «Лечебно-диагностическое отделение клиники микрохирургии глаза «Окулист», Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0001-6950-6497>

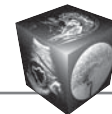
Contact*: Daria S. Afanasyeva – e-mail: ada-tomsk@yandex.ru

Marina B. Gushchina – Cand. of Sci. (Med.), ophthalmologist, Kaluga branch S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga. <https://orcid.org/0000-0003-1134-8064>

Andrey G. Nadtochiy – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Diagnostic Radiology Unit, Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3268-0982>

Alexander V. Tereshchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of Kaluga branch S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga. <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Daria S. Afanasyeva – Cand. of Sci. (Med.), ophthalmologist, Treatment and Diagnostics Department of Eye Microsurgery Clinic «Okulist», Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0001-6950-6497>



Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1396>

Удлинения сонных артерий (каротидная долихоартериопатия): некоторые особенности структуры и гемодинамики

© Головин Д.А.^{1*}, Бердалин А.Б.¹, Кудрявцев Ю.С.¹, Федосенко М.Б.¹,
Ростовцева Т.М.¹, Лелюк С.Э.², Лелюк В.Г.¹

¹ ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России; 117513 Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 10, Российская Федерация

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

Цель исследования: мультимодальное изучение состояния брахиоцефальных артерий (БЦА) с оценкой кровотока в экстра- и интракраниальных отделах артерий каротидного бассейна и перфузии мозгового вещества, а также структуры головного мозга у пациентов с разными типами удлинений сонных артерий (УСА).

Материал и методы. Проанализированы данные обследований 79 пациентов (45 мужчин (57,0%, средний возраст $61,0 \pm 10,1$ года) и 34 женщины (43,0%, средний возраст $65,3 \pm 13,6$ года), средний возраст $62,8 \pm 11,8$ года) в течение года после ишемического инсульта в вертебрально-базиллярной системе. Методом мультиспиральной компьютерно-томографической ангиографии (МСКТА) верифицировали УСА у 44 пациентов (55,7% общего числа случаев), группа контроля была подобрана по полу и возрасту с элементами “случай–контроль” и состояла из 35 (44,3%) пациентов без УСА. Всем проводили МСКТА аорты и БЦА и КТ-перфузионное исследование, магнитно-резонансную томографию (МРТ) головного мозга, дуплексное сканирование БЦА и транскраниальное дуплексное сканирование, трансторакальную эхокардиографию, транскраниальное доплеровское мониторирование с микроэмболодетекцией.

Результаты. Зафиксирован ряд межгрупповых отличий, которые можно разделить на структурные и функциональные. К первым относятся: более высокое расположение дуги аорты у пациентов с УСА: $Th_{II} - 6,3\%$ против 0% , $Th_{III} - 43\%$ против 0% ; $Th_{IV} - 28,1\%$ против $62,9\%^*$ и $Th_V - 21,9\%$ против $37,1\%$ ($p < 0,0005$); меньшие значения высоты шейного отдела позвоночника ($114,70 \pm 11,03$ мм против $120,46 \pm 9,75$ мм, $p = 0,022$), большую абсолютную длину внутренней сонной артерии (ВСА) (справа – $101,32 \pm 14,59$ мм против $85,06 \pm 12,07$ мм, $p < 0,0005$; слева – $100,00 \pm 14,03$ мм против $84,66 \pm 12,63$ мм, $p < 0,0005$). Наличие УСА ассоциировалось ($p < 0,05$) с большей частотой деформаций позвоночных артерий. Выраженность проявлений болезни малых сосудов при МРТ у лиц с УСА была незначительно выше (на уровне тенденции, $p = 0,076$). Функциональные отличия заключались в регистрации более низких ($p = 0,019$) значений конечной диастолической скорости кровотока (V_{ed}) в М1 средних мозговых артерий. Значения некоторых показателей перфузии в бассейне кровоснабжения деформированных артерий были ниже, чем у лиц без УСА. Случаев регистрации микроэмболических сигналов у обследованных нами пациентов с УСА выявлено не было.

Заключение. У обследованных нами лиц с УСА определялся комплекс анатомо-гемодинамических особенностей, которые как по отдельным характеристикам, так и по совокупности не могут приводить к снижению уровня кровотока или быть источником артерио-артериальной эмболии в каротидном бассейне вне зависимости от конфигурации ВСА.

Ключевые слова: долихоартериопатия; удлинения сонных артерий; извитость; патологические деформации; ишемический инсульт; кровоснабжение головного мозга

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Головин Д.А., Бердалин А.Б., Кудрявцев Ю.С., Федосенко М.Б., Ростовцева Т.М., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Удлинения сонных артерий (каротидная долихоартериопатия): некоторые особенности структуры и гемодинамики. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 33–46. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1396>

Поступила в редакцию: 11.08.2023. **Принята к печати:** 08.02.2024. **Опубликована online:** 15.05.2024.



Carotid artery elongation (carotid dolichoarteriopathy): some features of the structure and hemodynamics

© Denis A. Golovin^{1*}, Alexander B. Berdalin¹, Yuri S. Kudryavtsev¹, Marina B. Fedosenko¹, Tatyana M. Rostovtseva¹, Svetlana E. Lelyuk², Vladimir G. Lelyuk¹

¹ Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency (FMBA of Russia); 1-10, Ostrovityanova str., Moscow 117513, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

The purpose of the study. Multimodal study of the state of the brachiocephalic arteries, with assessment of blood flow in the extra- and intracranial portions of the carotid arteries and brain perfusion, as well as the structure of the brain in patients with different types of elongation of the carotid arteries (ECA).

Material and methods. The data of examinations of 79 patients (45 men (57.0%, average age – 61.0 ± 10.1 years) and 34 women (43.0%, 65.3 ± 13.6 years), average age 62.8 ± 11.8 years) during the year after ischemic stroke in posterior circulation were analyzed. ECA was verified by multispiral computed tomographic angiography (msCTA) in 44 patients (55.7% of the total number of cases), the control group was selected by gender and age with “case-control” elements and consisted of 35 (44.3%) patients without a mustache. All underwent msCTA of the thoracic aorta and BCA and CT perfusion examination, magnetic resonance imaging of the brain, duplex scanning of BCA and transcranial duplex scanning, transthoracic echocardiography, transcranial Doppler monitoring with microembolodetection.

Results. We have registered intergroup differences, which can be divided into structural and functional. The former include: higher aortic arch location in patients with DCA: $Th_{II} - 6.3\%$ vs. 0% , $Th_{III} - 43\%$ vs. 0% ; $Th_{IV} - 28.1\%$ vs. 62.9% * and $Th_V - 21.9\%$ vs. 37.1% ($p < 0.0005$); lower values of cervical spine height (114.70 ± 11.03 mm, vs. 120.46 ± 9.75 mm, $p = 0.022$), greater absolute length of the ICA (on the right – 101.32 ± 14.59 mm vs. 85.06 ± 12.07 mm, $p < 0.0005$; on the left – 100.00 ± 14.03 mm vs. 84.66 ± 12.63 mm, $p < 0.0005$). The presence of ECA was associated ($p < 0.05$) with a higher frequency of vertebral artery elongation. The severity of small vessel disease during MRI in individuals with ECA was slightly higher (not at the trend level, $p = 0.076$). Functional differences consisted in the registration of lower ($p = 0.019$) values of the end diastolic velocity in M1 of the middle cerebral arteries. The values of some perfusion indices in the blood supply of elongation arteries were lower than in persons without ECA. There were no cases of registration of microembolic signals in the ECA patients examined by us.

Conclusion. In the individuals with ECA we examined, a complex of anatomical and hemodynamic features was determined, which, both individually and collectively, cannot lead to a decrease in the level of blood flow or be a source of arterio-arterial embolism in the carotid system, regardless of the configuration of the ICA.

Keywords: dolichoarteriopathy; carotid arteries elongation; tortuosity; pathological deformity; ischemic stroke; cerebral blood supply

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

For citation: Golovin D.A., Berdalin A.B., Kudryavtsev Y.S., Fedosenko M.B., Rostovtseva T.M., Lelyuk S.E., Lelyuk V.G. Carotid artery elongation (carotid dolichoarteriopathy): some features of the structure and hemodynamics. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 33–46. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1396>

Received: 11.08.2023.

Accepted for publication: 08.02.2024.

Published online: 15.05.2024.

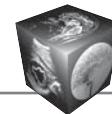
Введение

Удлинения сонных артерий (УСА) обычно обсуждаются в связи с гипотетической возможностью их влияния на развитие церебральных сосудистых поражений, в том числе острой фокальной церебральной ишемии, хронических нарушений кровоснабжения, структурных изменений белого вещества головного мозга.

Существует несколько предположений, отражающих потенциальный патогенетический эффект УСА:

– эмбологенный эффект УСА вследствие возможного разрушения форменных элементов крови и формирования тромбов в турбулентных потоках [1], а также артерио-артериальная тромбоэмболия из мест микронадрывов интимы несостоятельной артериальной стенки в области УСА [2];

– гемодинамический эффект, объясняемый влиянием изменений кровотока, наблюдаемых в деформированных участках, на дистальную церебральную гемодинамику за счет ограничения потока крови [3];



– сочетанные эффекты, заключающиеся в хроническом снижении уровня мозгового кровотока и артерио-артериальной тромбоэмболии из деформированного участка артерии.

В противоположность перечисленному, существует устоявшееся мнение об отсутствии какого-либо влияния УСА на мозговой кровоток, за исключением редких ситуаций со стенозирующими состояниями, которое наравне с вышеуказанными имеет определенную доказательную базу и в связи с отсутствием популяционных подтверждений значимости УСА абсолютно превалирует.

В качестве традиционных способов подтверждения или опровержения той или иной точки зрения, касающейся влияния УСА на церебральный кровоток, исследователи, как правило, используют какой-либо один метод оценки церебрального сосудистого статуса.

По вопросам, касающимся теорий происхождения УСА, также не выработано единой позиции. Часть авторов объясняют их развитие генетически детерминированными особенностями артериальной стенки (различные дефекты эластичного каркаса), часть – онтогенетическими аспектами (формирование и редукция жаберного аппарата), некоторые связывают УСА с дегенеративными изменениями артериальной стенки при атеросклерозе и артериальной гипертензии, изолированно или в сочетании с дегенеративными изменениями позвоночного столба [4]. В ряде опубликованных работ отмечается сочетание этих причин. Констатируется также и возможная взаимосвязь с более редкими явлениями, в частности, в качестве отдельного патогенетического фактора травматического влияния на стенки деформированной внутренней сонной артерии (ВСА) признается турбулентный поток крови с нарушенной реологией у детей с серповидно-клеточной анемией (СКА) [5]. При этом авторы предполагают, что СКА может усугублять УСА вследствие травматизации стенок с несостоятельным упругоэластическим каркасом. Такое же мнение высказывалось ранее группой авторов [6], также изучавших геометрические особенности экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий (БЦА) у лиц с СКА.

Таким образом, вопросы о происхождении УСА, а также их влиянии на церебральный кровоток и способность играть роль в патогенезе нарушений мозгового кровообращения остаются открытыми.

Цель настоящего исследования: изучение значимости УСА посредством мультимодального исследования структурных особенностей БЦА, а также кровотока в них, состояния белого вещества головного мозга, особенностей его перфузии

у перенесших ишемический инсульт (ИИ) в вертебрально-базиллярной системе (ВБС), имеющих УСА. В качестве дополнительной задачи исследования было скелетотопическое определение положения сердца и дуги аорты у лиц с УСА и без таковых.

Материал и методы

Одномоментное поперечное мультимодальное исследование проведено у 79 пациентов с перенесенным ИИ в вертебрально-базиллярном бассейне в срок не позднее одного года до обследования. Все лица, включенные в исследование, проходили курс лечения в отделениях нейрореабилитации ФГБУ ФЦМН ФМБА России. У всех включенных в исследование имелись данные мультиспиральной компьютерно-томографической ангиографии (МСКТА) БЦА и КТ-перфузионного исследования головного мозга. У 44 пациентов (55,7% общего числа случаев) методом МСКТА верифицировали УСА, контрольную группу составили 35 (44,3%) пациентов без УСА со сходными клиническими и антропометрическими характеристиками. Степень выраженности неврологического дефицита во всех случаях составляла до 3 баллов по модифицированной шкале Ренкин. Средний возраст пациентов составил $62,8 \pm 11,8$ года; пол: структура выборки – 45 мужчин (57,0%, средний возраст $61,0 \pm 10,1$ года) и 34 женщины (43,0%, средний возраст $65,3 \pm 13,6$ года).

Во всех случаях учитывались основные демографические и анамнестические показатели: пол, возраст, рост и масса тела, индекс массы тела, патогенетический вариант инсульта, курение, употребление алкоголя, наличие сопутствующих заболеваний, а также результаты мультимодального инструментального исследования состояния аорты и БЦА, сердца, уровня церебральной перфузии и структурных особенностей головного мозга.

Дуплексное сканирование БЦА и ультразвуковое исследование сердца проводили на сканере Philips Epiq 7G (Philips, США). Для оценки состояния экстракраниальных порций БЦА использовали датчики линейного формата с частотой 3–12 МГц, для транскраниального дуплексного сканирования, а также трансторакальной эхокардиографии (ЭхоКГ) применяли секторный матричный датчик с частотой 1–5 МГц. Оценивали структуру сосудистой стенки, наличие и степень выраженности признаков атеросклеротических изменений, других внутривенных и (или) внутрипросветных образований, геометрию хода артерий; в спектральном доплеровском режиме с коррекцией доплеровского угла измеряли линейные скорости кровотока (пиковую систолическую, конечную

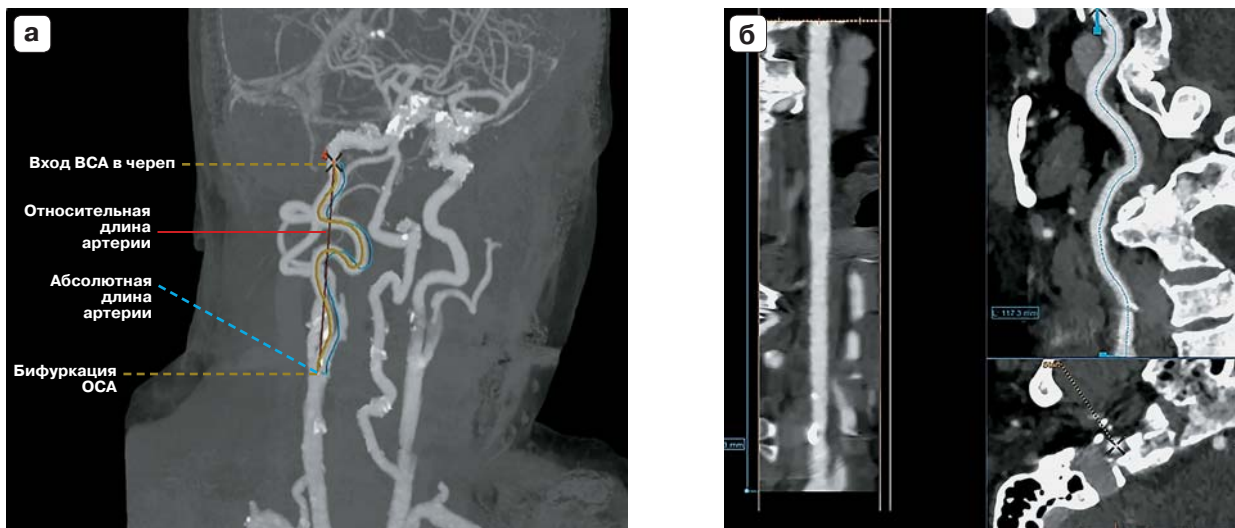


Рис. 1. Расчет индекса извитости. **а** – полуавтоматическое измерение длины ВСА и расстояния от бифуркации ОСА до входа ее в череп; **б** – реконструкция ВСА в плоскости и определение длины.

Fig. 1. Calculation of the tortuosity index. **a** – semi-automatic measurement of the length of the ICA and the distance from the bifurcation of the CCA to its entrance into the skull; **b** – reconstruction of the ICA in the plane and measurement of length.

диастолическую, усредненную по времени максимальную скорость кровотока) в экстракраниальных отделах БЦА и в артериях основания головного мозга. Прицельно, также с коррекцией угла (насколько это было возможно) измеряли скоростные параметры в проекции деформированных сегментов. При ЭхоКГ исследовали и учитывали состояние стенок, камер и клапанов сердца, видимых фрагментов аорты; характеристики внутрисердечных и трансклапанных потоков.

Для определения эмбологенности УСА осуществляли транскраниальное доплеровское мониторирование потока в М1-сегментах обеих средних мозговых артерий (СМА) через транстемпоральный доступ в режиме микроэмболодетекции. Длительность мониторирования во всех случаях была не менее 45 мин с использованием двухчастотных многоглубинных датчиков на сканере Ангиодин Универсал (АО «НПФ БИОСС», Россия), использовался программный пакет Biointa Cabinet (Biosoft-M, Россия). Записи доплеровских спектров кровотока после полуавтоматической обработки анализировались вручную.

MPT осуществляли на томографе Discovery 780 (GE, США) с индукцией магнитного поля 3 Тл, применяли нейроваскулярную катушку. Протокол MPT головного мозга включал T1- и T2-взвешенные изображения, импульсные последовательности FLAIR (с изотропным вокселем, толщиной среза 1 мм), изображения, взвешенные по магнитной восприимчивости (SWAN). С помощью MPT оценивали характеристики очагов инфаркта мозга (лока-

лизация, размеры, давность, признаки пропитывания), наличие и выраженность других очаговых образований, для ранжирования выраженности очагов глиоза сосудистого генеза в белом веществе мозга использовали шкалу Fazekas [7].

МСКТА и КТ-перфузия БЦА выполнялась на 128-срезовом компьютерном томографе Optima (GE, США) с внутривенным контрастированием препаратом ультравист (йопромид, Bayer AG, Германия) 370 мг йода/мл, 1 мг/кг массы тела. По результатам КТ-АГ с помощью программы полуавтоматического анализа пакета GE AWS 3.2 (GE, США) рассчитывали абсолютную длину ВСА с учетом ее пространственной конфигурации, расстояние от бифуркации общей сонной артерии (ОСА) до входа ВСА в череп (рис. 1а, б), рассчитывали индекс извитости ($I_{изв.}$) по формуле (1), согласно методике, приведенной S.A.Morris и соавт. [8].

$$I_{изв.} = \left(\frac{\text{Абсолютная длина ВСА, мм}}{\text{Расстояние от бифуркации до входа в череп, мм}} - 1 \right) \times 100.$$

Согласно дизайну нашего исследования, осуществлялась оценка скелетотопии дуги аорты относительно грудных позвонков, изучались длина шейного отдела позвоночника, уровень расположения бифуркации ОСА, длина различных участков ВСА (см. рис. 1). Помимо означенного, учитывались наличие и степень выраженности атеросклеротического поражения артерий на интракраниальном уровне.

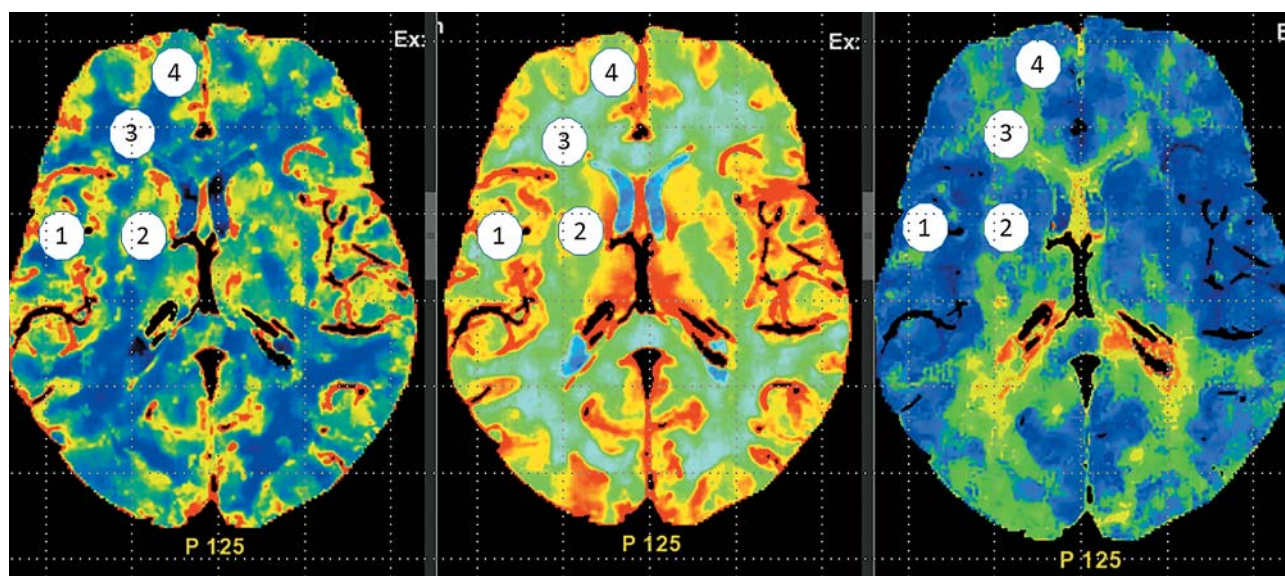
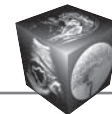


Рис. 2. Зонирование бассейна ВСА для оценки показателей перфузии.

Fig. 2. Zones of evaluation of anterior circulation perfusion indicators.

Определение показателей перфузии вещества головного мозга проводили на уровне боковых желудочков, головки хвостатого ядра и скорлупы в бассейне кровоснабжения СМА в подкорковых отделах (зона 1), бассейне лентикулостриарных артерий (зона 2), зоне смежного кровообращения (зона 3) и бассейне передней мозговой артерии (ПМА) (зона 4) (рис. 2).

Оценивали показатели удельного мозгового кровотока CBF (cerebral blood flow, мл/100 г вещества в минуту); объемной скорости мозгового кровотока (cerebral blood volume, мл/мин) и время достижения максимальной концентрации контрастного агента (T_{max}).

Все анализированные данные были формализованы и преобразованы в электронные таблицы.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием программных пакетов SPSS Statistics версии 26.0 (IBM, США) и R software версии 4.0.2. (R Core Team, Австрия). Нулевую гипотезу отвергали при уровне значимости $p \leq 0,05$. Для описания количественных переменных применяли среднее арифметическое и стандартное отклонение или медиану и квартили (в случае несоответствия распределения нормальному), для качественных – частоту и долю (в процентах). Соответствие распределения количественных переменных нормальному проверяли с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. Для сравнения частот качественных зависимых переменных между категориями независимых (группирующих) переменных применяли

критерий χ^2 Пирсона или точный критерий Фишера. Взаимосвязь между количественными и порядковыми переменными оценивали при помощи корреляционного анализа по Пирсону. Для количественных зависимых переменных сравнения осуществлялись при помощи критерия Манна–Уитни. При множественных сравнениях использовали поправку Бонферрони.

Результаты

Основные сведения о включенных в исследование пациентах представлены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, по основным характеристикам группа пациентов с УСА и контрольная группа не имели значимых отличий друг от друга.

Результаты оценки выраженности изменений, характерных для болезни малых сосудов в белом веществе полушарий головного мозга, методом MPT (оценка в баллах по шкале Fazekas) приведены в табл. 2.

Вид УСА в всех случаях оценивали по результатам МСКТА, уменьшая операторозависимые ошибки, неизбежно возникающие при двухмерной серошальной эхографии. Распределение УСА по видам, согласно классификации J. Weibel и W.S. Fields [9], а также результаты полуавтоматической морфометрии с расчетом $I_{изв.}$ приведены в табл. 3.

$I_{изв.}$ оказался значимо больше при петлеобразовании вследствие большей абсолютной длины артерии, наименьшим этот показатель был при извитости ВСА.



Таблица 1. Характеристика групп сравнения

Table 1. Characteristics of groups

Показатели Indicators	Группа с УСА ECA	Контрольная группа No ESA (control)	p (значимость различий между группами) (statistical significance of differences)
Женщины / Female	22 (49%)	12 (34%)	0.251
Мужчины / Male	22 (51%)	23 (66%)	
Возраст, годы / Age, years	60.9 ± 12.1 (27–79)	65.1 ± 11.1 (31–83)	0.116
Наличие АГ / Arterial hypertension	40 (93%)	32 (91.4%)	1.000
Наличие сахарного диабета / Diabetes melitus	5 (11.6%)	11 (31.4%)	0.061
ИМТ / Body-mass index	28.46 ± 4.35	27.58 ± 4.63	0.429

Таблица 2. Частота изменений в белом веществе мозга различной степени выраженности в группах сравнения в баллах по шкале Fazekas [7]

Table 2. Frequency of white matter lesion (small vessel disease) of the brain in comparison groups on the Fazekas scale

	УСА / ECA				Без УСА / No ESA (control)			
Локализация Localisation	0	1	2	3	0	1	2	3
Глубокое белое вещество Deep white matter	8 (26.7%)	11 (36.7%)	7 (23.3%)	4* (13.3%)	3 (8.8%)	21 (61.8%)	9 (26.5%)	1* (2.9%)
Перивентрикулярное белое вещество Periventricular white matter	11 (36.7%)	10 (33.3%)	5 (16.7%)	4* (13.3%)	9 (26.5%)	19 (55.9%)	6 (17.6%)	0*

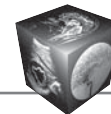
* – различия на уровне тенденции (p = 0,076).

* – differences at the trend level (p = 0.076).

Таблица 3. Значения $I_{изв.}$ при различных формах УСА

Table 3. TI values for different ECA configurations

Сторона Side	Вид УСА / ECA configurations					
	извитость / tortuosity		петлеобразование / coiling		перегиб / kinking	
	абс. (%) Percentage of the group (%)	$I_{изв.}$ Медиана [мин.–макс.] TI Median [min–max]	абс. (%) Percentage of the group (%)	$I_{изв.}$ Медиана [мин.–макс.] TI Median [min–max]	абс. (%) Percentage of the group (%)	$I_{изв.}$ Медиана [мин.–макс.] TI Median [min–max]
Правая ВСА Right ICA (n = 30)	21 (70%)	33 [21–57]	5 (16.7%)	54 [39–75]	4 (13.3%)	40 [20–84]
Левая ВСА Left ICA (n = 27)	15 (30.9%)	36.5 [23–45]	4 (14.8%)	71.5 [47.5–81]	8 (29.6%)	58 [37–60]

**Таблица 4.** Распространенность и выраженность атеросклероза в группе с УСА**Table 4.** Prevalence and severity of ICA atherosclerosis in the group with ECA

Степень стеноза ВСА, % (методика ECST) Stenosis grade, % (ECST)	Правая ВСА Right ICA (n = 11)	Левая ВСА Left ICA (n = 13)
	абс. частота (%) / percentage of the group (%)	
20–25	4 (36.4)	7 (53.4)
30–35	5 (45.5)	3 (23.1)
40–50	2 (18.2)	3 (23.1)

Таблица 5. Характеристики кровотока в ВСА, СМА и ПМА у пациентов групп сравнения**Table 5.** Characteristics of blood flow in ICA, MCA and ACA in patients of comparison groups

Сторона ВСА Side of ICA	Нет УСА No ESA (control)		Вид УСА ECA configurations					
			извитость		петлеобразование		перегиб	
	правая right	левая left	правая right	левая left	правая right	левая left	правая right	левая left
V_{ps} в деформированном сегменте ВСА, см/с, медиана [мин.–макс.] V_{ps} in elongation segment ICA, cm/s, median [min–max]	–	–	89 [62–117]	90 [74–106]	75 [61–78]	111 [96–182]	71 [54–127]	96 [73.5–125]
V_{ps} перед входом в череп, см/с ВСА, Медиана [мин.–макс.] V_{ps} distal cervical segm, cm/s, median [min–max]	68 [60–80]	67 [58–78]	80 [64.5–93]	69 [60–89]	84 [76–85]	82.5 [76.5–88]	67.5 [51–81]	73 [62.5–83]
V_{ed} перед входом в череп, см/с ВМА, медиана [мин.–макс.] V_{ed} distal cervical segm, cm/s, median [min–max]	25 [19–30]	25.5 [21–32]	19.5 [18.5–28.5]	26 [20–29]	22 [21–23]	25 [20.5–27.5]	23 [15–26]	20.5 [13.5–25.5]
V_{ps} в М1 СМА, см/с, медиана [мин.–макс.] V_{ps} М1 МСА, см/с, median [min–max]	97 [84–123]	87 [78–108]	85 [79–123]	82 [74–96]	83 [76–118]	102 [90–145]	81 [66–94.5]	90.5 [66–135]
V_{ed} в М1 СМА, см/с, медиана [мин.–макс.] V_{ed} М1 МСА, см/с, median [min–max]	43 [34–60]	39 [30.1–53]	33 [28–40]	33 [29–35]	35 [32–48]	36 [30–69]	31.5 [24.6–36.5]	32.5 [24–46]
V_{ps} в А1 ПМА, см/с, медиана [мин.–макс.] V_{ps} А1 АСА, см/с, median [min–max]	79 [68.5–106]	71 [63–90]	76 [58–84]	73 [63.5–94.5]	76 [58–84]	72.5 [70–75]	62.5 [62–63]	72.5 [66–76]
V_{ed} в А1 ПМА см/с, медиана [мин.–макс.] V_{ed} А1 АСА, см/с, median [min–max]	36 [26–44.5]	31 [28–39]	28 [26–38]	30 [23.5–34.5]	28 [26–38]	27 [25–29]	24 [23–25]	32.5 [25–40]

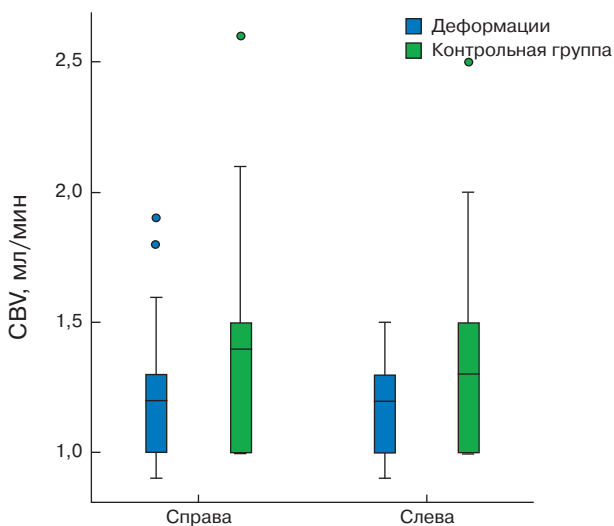


Рис. 3. CBV в зоне 3 (зона смежного кровообращения) справа и слева у пациентов групп сравнения. * – различия статистически значимы в обоих случаях ($p < 0,05$).

Fig. 3. CBV in zone 3 (border zone) on the right and left in patients of comparison groups. * – the differences are statistically significant in both cases ($p < 0.05$).

В 19 (43,2%) случаях из 30 отмечались двусторонние УСА, среди которых преобладали извитости у 11 человек (25,6% от всех с УСА и 52,4% от всех с двусторонними УСА), остальные типы удлинений, а также их сочетания были единичными.

В группе пациентов с УСА оценивали наличие и степень выраженности атеросклеротических изменений ВСА, преобладали стенозы малых градаций (табл. 4).

Данные спектрального доплеровского режима, отражающие состояние гемодинамики в деформированных участках, а также передних и задних мозговых артериях, полученные в результате проведения дуплексного сканирования, приводятся в табл. 5.

При сравнительном анализе мы не выявили достоверных отличий между значениями V_{ps} и V_{ed} в артериях каротидного бассейна на экстра- и интракраниальном уровнях между подгруппами, ранжированными по виду УСА (см. табл. 5). Однако при сравнении значений V_{ed} потока в правой М1 между группами сравнения оказалось, что у пациентов без УСА получены статистически значимые различия ($p = 0,019$). В целом параметры кровотока не отличались от таковых, полученных в подобных исследованиях [10].

При исследовании перфузии вещества головного мозга методом КТ было подтверждено за-

Таблица 6. Уровень нижней границы дуги аорты у пациентов групп сравнения

Table 6. The level of the lower border of the aortic arch in patients of the comparison groups

Группа сравнения Group	Уровень Aortic arch level			
	Th _{II} , %	Th _{III} , %	Th _{IV} , %	Th _V , %
УСА / ECA	6.3*	43.8*	28.1*	21.9*
Без УСА No ESA (control)	0	0	62.9	37.1

* – $p < 0.0005$.

фиксированное и описанное нами ранее [11] снижение показателя CBV в зоне 3 как справа, так и слева ($1,214 \pm 0,239$ в группе с УСА против $1,4 \pm 0,433$ в группе без УСА справа, $p = 0,026$ и $1,187 \pm 0,184$ против $1,426 \pm 0,560$ слева, $p = 0,021$ соответственно), что соответствовало зоне смежного кровообращения (рис. 3) [11].

Состояние стенок, камер и клапанов сердца, видимых фрагментов аорты, гемодинамические характеристики внутриполостных и трансклапанных потоков, оцененные методом трансторакальной ЭхоКГ, не продемонстрировали значимых межгрупповых различий.

Отдельной задачей исследования было изучение расположения ряда сосудов – дуги аорты, бифуркации ОСА – относительно позвоночного столба, при МСКТА. Результаты скелетотопического анализа дуги аорты представлены в табл. 6.

Оказалось, что у пациентов с УСА нижняя граница дуги аорты находилась достоверно выше, чем у пациентов с отсутствием УСА.

Сравнение результатов измерения длин шейного отдела позвоночника и обеих ВСА также продемонстрировало, что у лиц с УСА высота шейного отдела позвоночника и расстояние от бифуркации ОСА до входа ВСА в череп была меньше, а абсолютная длина ВСА была больше, чем в контрольной группе (рис. 4).

При МСКТА у пациентов без УСА, кроме вышеописанных анатомических особенностей аорты и БЦА, была зафиксирована более высокая частота стенозов интракраниальных отделов ВСА – $p = 0,006$ справа и $p = 0,008$ слева (рис. 5).

Различия в частоте встречаемости стенозирующего атеросклероза интракраниальных порций ВСА между группами сравнения оказались статистически значимы (для правой ВСА $p = 0,006$, для левой – $p = 0,008$) за счет преобладания подобных поражений у лиц, включенных в группу контроля.

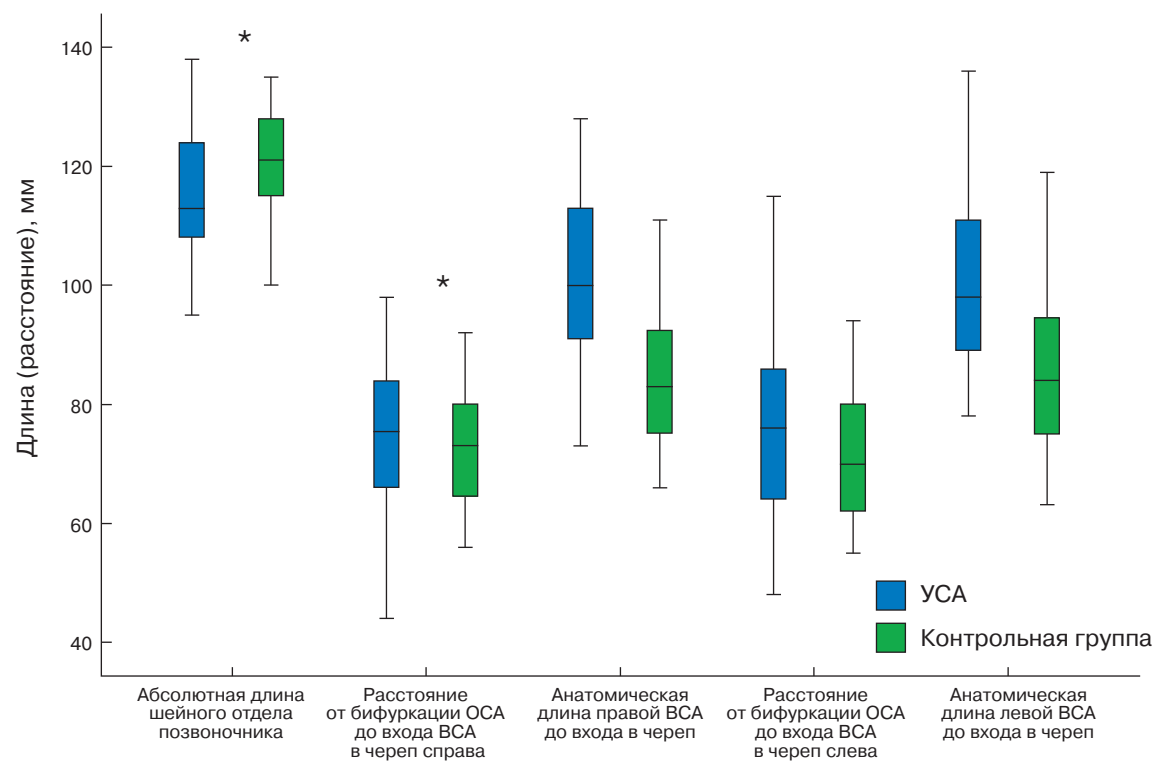


Рис. 4. Анатомические особенности шейного отдела позвоночника и ВСА у пациентов с УСА и без таковых. * – различия статистически значимы в обоих случаях ($p < 0,0005$)

Fig. 4. Anatomical features of the cervical spine and ICA in patients with and without ECA. * – the differences are statistically significant in both cases ($p < 0.0005$).

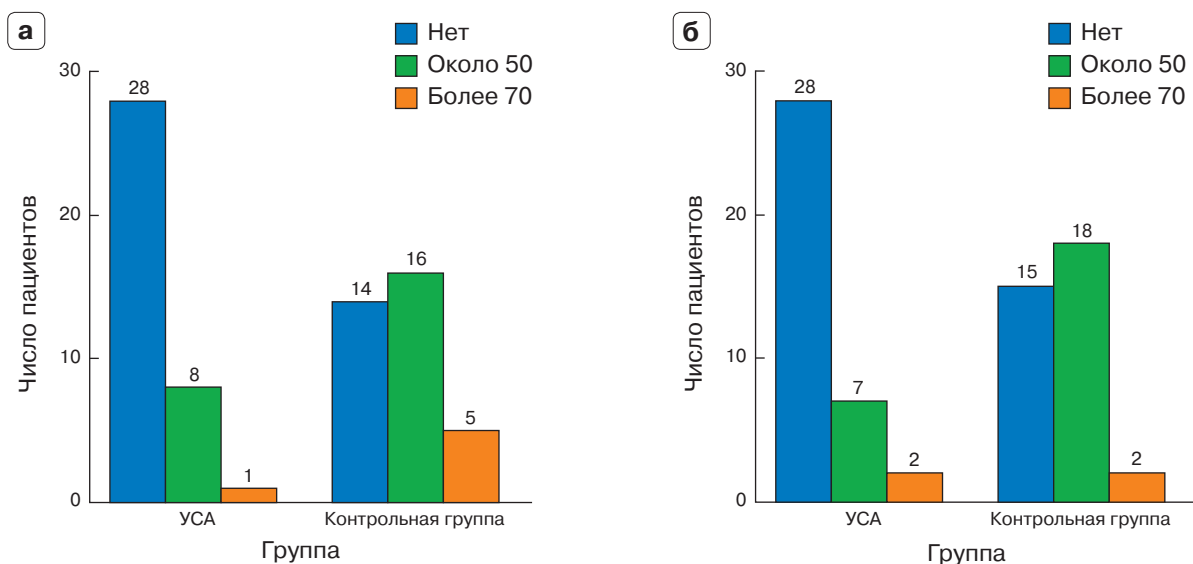


Рис. 5. Частота стенозов интракраниальных отделов ВСА у пациентов с деформациями и без таковых.

Fig. 5. Frequency of intracranial ICA stenosis in patients with and without ECA.

**Таблица 7.** Частота и локализация деформаций других БЦА у лиц с УСА (по данным МСКТА)**Table 7.** Occurrence and localization of ECA of other BCAs in (according to CT data)

Локализация / ВСА	Сторона / Side	
	правая right	левая left
Плечеголовной ствол Brachiocephalic trunk	6 (14%)	
Подключичная артерия Subclavian artery	17 (39.5%)	–
Общая сонная артерия Common carotid artery	15 (34.9%)	13 (30.2%)
V1-сегмент позвоночной артерии* V1 Vertebral artery*	18 (41.9%)	11 (25.6%)
V2-сегмент позвоночной артерии* V2 Vertebral artery*	22 (51.2%)	26 (60.5%)

* – $p < 0.005$.

При МСКТА у пациентов с УСА оценивали наличие деформаций других БЦА, результаты представлены в табл. 7.

Обсуждение

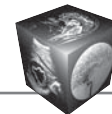
Для решения поставленных задач нами была сформирована выборка сведений из обширной базы проспективно обследованных пациентов, перенесших ИИ давностью до года. Подобраны две группы, сходные по гендерно-возрастному составу, перенесшие ИИ в ВБС и ранжированные по признаку наличия или отсутствия УСА.

Набор методов исследования, результаты которых были использованы в данной работе, применялись с целью уточнения (установления) патогенетического варианта ИИ и персонификации вторичной профилактики у перенесших ИИ лиц, а не для изучения эффектов УСА, что по экономическим и этическим соображениям затруднительно или невозможно осуществить в асимптомной популяции. Результаты МСКТА позволили верифицировать наличие и вид УСА, данные МРТ – исключить инфаркты и другие объемные образования в каротидном бассейне (что могло бы накладывать методологические и интерпретационные ограничения анализа скоростных показателей интракраниального кровотока, а также перфузионных показателей вследствие меж- и внутриполушарных перераспределений крови, функционирования анастомозов и т.д.). Теми же соображениями мотивировался выбор лиц с ИИ в ВБС, который во многом нивелировал означенные неопределенности, но полностью их не исключал.

По данным МРТ при изучении структурных изменений вещества полушарий головного мозга не было выявлено значимых различий выраженности изменений белого вещества головного мозга (так называемые болезни малых сосудов), оцененных по шкале Fazekas, однако имелась некоторая тенденция к большей их выраженности у пациентов с УСА (см. табл. 2). Например, выраженность изменений перивентрикулярного белого вещества, оцененная в 3 балла, не встречалась в контрольной группе, но имела место в 13,3% случаев (4 пациента) в группе с УСА; $p = 0,076$. Наши результаты отличаются от таковых в ранее опубликованном исследовании К. Shang и соавт. [12], Л. Yin и соавт. [13], J. Liu и соавт. [14] и К. Yu и соавт. [15], что ставит под сомнение однозначные выводы исследователей и требует уточнения взаимосвязи изменений белого вещества и УСА. Однако можно предположить, что отличия наших результатов от приведенных в указанных работах могут быть отчасти связаны и с расовыми различиями, хотя подтверждающих подобное противоречие фактов ранее не публиковалось.

В данной работе мы проводили расширенное ультразвуковое дуплексное исследование с оценкой гемодинамических параметров во всех отделах БЦА на экстра- и интракраниальном уровнях (см. табл. 5), что позволило нам зарегистрировать более низкие значения конечных диастолических скоростей в М1 СМА у лиц с УСА (справа – 33 [28–40] против 43 [34–60]; $p = 0,019$), при этом снижение скорости совпадало в случае односторонних деформаций со стороной локализации удлинения ($p = 0,011$), то есть могло быть связано с ним. В то же время по абсолютным величинам снижение было незначительным. Изменяющийся уровень диастолической скорости при постоянной систолической косвенно отражает изменение тонуса резистивного русла (в основном артериол и мелких артерий). Снижение ее может отражать повышение уровня дистального сопротивления из-за сужения резистивного русла. Последнее не соответствует ни одному из имеющихся представлений, согласно которым УСА ограничивают приток крови и таким образом могут задействовать противоположный механизм компенсации – дилататорный. Поэтому наиболее вероятно, что выявленный феномен является случайным и характерен для конкретной группы лиц и связан с другими причинами.

Изменения структуры артериальной стенки при серошальной эхографии высокого разрешения заключались в наличии атеросклеротических изменений умеренной выраженности у ряда пациентов (см. табл. 4). При этом не было выявлено таких



патологических состояний, как диссекции. Таким образом, не подтвердилось мнение, высказываемое рядом исследователей, заключающееся в том, что высокоскоростной турбулентный поток может являться потенциальной причиной повреждения выстилки артериальной стенки и источником артерио-артериальной церебральной эмболии [2], эпизодов которой при мониторинговании церебрального кровотока нами также зарегистрировано не было.

Имеющиеся многочисленные публикации, посвященные исследованию гемодинамики у пациентов с деформированными сонными артериями, ограничены, как правило, фиксацией локального повышения пиковой систолической скорости потока в месте деформации, при этом часть исследователей указывают на снижение линейных скоростей кровотока дистальнее. Имеются единичные работы, демонстрирующие другой подход. Так, L. Wang и соавт. опубликовали результаты измерения внутрипросветного давления интраартериальными датчиками, зафиксировавшими его снижение [3]. Нам не удалось получить никаких статистически значимых взаимосвязей между степенью выраженности локальных гемодинамических изменений в просвете деформированного участка ВСА и скоростями кровотока дистальнее – в просвете ВСА перед входом в полость черепа, ПМА и СМА вне зависимости от вида удлинения (см. табл. 5).

Исследование перфузии вещества полушарий мозга методом КТ воспроизвело уже описанный нами ранее [11] результат – феномен относительного снижения, в рамках нормальных величин, перфузии (в нашем случае – только CBV в зоне смежного кровообращения). При этом мы пришли к заключению, что это явилось следствием особенностей построения перфузионных карт при КТ, где за нулевую (стартовую) отметку времени при автоматической обработке принимаются значения перфузии той зоны интереса (полушария), в которой изменения интенсивности КТ-сигнала наступили раньше [16]. Выравнивание показателей перфузии в аналогичной области другого полушария наблюдается позже. В данном случае возможно сочетание факторов в виде действительного снижения скорости потока крови одновременно с увеличением длины деформированной артерии с большими значениями $I_{изв.}$ (см. табл. 3, рис. 4), что привело к более позднему (но не меньшему по объему) поступлению контрастного агента с присвоением сниженных значений оцениваемых показателей перфузии. В нашей выборке у 19 (43,2%) пациентов отмечали двусторонние УСА, но у 11 из них были извитости, при которых

удлинение артерий ($I_{изв.}$) было минимальным, а само снижение CBV оказалось незначительным с обеих сторон.

Кроме удлинения ВСА по данным МСКТА, мы зафиксировали более высокое стояние дуги аорты у лиц с УСА (см. табл. 6), что соответствует опубликованным данным, согласно которым изменения геометрических характеристик дуги аорты чаще всего наблюдали с возрастом. Так, N. d'Ostrevy и соавт., [17] с использованием КТ изучали зависимость геометрии дуги аорты (с акцентом на угол ее кривизны) и возраста с попыткой выделения факторов, оказывающих наибольшее влияние на эти характеристики. Авторам удалось показать прямую зависимость изучаемых параметров от возраста, а также гендерные различия: у мужчин аорта расширялась больше, чем у женщин, а значения угла дуги аорты были меньше (угол оказался острее). M. Boufi и соавт., анализируя изменения дуги аорты у пациентов различных возрастных групп, продемонстрировали взаимосвязь изменений дуги аорты (расширение, удлинение) не только с возрастом и полом, но и с наличием артериальной гипертензии (АГ) [18]. Обследованные нами пациенты обеих групп не отличались по гендерно-возрастному составу, а также по критерию наличия АГ, тем не менее нижний край дуги аорты в группе без УСА располагался достоверно ($p < 0,0005$) ниже, чем в группе с УСА (см. табл. 3). Отличий индекса массы тела также не было, что позволяет пренебречь предположением о возможной элевации сердца у более полных людей из-за релаксации диафрагмы и увеличения объема забрюшинной жировой клетчатки [19]. Оценку влияния АГ, как уже установленной причины ремоделирования артерий [20] и одной из возможных причин формирования вторичных деформаций крупных сосудов [10], затрудняет как гипердиагностика этого состояния, так и, по-видимому, не всегда своевременное выявление.

Анализ других данных КТ продемонстрировал, что абсолютная длина шейного отдела позвоночника у пациентов с УСА была меньше ($114,70 \pm 11,03$ мм против $120,46 \pm 9,75$ мм, $p = 0,022$), анатомическая длина обеих ВСА у лиц с УСА была больше (справа – $101,32 \pm 14,59$ мм против $85,06 \pm 12,07$ мм, $p < 0,0005$; слева – $100,00 \pm 14,03$ мм против $84,66 \pm 12,63$ мм, $p < 0,0005$; см. рис. 4), а уровень нахождения бифуркации ОСА с обеих сторон был одинаков (на уровне C_{IV}). Обобщая данные КТ, можно заключить, что у обследованных нами лиц с УСА зарегистрировано не только абсолютное увеличение длины ВСА, но и более высокое стояние дуги аорты относительно позвоночного столба (которое также может быть



связано с увеличением длины), таким образом, по крайней мере у части наших пациентов удлинения могут быть первичными. Меньшие значения длины шейного отдела позвоночника у лиц с УСА, вероятно, отражают особенности нашей выборки (значительный средний возраст), а также не исключены другие изменения, ассоциированные с удлинением артерий.

Удалось показать, что при наличии деформаций позвоночных артерий было более вероятно наличие деформаций в ВСА ($p < 0,05$ во всех случаях), что косвенно указывает на некий системный процесс, ведущий к развитию удлинения не только сонных, но и других крупных БЦА, однако общепризнанного представления о первичности или вторичности этих процессов не сложилось [21, 22]. Тем не менее описанная статистическая связь между геометрией позвоночных артерий и ВСА и наличие деформаций других артерий (см. табл. 7) безотносительно генеза может служить маркером, позволяющим предположить их наличие и в ВСА, что важно особенно потому, что удлинения, расположенные в дистальных отделах экстракраниальной порции ВСА, в определенных случаях при проведении ультразвукового исследования визуализировать затруднительно либо невозможно.

Неожиданным оказался факт меньшего числа стенозов интракраниальных порций ВСА у пациентов с их удлинением (см. рис. 5). Логическим объяснением этого факта можно было бы считать предположение о “протективной” роли УСА как демпфера колебаний пульсовой волны и, как следствие, – снижении “стрессовой нагрузки” на артериальную стенку, как триггера атеросклеротических изменений. Нельзя исключать, что у наших пациентов с УСА скорость развития атеросклероза прямо или опосредованно связана с рядом других факторов, что обусловлено обсервационным характером нашей работы, так как невозможность учета всех взаимодействий факторов является характерным ограничением неэкспериментальных исследований. Противоположные результатам получили Y.T. Liu и соавт. [23], продемонстрировавшие на достаточно представительной выборке заслуживающие серьезного внимания неоднозначные результаты. Из 575 оцененных ВСА и ипсилатеральных СМА в 273 случаях отмечали сочетание атеросклеротического поражения СМА и значительных углов бифуркации ОСА и перегибов/кинкингсов ВСА. В 302 случаях менее выраженных УСА стенозов СМА обнаружено не было [23]. Авторы констатировали, что изменение геометрии ВСА – независимый фактор риска развития интракраниального атеросклероза, предпо-

ложив, что нарушение ламинарности потока – фактор, усиливающий атеросклеротические изменения.

Заключение

Результаты комплексного мультимодального исследования двух групп лиц, перенесших ИИ в ВБС с УСА и без таковых, позволяют заключить следующее.

Наличие УСА (вне зависимости от их вида) сопровождается слабовыраженным снижением значений конечной диастолической скорости в церебральных артериях и некоторых показателей перфузии (CBV) в зоне смежного кровообращения ипсилатерального УСА полушария. Это снижение является достоверным, хотя и незначительным по своим абсолютным величинам, соответствует рамкам нормальных диапазонов и, скорее всего, связано с совокупностью анатомо-гемодинамических факторов, а также особенностями методологии изучения перфузии при КТ.

У обследованных нами лиц, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения в ВБС, при наличии УСА реже встречались стенозы интракраниальных артерий в каротидном бассейне.

Комплекс анатомических особенностей в виде увеличения длины ВСА, уменьшения высоты шейного отдела позвоночника и более высокого расположения дуги аорты, наличие деформаций других БЦА может свидетельствовать о возможной причинной связи между ними и УСА.

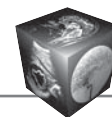
Зарегистрированные нами УСА ни в одном случае не продемонстрировали своей эмбологичности.

Не выявлено убедительной взаимосвязи между УСА и поражением глубокого белого вещества головного мозга, верифицированным при МРТ и расцененным как проявление болезни малых сосудов.

Не удалось обнаружить корреляций между степенью повышения скорости кровотока в деформированном участке артерии и какими-либо из оцениваемых характеристик церебрального кровотока – доплеровских, перфузионных, что не позволяет говорить о диагностической и прогностической ценности выраженности гемодинамического перепада в области деформации.

Участие авторов

Головин Д.А. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.



Бердалин А.Б. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Кудрявцев Ю.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Федосенко М.Б. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Ростовцева Т.М. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Лелюк С.Э. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Лелюк В.Г. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Golovin D.A. – concept and design of the study, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, writing text, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Berdalin A.B. – concept and design of the study, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data.

Kudryavtsev Y.S. – conducting research, collection and analysis of data.

Fedosenko M.B. – conducting research, collection and analysis of data.

Rostovtseva T.M. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Lelyuk S.E. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, preparation and creation of the published work.

Lelyuk V.G. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Schönherr U., Rupprecht H., Schweiger H., Bialasiewicz A.A. Ischämische Optikus-Neuropathie (Apoplexia papillae) und ischämische Mikroinfarkte der retinalen Nervenfaserschicht bei extremer Knickbildung der Arteria carotis interna (Carotis interna-“Kinking“) [Ischemic optic neuropathy (apoplexia papillae) and ischemic micro-infarcts of the retinal nerve fiber layer in extreme internal carotid artery kinking]. *Klin. Monbl. Augenheilkd.* 1990; 197 (1): 9–13. <http://doi.org/10.1055/s-2008-1046235> (In German)
2. van Laarhoven C.J.H.C.M., Willemsen S.I., Klaassen J. et al.; Carotid Aneurysm Registry (CAR) study group. Carotid tortuosity is associated with extracranial carotid artery aneurysms. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2022; 12 (11): 5018–5029. <http://doi.org/10.21037/qims-22-89>
3. Wang L., Zhao F., Wang D. et al. Pressure Drop in Tortuosity/Kinking of the Internal Carotid Artery: Simulation and Clinical Investigation. *Biomed. Res. Int.* 2016; 2016: 2428970. <http://doi.org/10.1155/2016/2428970>
4. Sun Z., Jiang D., Liu P. et al. Age-Related Tortuosity of Carotid and Vertebral Arteries: Quantitative Evaluation With MR Angiography. *Front. Neurol.* 2022; 13: 858805. <http://doi.org/10.3389/fneur.2022.858805>
5. Bernaudin F., Arnaud C., Kamdem A. et al. Incidence, kinetics, and risk factors for intra- and extracranial cerebral arteriopathies in a newborn sickle cell disease cohort early assessed by transcranial and cervical color Doppler ultrasound. *Front. Neurol.* 2022; 13: 846596. <http://doi.org/10.3389/fneur.2022.846596>
6. Buch K., Arya R., Shah B. et al. Quantitative Analysis of Extracranial Arterial Tortuosity in Patients with Sickle Cell Disease. *J. Neuroimaging.* 2017; 27 (4): 421–427. <http://doi.org/10.1111/jon.12418>
7. Zeng W., Chen Y., Zhu Z. et al. Severity of white matter hyperintensities: Lesion patterns, cognition, and microstructural changes. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 2020; 40 (12): 2454–2463. <http://doi.org/10.1177/0271678X19893600>
8. Morris S.A., Orbach D.B., Geva T. et al. Increased vertebral artery tortuosity index is associated with adverse outcomes in children and young adults with connective tissue disorders. *Circulation.* 2011; 124 (4): 388–396. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.990549>
9. Weibel J., Fields W.S. Tortuosity, coiling, and kinking of the internal carotid artery. I. Etiology and radiographic anatomy. *Neurology.* 1965; 15: 7–18. <http://doi.org/10.1212/wnl.15.1.7>
10. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Церебральное кровообращение и артериальное давление. М.: Реальное время, 2004: 142–148. ISBN 5-900080-26-9
Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Cerebral circulation and arterial blood pressure. M.: Real time, 2004: 142–148. ISBN 5-900080-26-9. (In Russian)
11. Головин Д.А., Ростовцева Т.М., Кудрявцев Ю.С., Бердалин А.Б., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Удлинения (долихоартериопатии) сонных артерий и перфузия головного мозга: результаты пилотного исследования. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2021; 20 (5): 2778. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2778>
Golovin D.A., Rostovtseva T.M., Kudryavtsev Yu.S. et al. Carotid artery elongation (dolichoarteriopathy) and cerebral perfusion: results of a pilot study. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2021; 20 (5): 2778. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2778> (In Russian)
12. Shang K., Chen X., Cheng C. et al. Arterial Tortuosity and Its Correlation with White Matter Hyperintensities in Acute Ischemic Stroke. *Neural. Plast.* 2022; 2022: 4280410. <https://doi.org/10.1155/2022/4280410>
13. Yin L., Li Q., Zhang L. et al. Correlation between cervical artery kinking and white matter lesions. *Clin. Neurol. Neurosurg.* 2017; 157: 51–54. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2017.04.003>
14. Liu J., Ke X., Lai Q. Increased tortuosity of bilateral distal internal carotid artery is associated with white matter hyperintensities. *Acta. Radiol.* 2021; 62 (4): 515–523. <https://doi.org/10.1177/0284185120932386>



15. Yu K., Zhong T., Li L. et al. Significant Association between Carotid Artery Kinking and Leukoaraiosis in Middle-Aged and Elderly Chinese Patients. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* 2015; 24 (5): 1025–1031. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2014.12.030>
16. Konstas A.A., Goldmakher G.V., Lee T.Y., Lev M.H. Theoretic basis and technical implementations of CT perfusion in acute ischemic stroke, part 1: Theoretic basis. *Am. J. Neuroradiol.* 2009; 30 (4): 662–668. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1487>
17. d'Ostrevy N., Ardellier F.D., Cassagnes L. et al. The apex of the aortic arch backshifts with aging. *Surg. Radiol. Anat.* 2017; 39 (7): 703–710. <https://doi.org/10.1007/s00276-016-1792-9>
18. Boufi M., Guivier-Curien C., Loundou A.D. et al. Morphological Analysis of Healthy Aortic Arch. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2017; 53 (5): 663–670. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.02.023>
19. Wang H.F., Wang D.M., Wang J.J. et al. Extracranial Internal Carotid Artery Tortuosity and Body Mass Index. *Front. Neurol.* 2017; 8: 508. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00508>
20. Humphrey J.D. Mechanisms of Vascular Remodeling in Hypertension. *Am. J. Hypertens.* 2021; 34 (5): 432–441. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpaa195>
21. Yu J., Qu L., Xu B. et al. Current Understanding of Dolichoarteriopathies of the Internal Carotid Artery: A Review. *Int. J. Med. Sci.* 2017; 14 (8): 772–784. <https://doi.org/10.7150/ijms.19229>
22. Aghasadeghi F., Dehghan A. Evaluation of the association between the internal carotid artery and vertebral artery tortuosity and acute ischemic stroke using tortuosity index. *Vascular.* 2022; 17085381221140163. <https://doi.org/10.1177/17085381221140163>
23. Liu Y.T., Zhang Z.M., Li M.L. et al. Association of carotid artery geometries with middle cerebral artery atherosclerosis. *Atherosclerosis.* 2022; 352: 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2022.05.016>

Для корреспонденции*: Головин Денис Александрович – e-mail: denis-golovin@yandex.ru

Головин Денис Александрович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра радиологии и клинической физиологии ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8645-9765>

Бердалин Александр Берикович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра радиологии и клинической физиологии ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5387-4367>

Кудрявцев Юрий Сергеевич – врач-рентгенолог Научно-исследовательского центра радиологии и клинической физиологии ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0038-6815>

Федосенко Марина Борисовна – врач ультразвуковой диагностики Научно-исследовательского центра радиологии и клинической физиологии ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0009-0005-4556-1893>

Ростовцева Татьяна Михайловна – научный сотрудник Научно-исследовательского центра радиологии и клинической физиологии ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6541-179X>

Лелюк Светлана Эдуардовна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8428-8037>

Лелюк Владимир Геннадьевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела клинической и экспериментальной физиологии кровообращения ФГБУ “Федеральный центр мозга и нейротехнологий” ФМБА России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>

Contact*: Denis A. Golovin – e-mail: denis-golovin@yandex.ru

Denis A. Golovin – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8645-9765>

Alexander B. Berdalin – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5387-4367>

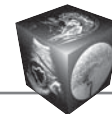
Yuri S. Kudryavtsev – radiologist of Radiology and Clinical Physiology Research Center, Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0038-6815>

Marina B. Fedosenko – doctor of ultrasound diagnostics of Radiology and Clinical Physiology Research Center, Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0009-0005-4556-1893>

Tatyana M. Rostovtseva – Researcher of Radiology and Clinical Physiology Research Center, Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6541-179X>

Svetlana E. Lelyuk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Russian Medical Academy of Continuing Professional, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8428-8037>

Vladimir G. Lelyuk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Department clinical and experimental physiology of circulatory system, ultrasound and functional diagnostics, Federal center of brain research and neurotechnologies” of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1469>

Эхокардиографическая оценка структурных и функциональных свойств левого желудочка у детей с гипертрофической кардиомиопатией

© Соколов А.А.¹, Кожанов Р.С.^{1*}, Егунов О.А.¹, Кривошеков Е.В.²

¹ Научно-исследовательский институт кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН; 634012 Томск, ул. Киевская, 111-А, Российская Федерация

² ФГБУ “Федеральный центр высоких медицинских технологий” Минздрава России; 236035 Калининград, Калининградское шоссе, д. 4, Российская Федерация

Цель исследования: анализ структурных и систолодиастолических характеристик левых камер сердца у детей с обструктивной гипертрофической кардиомиопатией (ГКМП).

Материал и методы. Выполнено комплексное ретроспективное сравнительное эхокардиографическое исследование детей с обструктивной формой ГКМП в возрасте 1–17 лет ($n = 52$) и контрольной группы ($n = 1060$) здоровых детей того же возраста.

Результаты. Проанализированы основные показатели структурных и систолодиастолических свойств левых камер сердца у детей двух групп. Помимо этого, у пациентов с ГКМП оценивалась корреляционная связь показателей систолической и диастолической функции левого желудочка (ЛЖ) с толщиной межжелудочковой перегородки (МЖП). Большинство показателей, характеризующих систолические свойства ЛЖ, не имели корреляционных связей с увеличением толщины МЖП. Диастолические параметры – скорость расслабления миокарда в фазу быстрого наполнения, определенная по тканевому доплеровскому режиму (е), и давление наполнения ЛЖ статистически значимо коррелировали с увеличением толщины МЖП.

Выводы. Эхокардиография у детей с обструктивной ГКМП остается “золотым стандартом” диагностики, позволяющим комплексно оценить основные структурные характеристики камер сердца.

Ключевые слова: гипертрофическая кардиомиопатия; гемодинамика гипертрофической кардиомиопатии; эхокардиография

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Соколов А.А., Кожанов Р.С., Егунов О.А., Кривошеков Е.В. Эхокардиографическая оценка структурных и функциональных свойств левого желудочка у детей с гипертрофической кардиомиопатией. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 47–56. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1469>

Поступила в редакцию: 15.04.2024. **Принята к печати:** 08.08.2024. **Опубликована online:** 05.11.2024.

Echocardiographic assessment of the structural and functional properties of the left ventricle in children with hypertrophic cardiomyopathy

© Alexander A. Sokolov¹, Roman S. Kozhanov^{1*}, Oleg A. Egunov¹, Evgeny V. Krivoshchekov²

¹ Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences; 111-A, Kievskaya str., Tomsk 634012, Russian Federation

² Federal Center for High Medical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; 4, Kaliningradskoye shosse, Kaliningrad 236035, Russian Federation



Aim. Analysis of the structural and systole-diastolic characteristics of the left chambers of the heart in children with obstructive hypertrophic cardiomyopathy.

Materials and methods. A comprehensive retrospective comparative echocardiographic study of children with obstructive HCM aged 1–17 years ($n = 52$) and a control group ($n = 1060$) of healthy children of the same age was performed.

Results. The main indicators of the structural and systole-diastolic properties of the left chambers of the heart in children of two groups were analyzed. In addition, in patients with HCM, the correlation between parameters of systolic and diastolic function of the left ventricle and the thickness of the interventricular septum was assessed. Most of the indicators characterizing the systolic properties of the LV had no correlation with an increase in the thickness of the IVS. Diastolic parameters – the rate of myocardial relaxation during the rapid filling phase, determined by tissue Doppler mode (e), and LV filling pressure – statistically significantly correlated with an increase in IVS thickness.

Conclusions. Echocardiography in children with obstructive HCM remains the gold standard for diagnosis, allowing a comprehensive assessment of the main structural characteristics of the heart chambers.

Keywords: hypertrophic cardiomyopathy; hemodynamics of hypertrophic cardiomyopathy; echocardiography

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

For citation: Sokolov A.A., Kozhanov R.S., Egunov O.A., Krivoshechekov E.V. Echocardiographic assessment of the structural and functional properties of the left ventricle in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 47–56. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1469>

Received: 15.04.2024.

Accepted for publication: 08.08.2024.

Published online: 05.11.2024.

Введение

Гипертрофическая кардиомиопатия (ГКМП) – это первичное, генетически детерминированное наследственное заболевание, характеризующееся неконтролируемой пролиферацией кардиомиоцитов миокарда левого и реже правого желудочка.

Эпидемиологическое исследование в США, проведенное S.E. Lipshultz и соавт., показало, что ежегодная частота новых случаев ГКМП составляет 1,13 случая на 100 000 детей [1].

Ключевыми аспектами патогенеза обструктивной ГКМП являются гипертрофия межжелудочковой перегородки (МЖП) и Systolic anterior motion (SAM)-синдром, возникающий за счет эффекта Вентури. Это приводит к динамической обструкции выходного отдела левого желудочка (ВОЛЖ), митральной регургитации (МР) и диастолической дисфункции левого желудочка (ЛЖ) [2]. С увеличением толщины стенок ЛЖ повышается риск сердечной недостаточности (СН), фибрилляции предсердий и внезапной сердечной смерти (ВСС) [3].

Сложная патоморфология ГКМП включает в себя дезорганизацию мышечных волокон, аномалии микрососудов и обширный фиброз миокарда [4]. Это ведет к нарушению систолических и диастолических свойств измененного ЛЖ.

Большинство исследований гемодинамики у пациентов с ГКМП основано на изучении проблемы у взрослых, для детей подобные исследования относительно немногочисленны.

Цель исследования: изучить особенности структурных и систолодиастолических характеристик левых камер сердца у детей с обструктивной ГКМП.

Материал и методы

Выполнен ретроспективный анализ базы данных эхокардиографических исследований ТНИМЦ НИИ кардиологии с 2010 по 2024 г. с формированием двух групп.

В 1-ю группу ($n = 52$) были включены дети с диагнозом обструктивной ГКМП в возрасте 1–18 лет, в контрольную 2-ю группу – здоровые дети соответствующего возраста ($n = 1060$).

Родители пациентов, включенных в исследование, подписывали согласие на участие в исследовании.

Все исследования выполнялись в соответствии с рекомендациями Американского общества эхокардиографистов (ASE).

Диагноз обструктивной формы ГКМП подтверждался с помощью эхокардиографии (ЭхоКГ) при наличии пикового градиента в ВОЛЖ более 30 мм рт.ст.

Основными ЭхоКГ-характеристиками обструктивной ГКМП являются выраженная гипертрофия МЖП и SAM-синдром, которые способствуют развитию гемодинамически значимого градиента в ВОЛЖ и МР (рис. 1, 2).

К факторам, обуславливающим возникновение SAM-синдрома, относятся структурные аномалии митрального клапана (МК) и гиперконтрактильность ЛЖ. Данный синдром оценивался после 2/3 интервала систолы, когда контрактильность задней стенки еще не достигала максимума [5].

Также информативным показателем оказалось систолическое давление в ЛЖ (СДЛЖ), которое определялось как пиковый градиент МР + 10 мм рт.ст. (рис. 3).

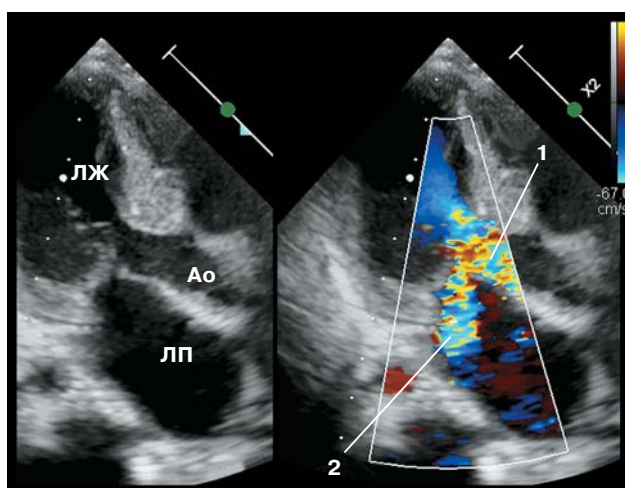
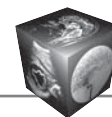


Рис. 1. Трансторакальная ЭхоКГ с доплерографией пациента с гипертрофической кардиомиопатией. Оценка обструкции ВОЛЖ и МР. Ao – аорта, ЛП – левое предсердие, ЛЖ – левый желудочек. 1 – обструкция, 2 – регургитация.

Fig. 1. Transthoracic echocardiography with Doppler sonography of a patient with hypertrophic cardiomyopathy. Assessment of LVOT obstruction and MR. Ao – aorta, LA=ЛП – left atrium, LV=ЛЖ – left ventricle. 1 – obstruction, 2 – regurgitation.

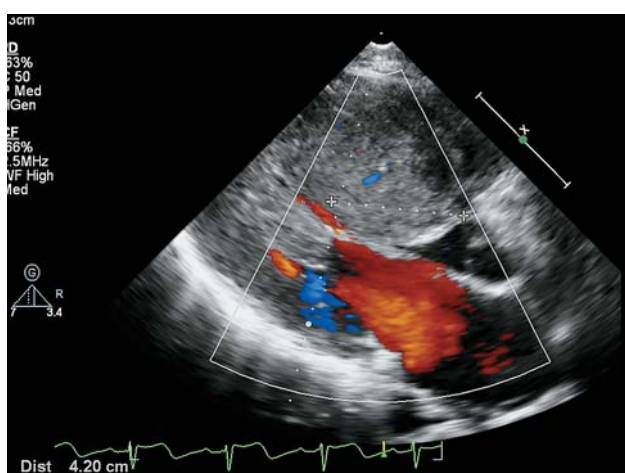


Рис. 2. Трансторакальная ЭхоКГ с доплерографией пациента с гипертрофической кардиомиопатией. Оценка протяженности планируемой трансаортальной расширенной септальной миэктомии.

Fig. 2. Transthoracic echocardiography with Doppler sonography of a patient with hypertrophic cardiomyopathy. Assessment of the length of the planned transaortic extended septal myectomy.

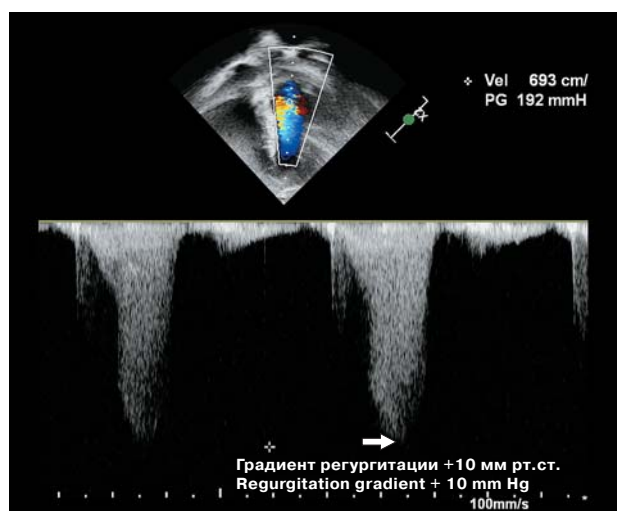


Рис. 3. Трансторакальная ЭхоКГ. Определение систолического давления в ЛЖ.

Fig. 3. Transthoracic echocardiography. Determination of systolic pressure in the left ventricle.

Дополнительно определялись следующие показатели:

Систолическая функция:

- фракция выброса (ФВ) ЛЖ, %;
- ТЕI – миокардальный индекс, рассчитывался как отношение продолжительности суммы изоволюмических интервалов сердечного цикла к продолжительности периода изгнания [6];
- максимальная скорость повышения давления в систолу (dp/dt_{max}), определялась по потоку МР, мм рт.ст. [7];
- пиковый градиент в ВОЛЖ, мм рт.ст.;
- СДЛЖ, мм рт.ст.

Диастолическая функция:

- объемная скорость наполнения ЛЖ (УО/д/ММЛЖ, где УО – ударный объем ЛЖ, мл; д – продолжительность диастолы, с; ММЛЖ – масса миокарда ЛЖ, г);
 - конечный диастолический объем (КДО) ЛЖ;
 - объем левого предсердия (ЛП), мл/м².
- С помощью тканевой доплерографии с оценкой движения фиброзного кольца МК оценивались [8]:
- Е – пик раннего кровотока в диастолу на МК, см/с;
 - А – пик позднего кровотока на МК, см/с;
 - е' – скорость движения фиброзного кольца МК в раннюю диастолу, см/с;



- a_l – скорость движения фиброзного кольца МК в позднюю диастолу, см/с;
- E/A – соотношение скоростей наполнения ЛЖ;
- e'/a_l – соотношение скоростей движения миокарда ЛЖ в диастолу;
- ДН – давление наполнения ЛЖ, рассчитывалось как отношение пика раннего кровотока в диастолу на МК (E) к скорости движения фиброзного кольца МК в раннюю диастолу (e'), мм рт.ст.

Структурно-геометрические характеристики ЛЖ:

- z-score толщины МЖП (более 2 z-score, указывало на ГКМП);
- z-score толщины задней стенки ЛЖ (ЗСЛЖ);
- отношение толщины МЖП к ЗСЛЖ;
- индекс сферичности (отношение длинной оси ЛЖ к поперечной);
- конечно-диастолический размер (КДР) ЛЖ (поперечник ЛЖ).

ЭхоКГ выполнялась на ультразвуковых системах фирмы Philips iE-33 и Epiq 7. Все исследования выполнены двумя специалистами с межоператорской ошибкой 5%.

Статистический анализ

Статистическая обработка цифровых данных осуществлялась методом вариационной статистики с применением пакета статистических программ Statistica v.7. Измерения в двух группах (больные ГКМП и контрольная группа) были статистически оценены с использованием t-критерия Стьюдента или непараметрического критерия У Манна–Уитни в зависимости от распределения выборки, оцениваемой с использованием теста Шапиро–Уилка, предполагалось, что значения $p < 0,05$ являются статистически значимыми. В таблицах цифровые результаты представлены в виде медианных значений и интерквартильных рангов (IQR). Для оценки взаимосвязей использовали критерий Пирсона.

Результаты исследования

Основные антропометрические показатели не различались между группами. Систолическое и диастолическое артериальное давление у детей 1-й группы было статистически значимо ниже, чем во 2-й группе ($p < 0,001$, $p < 0,001$) (табл. 1).

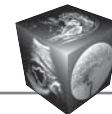
Таблица 1. Антропометрические данные и структурно-функциональные свойства левого желудочка у обследуемых (Me [Q1; Q3])

Table 1. Anthropometric data and structural and functional properties of the left ventricle in the subjects (Me [Q1; Q3])

Показатель Parameter	1-я группа Group 1	2-я группа Group 2	p
Мужской пол, n (%) / Male, n (%)	40 (76%)	670 (63%)	
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	17.1 [15.5; 20.0]	17.2 [19.3; 20]	0.63
Возраст, годы / Age, years	10 [4.55; 13.0]	10 [4; 14]	0.55
САД, мм рт.ст. / SBP, mmHg	98.5 [90.0; 106.0]	115 [104; 120]	0.001
ДАД, мм рт.ст. / DBP, mmHg	50.5 [44; 56]	59 [53; 62]	0.001
КДР ЛЖ, мм / EDS LV, mm	34 [29.5; 39.0]	41 [34; 47]	0.01
z-индекс МЖП / z-index IVS	13.9 [10.5; 18.5]	0.30 [0.15; 0.90]	0.001
z-индекс ЗСЛЖ / z-index PWLV	5.2 [2.3; 7.1]	0.35 [-0.17; 0.88]	0.005
МЖП/ЗСЛЖ / IVS/PWLV	1.86 [1.43; 2.82]	1.05 [1; 1.16]	0.0001
ФВ ЛЖ, % / EF LV, %	81 [78; 85]	69 [66; 74]	0.01
Индекс сферичности / Sphericity index	1.97 [1.78; 2.25]	1.68 [1.58; 1.78]	0.005
Пиковый градиент в ВОЛЖ, мм рт.ст. / Peak gradient in LVOT, mm Hg	84 [69; 102.5]	7.5 [6; 9]	0.00001
Индекс TEI / Index TEI	0.679 [0.40; 0.82]	0.373 [0.3; 0.42]	0.01
dp/dt _{max} , мм рт.ст. / mm Hg	833 [716; 1010]	1800 [1600; 2050]	0.001

Примечание. ИМТ – индекс массы тела, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, КДР ЛЖ – конечный диастолический размер ЛЖ, МЖП – межжелудочковая перегородка, ЗСЛЖ – задняя стенка ЛЖ, ФВ ЛЖ – фракция выброса ЛЖ, ВОЛЖ – выходной отдел ЛЖ, TEI – миокардиальный индекс ЛЖ, dp/dt_{max} – максимальная скорость нарастания давления в систолу ЛЖ.

Note. BMI – body mass index, SBP – systolic blood pressure, DBP – diastolic blood pressure, EDS LV – end diastolic size of the left ventricle, IVS – interventricular septum, PWLV – posterior wall of the left ventricle, EF LV – left ventricular ejection fraction, LVOT – left ventricle outflow tract.



Структурные и систолические показатели ЛЖ

Основным показателем обструктивной ГМКП является градиент в ВОЛЖ. По данным ЭхоКГ-исследования у пациентов 1-й группы пиковый градиент в ВОЛЖ – 84 [69; 102,5] мм рт.ст. был значимо больше, чем у 2-й группы, 7,5 [6; 9] мм рт.ст. ($p = 0,00001$).

Наряду с септальной гипертрофией патогенетическим аспектом ГМКП является SAM-синдром, который присутствовал у 100% пациентов 1-й группы. SAM-синдром, возникающий за счет эффекта Вентури, усугублял обструкцию выхода из ЛЖ и МР.

Наличие МР – $1,89 \pm 0,7$ и сниженной податливости гипертрофированного ЛЖ приводило к дилатации ЛП $47,8 [35,8; 58,8]$ мл/м² и было значимо больше, чем у пациентов 2-й группы, – $18,6 [15; 22]$ мл/м² ($p = 0,006$).

В 1-й группе пациентов z-индекс толщины МЖП и ЗСЛЖ был значимо больше, чем во 2-й группе ($p = 0,001$, $p = 0,005$). Отношение z-индекса толщины МЖП к z-индексу толщины ЗСЛЖ значимо различалось между двумя группами, что свидетельствует об асимметричном утолщении стенок ЛЖ при ГМКП ($p = 0,0001$).

У пациентов 1-й группы КДО ЛЖ и КДР были значимо меньше и ЛЖ был более вытянут по длинной оси, индекс сферичности – $1,97 [1,78; 2,25]$, ($p = 0,02$, $p = 0,01$).

СДЛЖ составляло $187 [169; 210]$ мм рт.ст. для 1-й группы пациентов и оказалось достаточно ин-

формативным показателем, имеющим высокую корреляцию с градиентом давления в ВОЛЖ (рис. 4).

ФВ ЛЖ у пациентов 1-й группы была значимо выше – $81 [78; 85]$ %, чем у детей 2-й группы, – $69 [66; 74]$ %, но была в пределах нормальных значений, при этом dP/dt_{max} (максимальная скорость нарастания давления в систолу) была в 2 раза меньше и значимо отличалась от 2-й группы ($p = 0,001$) (см. табл. 1).

Индекс TEI – показатель систолической и диастолической функции свойств ЛЖ был статистически значимо больше в 1-й группе – $0,679 [0,40; 0,82]$, чем во 2-й группе, – $0,373 [0,3; 0,42]$, что указывает на нарушение фазовой структуры систолы и диастолы ($p = 0,01$).

Диастолическая функция

Соотношение пиковых скоростей трансмитрального потока (Е/А) для 1-й группы – $1,42 [0,8; 1,89]$ значимо отличалось от 2-й группы – $1,95 [1,64; 2,37]$, $p = 0,02$.

Нарушение диастолических свойств миокарда иллюстрировало изменение соотношения скоростей движения миокарда, определяемых по режиму тканевого доплера (е/а). Для детей 1-й группы данный показатель значимо отличался от 2-й группы – $0,86 [0,65; 1,23]$ против $2,15 [1,78; 2,6]$, $p = 0,0001$ (табл. 2).

Объемная скорость наполнения (ОСН) ЛЖ у детей 2-й группы была статистически значимо больше, чем у пациентов 1-й группы, $p = 0,001$.

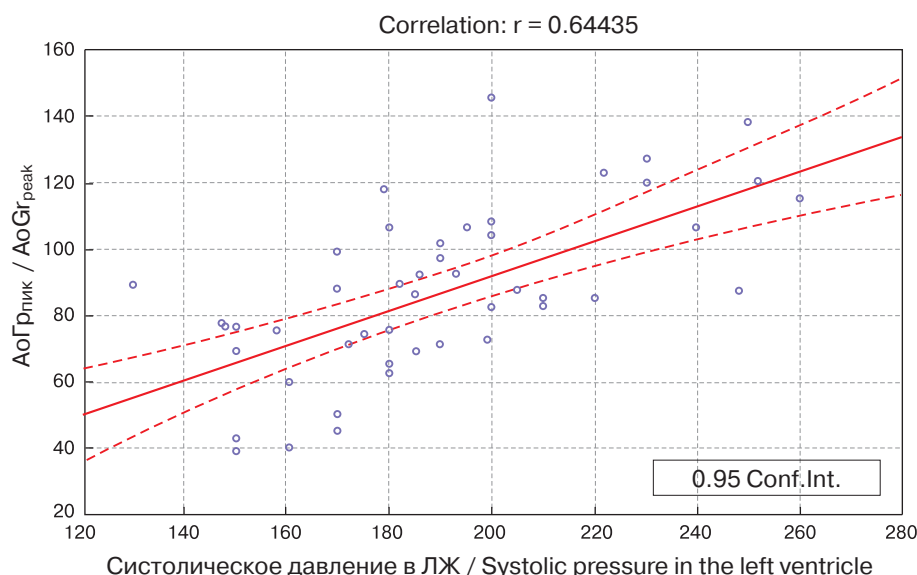


Рис. 4. Корреляция между СДЛЖ и пиковым градиентом давления в ВОЛЖ.

Fig. 4. Correlation between left ventricular systolic pressure and peak LVOT pressure gradient.



Таблица 2. Показатели диастолических свойств левого желудочка у больных ГКМП (Ме [Q1; Q3])
Table 2. Indicators of diastolic properties of the left ventricle in patients with HCM (Me [Q1; Q3])

Показатель Parameter	1-я группа Group 1	2-я группа Group 2	p
КДО ЛЖ, мл / EDV LV, ml	39 [28; 67]	57 [29; 82]	0.02
Индекс ЛП, мл/м ² / Index LA, ml/m ²	47.8 [35.8; 58.8]	18.6 [15; 22]	0.006
E, см/с / E, cm/s	102 [91; 127]	112 [101; 122]	0.15
A, см/с / A, cm/s	72 [61; 93]	57 [47; 68]	0.001
e, см/с / e, cm/s	5.6 [4; 7.8]	14 [13; 16]	0.001
a, см/с / a, cm/s	6.2 [4.5; 7.9]	6.8 [5.8; 8]	0.08
E/A	1.42 [0.8; 1.89]	1.95 [1.64; 2.37]	0.02
e/a	0.86 [0.65; 1.23]	2.15 [1.78; 2.6]	0.0001
ОСН, мл/с/г / VRDF, ml/s/g	35.6 [26.1; 47.1]	121 [91; 155]	0.001
ДН ЛЖ, мм рт.ст. / FP LV, mm Hg	18.3 [6; 43]	5.9 [4.9; 6.9]	0.0001

Примечание. КДО ЛЖ – конечный диастолический объем ЛЖ, ЛП – левое предсердие, ОСН – объемная скорость диастолического наполнения ЛЖ, ДН ЛЖ – давление наполнения ЛЖ.

Note. EDV LV – end-diastolic volume left ventricle, LA – left atrium, VRDF – volumetric rate of diastolic filling, FP – filling pressure.

Таблица 3. Корреляция показателей систолы и диастолы левого желудочка с увеличением z-индекса толщины межжелудочковой перегородки

Table 3. Correlation of left ventricular systole and diastole parameters with increasing z-index of interventricular septal thickness

Показатель / Parameter	R	p
Систолическая функция / Systolic function		
ЧСС, уд/мин / HR, beat per minute	–0.45	0.002
ФВ ЛЖ, % / EF LV, %	–0.05	0.7
СДЛЖ, мм рт.ст. / SPLV, mm Hg	0.05	0.7
Индекс сферичности / sphericity index	0.12	0.36
dp/dt _{max} , мм рт.ст. / mm Hg	0.22	0.44
Пиковый градиент в ВОЛЖ, мм рт.ст. / Peak gradient in LVOT, mm Hg	0.19	0.048
Индекс TEI / index TEI	0.16	0.15
Диастолическая функция / Diastolic function		
ДН, мм рт.ст. / FP LV, mm Hg	0.66	0.001
e/a	0.001	0.99
e, см/с	–0.43	0.01
a, см/с	–0.09	0.36
E/A	0.11	0.29
E, см/с	–0.14	0.92
A, см/с	–0.27	0.01
ОСН, мл/с/г / VRDF, ml/s/g	–0.65	0.001
Индекс объема ЛП, мл/м ² / Volume index LA, ml/m ²	–0.24	0.03
Индекс объема ПП, мл/м ² / Volume index RA, ml/m ²	–0.03	0.9

Примечание. ЧСС – частота сердечных сокращений, ДН – давление наполнения ЛЖ.

Note. HR – heart rate, EF LV – left ventricular ejection fraction, SPLV – systolic pressure in the left ventricle, LVOT – left ventricle outflow tract, FP – filling pressure, VRDF – volumetric rate of diastolic filling, LA – left atrium, RA – right atrium

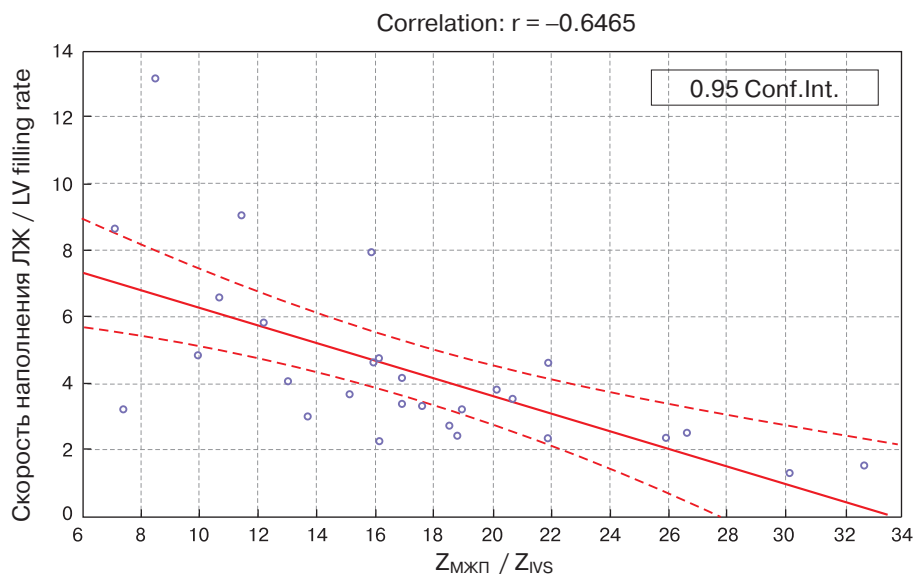
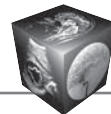


Рис. 5. Корреляция между z-индексом МЖП и скоростью наполнения ЛЖ в диастолу.

Fig. 5. Correlation between the z-index of the IVS and the LV filling rate in diastole.

Нарушение диастолической функции у пациентов 1-й группы компенсировалось за счет повышения давления наполнения ЛЖ.

Помимо этого, оценивалась взаимосвязь толщины МЖП с рядом показателей систолической и диастолической функций ЛЖ, которые достоверно отличались от контрольной группы (табл. 3).

Большинство показателей, характеризующих систолические свойства ЛЖ, не имели корреляционных связей с увеличением толщины МЖП.

Показатели оценки диастолы, такие как отношение скоростей потоков через митральный клапан (E/A и e/a ткань), не имели значимой корреляции с увеличением толщины МЖП. При этом скорость расслабления миокарда в фазу быстрого наполнения, определенная по тканевому доплеровскому режиму (e), и давление наполнения ЛЖ статистически значимо коррелировали с увеличением толщины МЖП.

Объемная скорость наполнения левого желудочка (ОСН ЛЖ) имела высокую обратную корреляцию с увеличением толщины МЖП (рис. 5).

Обсуждение

В 1961 г. V.O. Bjork и соавт. впервые описали anomальное движение створок МК, которое в последующем получило название SAM-синдром [9]. Потребовалось еще около 20 лет ЭхоКГ- и ангиографических исследований, прежде чем была доказана связь гипертрофии МЖП с anomальным движением передней створки МК как причины

динамического градиента в ВОЛЖ и митральной недостаточности [10].

На сегодняшний день ЭхоКГ является “золотым стандартом” диагностики обструктивной ГКМП. Пациенты 1-й группы значимо различались от 2-й группы по основному патогенетическим аспектам ГКМП – толщине МЖП, наличию SAM-синдрома, митральной недостаточности и динамического градиента в ВОЛЖ.

Y.L. Hiemstra и соавт. в обзоре 427 пациентов с ГКМП отмечали, что увеличение индекса объема ЛП более 34 мл/м² является фактором риска ВСС и требует трансплантации сердца [11]. В проведенном нами исследовании у пациентов 1-й группы индекс объема ЛП был значимо больше, чем у пациентов 2-й группы ($p = 0,006$), у 45% превышал указанные критические значения.

Известно, что ожирение способствует увеличению гипертрофии ЛЖ в общей популяции [12]. В исследовании L. Olivotto и соавт. была доказана связь гипертрофии и с массой тела у взрослых пациентов с ГКМП [13]. В нашем исследовании дети 1-й и 2-й групп были сопоставимы по возрасту и индексу массы тела ($p = 0,63$, $p = 0,55$).

Увеличение толщины стенок ЛЖ (МЖП и ЗСЛЖ) у больных ГКМП является причиной уменьшения как поперечника ЛЖ – КДР, так и его объема – КДО ЛЖ. Соответственно с этим изменялась и форма желудочка – нарастала вытянутость по длинной оси. Полученные данные позволяют утверждать, что нарушения систолической функции ЛЖ у боль-



ных ГКМП реализуются в виде редукции как ударного, так и минутного объема кровообращения.

В исследовании T. Naland и соавт. показано, что при различном возрасте ФВ ЛЖ у больных ГКМП не отличалась от нормы, сохранялся редуцированный объем желудочка, что указывало на усугубление проявления СН [14]. В нашем исследовании ФВ ЛЖ у больных ГКМП была достоверно выше, чем у детей контрольной группы ($p = 0,001$), при выраженном снижении максимальной скорости нарастания давления в систолу ($p = 0,001$).

По мнению A.S. Mejia и соавт., индекс TEI эффективно отражает степень тяжести СН у детей и является “ранним” маркером гипертрофии миокарда ЛЖ при гипертонической болезни [15]. Данный показатель признан чувствительным индикатором систолической дисфункции у пациентов с выраженной митральной недостаточностью [16]. Данный показатель был достоверно выше у пациентов 1-й группы по сравнению со 2-й группой, $p = 0,01$.

Таким образом, у детей с ГКМП зарегистрированы нарушения систолической функции ЛЖ, выражающиеся, прежде всего, в уменьшении эффективного выброса крови в аорту, в снижении максимальной скорости повышения давления в систолу, при более высокой ФВ ЛЖ, чем в норме.

В настоящее время общепризнан фенотип СН с сохраненной ФВ, где ведущими механизмами считаются повышение миокардиальной жесткости и давления наполнения ЛЖ, что приводит к нарушению диастолической функции. В этом ключевом особом интересе представляет состояние релаксации ЛЖ у детей с обструктивной ГКМП и морфологическим проявлением миокардиального фиброза [17]. Даже в норме диастолические свойства ЛЖ у детей отличаются от таковых у взрослых, в связи с этим сравнительный анализ пациентов с ГКМП с нормой имеет значение для понимания нарушений гемодинамики.

Важнейшим физиологическим и ЭхоКГ-показателем, характеризующим эффективность механизмов реализации наполнения ЛЖ, является КДО [13]. В нашем исследовании КДО ЛЖ значительно различался в группах ($p = 0,02$).

Методические подходы для оценки диастолической дисфункции, используемые у взрослых больных ГКМП, неинформативны для детей в 50% случаев [18].

Общепризнанными критериями диастолической дисфункции ЛЖ считают: показатели скоростей трансмитрального кровотока (E , A), отношение этих скоростей (E/A), скорости движения миокарда по данным тканевой доплерографии (e , a)

и их отношение (e/a), давление наполнения ЛЖ, индекс объема ЛП и КДО ЛЖ [19].

Мы оценили данные показатели у детей с ГКМП в сравнении со степенью выраженности гипертрофии ЛЖ и тяжестью обструкции выхода из ЛЖ. Все параметры, характеризующие диастолические свойства ЛЖ у детей 1-й группы, статистически значимо отличались от таковых 2-й группы. Наиболее существенные отличия были в ключевых показателях: КДО ЛЖ, скорость движения миокарда в фазу быстрого наполнения (e) и ОСН ЛЖ, что согласуется с литературными данными о взрослых пациентах с ГКМП [20].

Выраженность гипертрофии, документируемая z -индексом МЖП, в нашем исследовании показала значимую связь с показателями, характеризующими диастолические нарушения: давление наполнения ЛЖ, ОСН и диастолическая скорость движения миокарда.

Выводы

1. У детей с обструктивной ГКМП значимо повышена ФВ, но снижена максимальная скорость нарастания давления в систолу (dp/dt_{max}), что свидетельствовало о нарушении систолической функции ЛЖ.

2. Пиковый градиент давления в выводном тракте ЛЖ имеет слабую корреляцию с толщиной МЖП.

3. СДЛЖ у больных ГКМП, оцененное по митральной регургитации, эффективно отражает выраженность обструкции ВОЛЖ.

4. Наиболее информативными показателями нарушения диастолической функции у детей с ГКМП являются снижение скорости релаксации миокарда в фазу быстрого наполнения и редукция ОСН желудочка в диастолу.

5. У детей с обструктивной ГКМП выраженность утолщения (z -индекс) МЖП связана с нарушением диастолической функции ЛЖ.

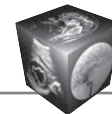
Участие авторов

Соколов А.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, написание текста, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Кожанов Р.С. – написание текста, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Егунов О.А. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

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



Authors' participation

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

Kozhanov R.S. – writing text, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data.

Egunov O.A. – collection and analysis of data, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

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

Список литературы [References]

1. Lipshultz S.E., Sleeper L.A., Towbin J.A. et al. The incidence of pediatric cardiomyopathy in two regions of the United States. *N. Engl. J. Med.* 2003; 348 (17): 1647–1655. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa021715>
2. Menon S.C., Eidem B.W., Dearani J.A. et al. Diastolic dysfunction and its histopathological correlation in obstructive hypertrophic cardiomyopathy in children and adolescents. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (12): 1327–1334. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.08.014>
3. Maron B.J. Clinical course and management of hypertrophic cardiomyopathy. *N. Engl. J. Med.* 2018; 379 (7): 655–668. <https://doi.org/10.1056/nejmra1710575>
4. Maron B.J., Ferrans V.J., Henry W.L. et al. Differences in distribution of myocardial abnormalities in patients with obstructive and nonobstructive asymmetric septal hypertrophy (ASH): light and electron microscopic findings. *Circulation.* 1974; 50 (3): 436–446. <https://doi.org/10.1161/01.cir.50.3.436>
5. Ibrahim M., Rao C., Ashrafian H. et al. Modern management of systolic anterior motion of the mitral valve. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2012; 41 (6): 1260–1270. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezr232>
6. Tei C., Ling L.H., Hodge D.O. et al. New index of combined systolic and diastolic myocardial performance: a simple and reproducible measure of cardiac function – a study in normals and dilated cardiomyopathy. *J. Cardiol.* 1995; 26 (6): 357–366.
7. Chung N., Nishimura R.A., Holmes D.R. et al. Measurement of left ventricular dp/dt by simultaneous Doppler echocardiography and cardiac catheterization. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1992; 5 (2): 147–152. [https://doi.org/10.1016/s0894-7317\(14\)80544-0](https://doi.org/10.1016/s0894-7317(14)80544-0)
8. Anthony C., Akintoye E., Wang T. et al. Echo Doppler parameters of diastolic function. *Curr. Cardiol. Rep.* 2023; 25 (4): 235–247. <https://doi.org/10.1007/s11886-023-01844-3>
9. Bjork V.O., Hultquist G., Lodin H. Subaortic stenosis produced by an abnormally placed anterior mitral leaflet. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1961; 41 (5): 659–669. [https://doi.org/10.1016/S0022-5223\(20\)31663-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(20)31663-9)
10. Pollick C., Morgan C.D., Gilbert B.W. et al. Muscular subaortic stenosis: the temporal relationship between systolic anterior motion of the anterior mitral leaflet and the pressure gradient. *Circulation.* 1982; 66 (5): 1087–1094. <https://doi.org/10.1161/01.cir.66.5.1087>
11. Hiemstra Y.L., Debonnaire P., Bootsma M. et al. Global longitudinal strain and left atrial volume index provide incremental prognostic value in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 10 (7): e005706. <https://doi.org/10.1161/circimaging.116.005706>
12. Turkbey E.B., McClelland R.L., Kronmal R.A. et al. The impact of obesity on the left ventricle: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2010; 3 (3): 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.10.012>
13. Olivetto I., Maron B.J., Tomberli B. et al. Obesity and its association to phenotype and clinical course in hypertrophic cardiomyopathy. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 62 (5): 449–457. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.03.062>
14. Haland T.F., Hasselberg N.E., Almaas V.M. et al. The systolic paradox in hypertrophic cardiomyopathy. *Open Heart.* 2017; 4 (1): e000571. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2016-000571>
15. Mejia A.S., Simpson E.K., Hildebolt C.F. et al. Tissue doppler septal tei index indicates severity of illness in pediatric patients with congestive heart failure. *Pediatr. Cardiol.* 2014; 35 (3): 411–418. <https://doi.org/10.1007/s00246-013-0794-1>
16. Bruch C., Schmermund A., Dages N. et al. Tei-index in symptomatic patients with primary and secondary mitral regurgitation. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2002; 18 (2): 101–110. <https://doi.org/10.1023/a:1014664418322>
17. Zhang M.K., Zhang Z., Xue H. et al. Microvascular rarefaction and myocardial fibrosis in hypertrophic obstructive cardiomyopathy: A histopathological comparison of pediatric and adult patients. *Heart Surg. Forum.* 2022; 25 (1): E042–E047. <https://doi.org/10.1532/hsf.4277>
18. Dragulescu A., Mertens L., Friedberg M.K. Interpretation of left ventricular diastolic dysfunction in children with cardiomyopathy by echocardiography: problems and limitations. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 6 (2): 254–261. <https://doi.org/10.1161/circimaging.112.000175>
19. Bertacchini F., Rosei C.A., Buso G. et al. Subclinical HMOD in hypertension: Left ventricular diastolic dysfunction. *High Blood Press. Cardiovasc. Prev.* 2022; 29 (6): 585–593. <https://doi.org/10.1007%2Fs40292-022-00548-z>
20. Losi M.A., Nistri S., Galderisi M. et al. Echocardiography in patients with hypertrophic cardiomyopathy: usefulness of old and new techniques in the diagnosis and pathophysiological assessment. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2010; 8: 7. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-8-7>



Для корреспонденции*: Кожанов Роман Сергеевич – e-mail: romankozhanoff@yandex.ru

Соколов Александр Анатольевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий лабораторией ультразвуковых и функциональных методов исследования Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0513-9012>

Кожанов Роман Сергеевич – врач сердечно-сосудистый хирург Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-0493-4762>

Егунов Олег Анатольевич – канд. мед. наук, врач сердечно-сосудистый хирург, научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-4023-455X>

Кривошеков Евгений Владимирович – доктор мед. наук, заведующий кардиохирургическим отделением №3, врач сердечно-сосудистый хирург ФГБУ “Федеральный центр высоких медицинских технологий” Минздрава России, Калининград. <https://orcid.org/0000-0002-0828-3995>

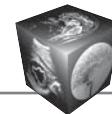
Contact*: Roman S. Kozhanov – e-mail: romankozhanoff@yandex.ru

Alexander A. Sokolov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Functional and Laboratory Diagnostics, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0513-9012>

Roman S. Kozhanov – cardiovascular surgeon, Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-0493-4762>

Oleg A. Egunov – Cand. of Sci. (Med.), cardiovascular surgeon, Researcher of Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-4023-455X>

Evgeny V. Krivoshchekov – Doct. of Sci. (Med.), Head of Cardiac Surgery Department No 3, cardiovascular surgeon, Federal Center for High Medical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kaliningrad. <https://orcid.org/0000-0002-0828-3995>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1458>

Характеристика структуры местных осложнений некротического панкреатита в позднюю фазу с помощью КТ и МРТ

© Араблинский А.В.¹, Титов М.Ю.^{1, 2*}, Буславская А.^{1, 2}

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

² ГБУЗ города Москвы "Городская клиническая больница имени С.П. Боткина ДЗ города Москвы"; 125284 Москва, 2-й Боткинский пр-д, 5, Российская Федерация

Введение. Компьютерная томография (КТ) является наиболее распространенным методом визуализации, используемым для выявления некротических скоплений при остром панкреатите. Однако с помощью только КТ бывает трудно дифференцировать некротические остатки от жидкого компонента, что играет важную роль в планировании вмешательства и прогнозировании исхода.

Цель исследования: оценить преимущества и недостатки, а также специфику применения КТ и МРТ в характеристике этих осложнений. Охарактеризовать и структурировать местные осложнения панкреонекроза в позднюю фазу с использованием КТ и МРТ.

Материал и методы. Проанализированы данные пациентов ГКБ имени С.П. Боткина за 2017–2022 гг. с диагнозом "панкреонекроз", которым были выполнены и КТ, и МРТ по прошествии 2 нед и более от начала заболевания (2-я или поздняя фаза панкреонекроза). Всего было 57 человек (34 мужчины и 23 женщины), возрастной диапазон 18–71 год. КТ проводилась с внутривенным четырехфазным контрастированием, для оценки использовались изображения в панкреатическую фазу, МРТ – по стандартному протоколу, включающему T2-взвешенные изображения, или протоколу МРХПГ.

Результаты. Всего было выявлено 102 перипанкреатических скопления, минимальный размер для оценки составил 20 мм, один пациент мог иметь более одного скопления. Полученные данные структурировались попарно: одному скоплению соответствовали его изображения на компьютерной и магнитно-резонансной томограммах. КТ показала чувствительность 77% в отношении плотного материала в структуре, МРТ же выявляла секвестры во всех случаях, чувствительность 100%. Визуализировать соустье главного панкреатического протока со скоплением при МРТ удавалось в 12% случаев, при КТ – в 4% случаев. Выявленные скопления были классифицированы на 3 типа, основываясь на результатах визуализации их структуры.

Заключение. КТ остается "золотым стандартом" диагностики острого панкреатита и панкреонекроза, однако имеет ограниченную чувствительность в характеристике структуры местных осложнений в позднюю фазу заболевания. Использование в эти сроки МРТ ввиду ее большей тканевой контрастности позволяет уточнять состав перипанкреатических скоплений и определять их возможную связь с протоковой системой. Выделенные нами типы скоплений на основе КТ- и МРТ-визуализации способствуют более объективной оценке картины для выбора наиболее подходящего метода ведения пациента и типа возможного хирургического лечения.

Ключевые слова: компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; острый панкреатит; фазы панкреонекроза; секвестры

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Араблинский А.В., Титов М.Ю., Буславская А. Характеристика структуры местных осложнений некротического панкреатита в позднюю фазу с помощью КТ и МРТ. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 57–69. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1458>

Поступила в редакцию: 21.02.2024. Принята к печати: 18.06.2024. Опубликовано online: 9.07.2024.



Characterization of the structure of local complications of necrotic pancreatitis in the late phase using CT and MRI

© Andrey V. Arablinskii¹, Mikhail Yu. Titov^{1, 2*}, Alisa Buslavskaya^{1, 2}

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

² S.P. Botkin City Clinical Hospital; 5, 2nd Botkinsky pr., Moscow 125284, Russian Federation

Introduction: Computed tomography is the most common imaging modality used to identify necrotic collections in acute pancreatitis. However, using CT alone, it can be difficult to differentiate necrotic residues from the liquid component, which plays an important role in planning the intervention and predicting the outcome.

Objective. To evaluate the advantages and disadvantages, as well as the specifics of the use of CT and MRI in characterizing these complications. To characterize and structure local complications of pancreatic necrosis in the late phase using CT and MRI.

Materials and methods. The data of patients of the Botkin State Clinical Hospital for 2017–2022 with a diagnosis of necrotising pancreatitis, who underwent both CT and MRI after 2 weeks or more from the onset of the disease (2nd or late phase of necrotising pancreatitis), were analyzed. There are 57 people in total (34 men and 23 women), the age range is 18–71 years. CT was performed with intravenous four-phase contrast, images in the pancreatic phase were used for evaluation. MRI was performed using a standard protocol including T2-weighted images or the MRCP protocol.

Results. A total of 102 peripancreatic collections were identified, the minimum size for evaluation was 20 mm, one patient could have more than one collection. The data obtained were structured in pairs: one collection corresponded to its images on CT and on MRI. CT showed a sensitivity of 77% with respect to dense material in the structure, while MRI revealed sequestration in all cases, sensitivity of 100%. It was possible to visualize the communication of the main pancreatic duct with accumulation on MRI in 12% of cases, on CT in 4% of cases. The identified collections were classified into three types based on their structure.

Conclusions. CT remains the “gold standard” for the diagnosis of acute pancreatitis and necrotising pancreatitis, however, it has limited sensitivity in characterizing the structure of local complications in the late phase of the disease. Due to its greater tissue contrast MRI allows to assess the composition of peripancreatic collections and determine their possible connection with the ductal system. The types of collections we have identified based on CT and MRI imaging contribute to a more objective assessment of the picture in order to select the most appropriate method of patient management and the type of possible surgical treatment.

Keywords: computed tomography; magnetic resonance imaging; acute pancreatitis; phases of pancreatic necrosis; sequestrations

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

For citation: Arablinskii A.V., Titov M.Yu., Buslavskaya A. Characterization of the structure of local complications of necrotic pancreatitis in the late phase using CT and MRI. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 57–69. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1458>

Received: 21.02.2024.

Accepted for publication: 18.06.2024.

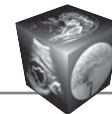
Published online: 9.07.2024.

Введение

Лучевая диагностика деструктивного панкреатита особенно сложна для структурированной оценки во 2-ю фазу заболевания (позднюю, фазу секвестрации), которая начинается через 2 нед от появления клинических симптомов. Данный период характеризуется формированием грануляционной или фиброзной стенки вокруг некротизированных ранее тканей и их литическими изменениями (ликвификацией) [1–4].

Компьютерная томография (КТ) является наиболее распространенным методом визуализа-

ции при остром панкреатите и в позднюю фазу используется, главным образом, для характеристики некротических скоплений. Однако только с помощью КТ бывает трудно дифференцировать наркотизированные ткани от жидкостного компонента, что играет важную роль в планировании вмешательства и прогнозировании исхода [5–9]. В соответствии с отечественными рекомендациями магнитно-резонансная томография (МРТ) в данный период применяется лишь как “резервный” метод при невозможности выполнения КТ [4].



В отечественной и зарубежной литературе сохраняется дискуссия об эффективности того или иного метода лечения местных осложнений панкреонекроза [4]. Часто такие споры решаются локально, и итогом является выработка разнообразных внутрибольничных алгоритмов с акцентом на индивидуальные особенности течения заболевания. Усугубляется ситуация отсутствием приверженности к международной терминологии со стороны врачей лучевой диагностики.

Актуальность данной темы обоснована важностью корректного взаимодействия врача-диагноста, лечащего врача, а также хирурга. Детальная характеристика местных осложнений панкреонекроза при КТ и МРТ напрямую влияет на выбор метода оперативного вмешательства и дальнейшее ведение пациента.

Цель исследования: охарактеризовать и структурировать местные осложнения панкреонекроза в позднюю фазу при использовании КТ и МРТ. Оценить преимущества и недостатки, а также специфику применения КТ и МРТ в характеристике этих осложнений.

Материал и методы

Проанализированы данные пациентов ГКБ имени С.П. Боткина за 2017–2022 гг. с диагнозом “панкреонекроз”, которым были выполнены КТ, и МРТ по прошествии 2 нед от начала заболевания (2-я фаза панкреонекроза). Всего было 57 человек (34 мужчины и 23 женщины), возрастной диапазон 18–71 год.

КТ проводилась с внутривенным четырехфазным контрастированием, для оценки использовались изображения в панкреатическую фазу. МРТ выполнялась по стандартному протоколу, включающему T2-взвешенные изображения, или протоколу МРХПГ.

Перипанкреатические скопления были условно отделены друг от друга, пороговый размер включения составил 20 мм. 28 пациентов имели 1 скопление, 17 пациентов – 2 скопления, 8 пациентов – 3, 4 пациента – 4 и более (всего 102 скопления). Для сравнительной оценки использовались два исследования одного пациента (КТ и МРТ), выполненные в максимально близкие сроки, чтобы снизить фактор эволюционных изменений. КТ и МРТ, выполненные после оперативного вмешательства (например, дренирования, которое могло повлиять на состав содержимого), исключались из исследования.

Характеристика выявляемых изменений происходила согласно Атлантской классификации 2012 г. и отечественных клинических рекоменда-

ций 2022 г. с разграничением местных осложнений на острые некротические скопления (в течение первых 4 нед, 26 пациентов) и отграниченные некрозы или псевдокисты (после 4-й недели, 31 пациент). У 8 пациентов скопления при КТ и при МРТ выявлялись в разные периоды, до и после окончания 4-й недели, поэтому терминология отличалась – тогда в статистике учитывался усредненный срок заболевания.

Оценивалась структура скоплений на наличие плотных компонентов (секвестров), а также возможную их связь с протоковой системой железы. Верификация полученных при визуализации данных происходила интраоперационно или в результате патологоанатомического исследования.

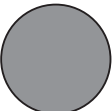
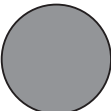
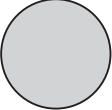
Результаты

Выявляемые скопления были разделены на 3 типа (см. таблицу):

- при 1-м типе ($n = 49$) скопления имели однородное содержимое жидкостной плотности на компьютерной томограмме и гомогенный гиперинтенсивный сигнал на T2ВИ на магнитно-резонансной томограмме, что позволяло судить о полностью жидкостном содержимом и отсутствии секвестров;
- при 2-м типе ($n = 12$) структура скоплений на компьютерной томограмме визуализировалась однородно, однако на магнитно-резонансной томограмме определялись участки неоднородности в виде снижения интенсивности сигнала на фоне гиперинтенсивной на T2ВИ жидкости;
- 3-й тип скоплений ($n = 41$) характеризовался наличием неоднородности структуры и на компьютерной, и на магнитно-резонансной томограмме. На компьютерной томограмме такая неоднородность определялась как включения жировой или мягкотканной плотности, отличающиеся от плотности жидкости в меньшую или большую сторону соответственно. В зависимости от количества визуализирующихся секвестров на компьютерной томограмме были обозначены два подтипа: подтип “а” характеризовался на компьютерной и на магнитно-резонансной томограммах значимым несоответствием количества секвестров (более чем наполовину); в то время как подтип “b” соответствовал сходному количеству визуализирующихся секвестров при обоих исследованиях.

При использовании КТ чувствительность в отношении плотного материала в просветах перипанкреатических скоплений составила 77%, выявляя неоднородность плотности в 41 из 53 скоплений. Однако среди выделенных 41 скопления

**Таблица.** Типы некротических скоплений в зависимости от структуры, определяемой с помощью КТ и МРТ**Table.** The types of necrotic collections depend on the structure determined by CT and MRI

	1-й тип / Type 1	2-й тип / Type 2	3-й тип / Type 3	
			a	b
КТ / CT				
МРТ / MRI				
Всего / All	n = 49	n = 12	n = 21	n = 20
ОНС / ANC	n = 8	n = 7	n = 8	n = 11
ОН или ПК / WON or PC	n = 41	n = 5	n = 13	n = 9

в 21 (40%) отмечалось значительное преуменьшение объема плотного материала в сравнении с МРТ. Однородные скопления на компьютерной томограмме составили 61, в 12 (20%) из которых секвестры на магнитно-резонансной томограмме все же визуализировались.

Выявляемые на магнитно-резонансной томограмме секвестры верифицировались во всех случаях (чувствительность 100%), однако в 5 (9%) исследованиях отмечалось сниженное качество за счет двигательных артефактов. Также на ранних сроках секвестрации (3-я неделя) отмечалась недостаточная дифференцировка сохранных и некротизированных тканей из-за недостаточного количества гиперинтенсивного на T2ВИ жидкостного компонента.

Большинство острых некротических скоплений содержали секвестры (26 из 34, 76%), в то время как отграниченные скопления чаще являлись гомогенно жидкостными, терминологически соответствуя псевдокистам (41 из 68, 60%). Количество скоплений с секвестрами, выявленных до 4-й недели, было лишь немного меньше, чем скоплений с плотным материалом после 4-й недели (26 против 27).

Визуализировать соустье главного панкреатического протока со скоплением на магнитно-резонансной томограмме удавалось у 7 (12%) из 57 человек, при этом сообщающееся скопление соответствовало 1-му типу в большинстве случаев (5 из 7, 71%). На компьютерной томограмме такое соустье визуализировалось лишь у 2 (4%) пациентов, во всех случаях скопления соответствовали 1-му типу (2 из 2, 100%). Косвенным признаком связи скоплений с протоковой системой является увеличение их размеров в динамике при сохранении жидкостной структуры содержимого.

Обсуждение

Опыт специалистов всего мира по-разному отражается во взгляде на диагностику и лечение пациентов с деструктивным панкреатитом.

И в отечественной литературе, и в пересмотренной в 2012 г. классификации Атланты выделяют фазовое течение заболевания [3, 4]. Однако в российских клинических рекомендациях (актуальные от 2022 г.) эта классификация относится исключительно к деструктивной форме панкреатита, где 1-я неделя (фаза токсемии) и 2-я неделя (реактивная фаза) составляют раннюю фазу, а поздняя фаза (фаза секвестрации) начинается с 3-й недели [4]. Классификация Атланты 2012 включает все формы острого панкреатита, а деление на фазы происходит на основании двух пиков смертности: раннего (результат синдрома системного воспалительного ответа) на 1-й неделе заболевания и позднего (результат инфицирования скоплений) со 2-й недели, достигающим пика на 4-й неделе [3]. Однако стоит заметить, что отечный панкреатит не вызывает органной недостаточности, а острые перипанкреатические жидкостные скопления и псевдокисты инфицируются крайне редко, не являясь причинами смертности [3]. Отечественная классификация фаз кажется нам более применимой в практике также и потому, что она описывает эволюцию некроза тканей, доступного для оценки с помощью лучевых методов.

Сложность характеристики местных осложнений панкреонекроза в позднюю фазу также связана с “промежуточным” характером изменений. Капсула некротических скоплений формируется после 2-й недели заболевания, а окончательное формирование может занять несколько месяцев, однако условной отметкой отграничения считается

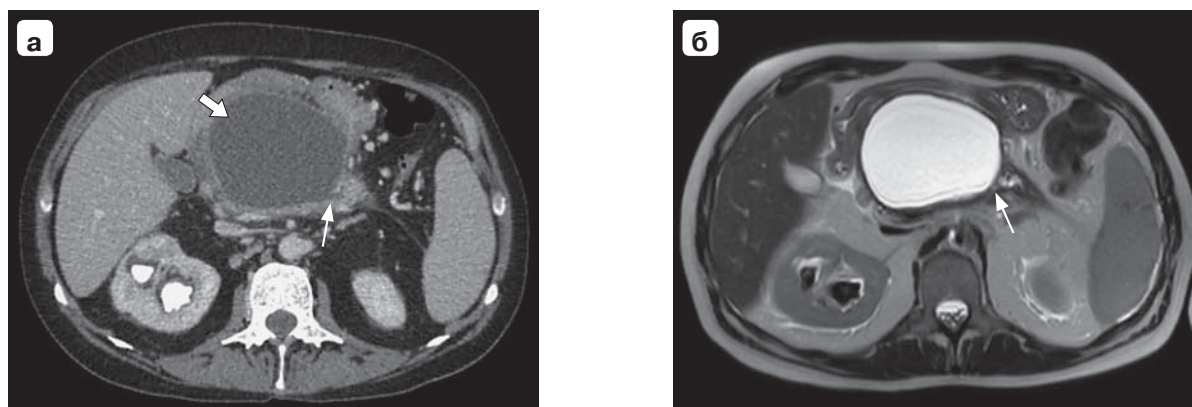
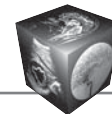


Рис. 1. КТ с внутривенным контрастированием, панкреатическая фаза, аксиальная плоскость (а). МРТ, T2-взвешенное изображение, аксиальная плоскость (б). 8-я неделя после перенесенного деструктивного панкреатита в области тела железы с формированием в области тела железы псевдокисты (1-й тип), сообщающейся с главным панкреатическим протоком.

а – в структуре тела поджелудочной железы, пролабируя кпереди, определяется ограниченное капсулой скопление (стрелка). Содержимое скопления однородное, жидкостной плотности. В области хвоста визуализируется соустье с главным панкреатическим протоком (тонкая стрелка);

б – визуализация с помощью МРТ подтверждает отсутствие секвестров в скоплении. Главный панкреатический проток в хвосте железы расширен и извит, однако соустье с просветом псевдокисты также визуализируется (тонкая стрелка).

Fig. 1. Contrast enhancement CT, pancreatic phase, axial plane (a). MRI, T2-weighted image, axial plane (b). 8 weeks after suffering necrotising pancreatitis in the pancreas body area with the formation of a pseudocyst pancreas (type 1) communicating with the main pancreatic duct in the body area.

a – In the structure of the body of the pancreas, prolaping anteriorly, the collection delimited by the capsule is determined (arrow). The contents of the collection are homogeneous, of liquid density. A junction with the main pancreatic duct is visualized in the tail area (thin arrow);

b – MRI imaging confirms the absence of sequestration in the collection. The main pancreatic duct in the tail of the pancreas is expanded and convoluted, however, the junction with the pseudocyst lumen is also visualized (thin arrow).

ся окончание 4-й недели, в результате чего термин “острое некротическое скопление” сменяется на “отграниченный некроз” [3]. Иногда срок может не соответствовать получаемым при КТ характеристикам капсулы [10]. Несмотря на это, опора, в первую очередь, на сроки заболевания снижает субъективность оценки, что важно для стандартизации динамического контроля.

Большой вклад в понимание развития заболевания вносят терминология и ее правильное применение. Так, псевдокиста по отечественным клиническим рекомендациям является следствием деструктивного панкреатита и может содержать секвестры [4], синонимизируясь с существующим параллельно термином “отграниченный некроз”. Согласно классификации Атланты 2012, псевдокиста формируется с отграничением острых перипанкреатических жидкостных скоплений при отечном панкреатите, но допустимо использование этого термина также и при деструктивном панкреатите, если утечка секрета из протоковой системы железы происходит в полость без формирования нового некроза [3]. Однако псевдокисты из острых перипанкреатических жидкостных скоплений раз-

виваются редко [11], в отличие от псевдокист при деструктивном панкреатите, встречающихся гораздо чаще отграниченных некрозов (скоплений с секвестрами после 4-й недели), что не соответствует акцентам, отраженным в классификации Атланты 2012. Данная таблица (см. таблицу) является наглядной для разделения псевдокист и отграниченных некрозов, так как скопления после 4-й недели и без секвестров выделяются в отдельный тип (1-й тип).

Так как отследить историю развития скопления бывает затруднительно, а связь с протоковой системой не всегда очевидна, то ключевым признаком, отличающим псевдокисты от отграниченных некрозов, остается отсутствие секвестров – эти скопления составляют основную часть скоплений 1-го типа. Острые некротические скопления 1-го типа не содержат некроза и, сохраняясь, отграничиваются, формируют скопления без секвестров (псевдокисты). Псевдокисты могут саморазрешаться в течение нескольких недель или сохраняться длительное время без динамики, но при наличии связи с протоковой системой – увеличиваются (рис. 1). В таких случаях симптоматика

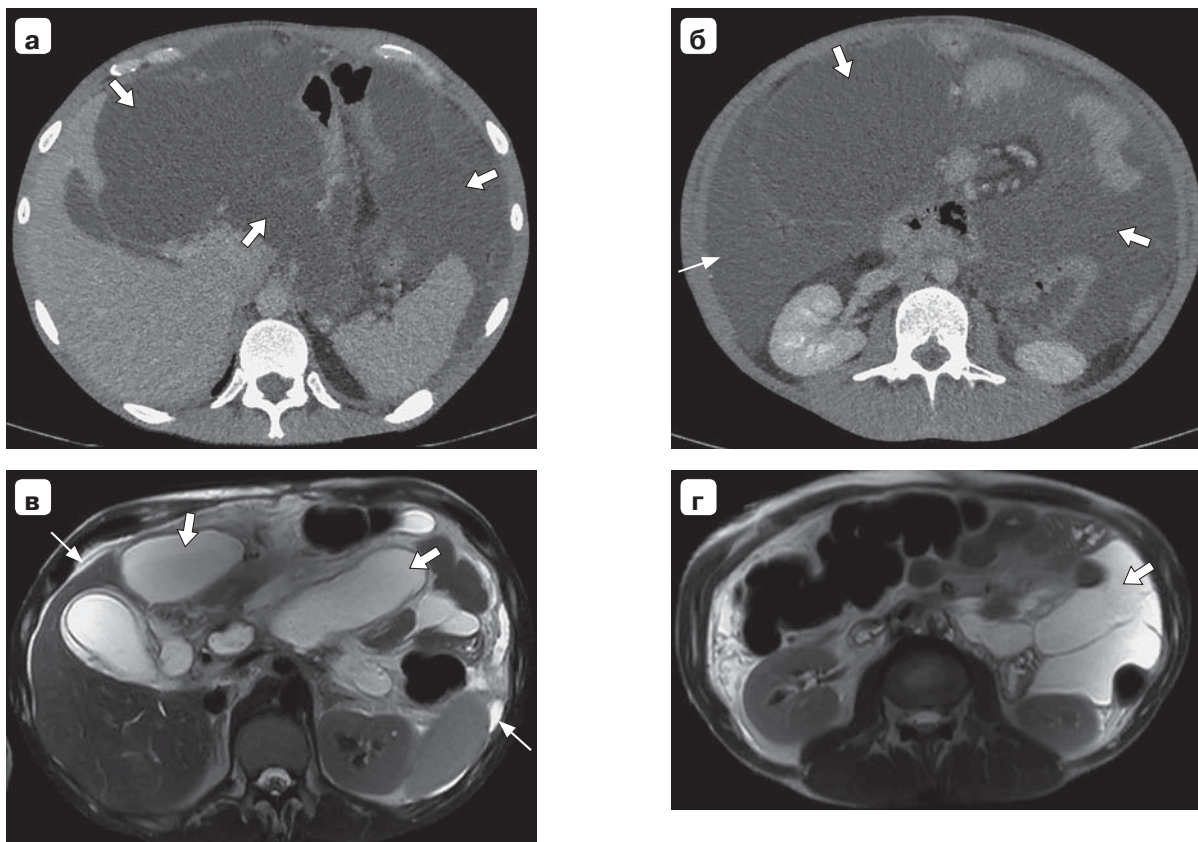


Рис. 2. КТ с внутривенным контрастированием, панкреатическая фаза, аксиальная плоскость (а, б). МРТ, T2-взвешенное изображение, аксиальная плоскость (в, г). Перенесенный около 4 лет назад панкреонекроз с формированием гигантских псевдокист на компьютерной и магнитно-резонансной томограммах (1-й тип).

а – отграниченные капсулой гомогенные скопления жидкостной плотности (стрелки) в верхних отделах живота распространяются подпеченочно, парагастрально и околоселезеночно. Смежные органы компримированы;

б – псевдокисты распространяются межпетельно (стрелки). В области правого латерального канала отмечается скопление свободной жидкости в полости брюшины – разрыв псевдокисты (тонкая стрелка);

в, г – состояние после дренирования полости брюшины. Сохраняются гомогенные гиперинтенсивные на T2-взвешенном изображении скопления, уменьшившиеся в объеме (стрелки). Свободной жидкости в полости брюшины значительно меньше (тонкие стрелки), компрессия органов не выражена.

Fig. 2. Contrast enhancement CT, pancreatic phase, axial plane (а, б). MRI, T2-weighted image, axial plane (в, г). Necrotising pancreatitis transferred about 4 years ago with the formation of giant pseudocysts on CT and MRI (type 1).

а – Capsule-limited homogeneous accumulations of liquid density (arrows) in the upper abdomen spread subhepatically, paragastrically and perihelically. The adjacent organs are compressed;

б – Pseudocysts spread inter-loop (arrows). In the area of the right lateral canal, there is a collection of free fluid in the peritoneal cavity – a rupture of the pseudocyst (thin arrow);

в, г – The condition after drainage of the peritoneal cavity. Homogeneous hyperintensive T2-weighted image collections remain, which have decreased in volume (arrows). There is much less free fluid in the peritoneal cavity (thin arrows), and organ compression is not pronounced.

может быть связана со сдавлением внутренних органов (желудочно-кишечного тракта, желче- и мочевыделительной системы) или с разрывом псевдокисты [12, 13]. Это отражено в клиническом примере, где острая боль у пациента была вызвана нарушением целостности гигантской псевдокисты, существовавшей бессимптомно после перенесенного несколько лет назад панкреонекроза (рис. 2).

При очевидном наличии твердого некротического материала в полости, заполненной жидкостью, термин “псевдокиста” использовать не следует [3]. Поэтому любое отграниченное скопление в структуре поджелудочной железы или перипанкреатической клетчатки в результате панкреонекроза должно по умолчанию считаться отграниченным некрозом, пока не доказано отсутствие секвестров в его просвете. Эта же логика может

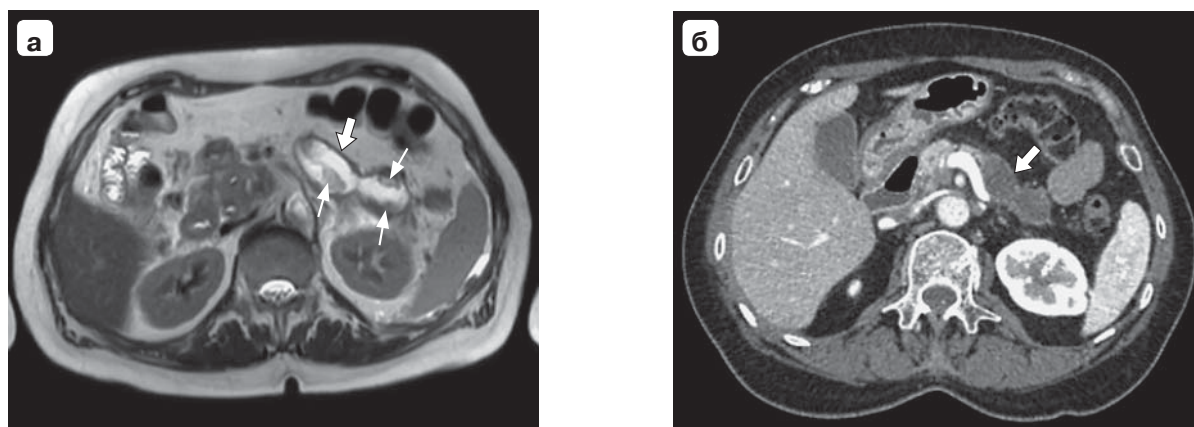
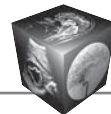


Рис. 3. МРТ, T2-взвешенное изображение, аксиальная плоскость (а). КТ с внутривенным контрастированием, панкреатическая фаза, аксиальная плоскость (б). Отграниченные некрозы в области хвоста поджелудочной железы с секвестрами в структуре (2-й тип).

а – 5-я неделя от начала заболевания. Визуализируется гантелевидное отграниченное скопление (стрелка), неоднородное за счет гипоинтенсивных секвестров (тонкие стрелки) на фоне гиперинтенсивной жидкости;

б – 8-я неделя от начала заболевания. Скопление уменьшилось в размерах (стрелка), структура однородная, жидкостной плотности, однако наличие секвестров в структуре вероятно.

Fig. 3. MRI, T2-weighted image, axial plane (a). Contrast enhancement CT, pancreatic phase, axial plane (b). Walled-off necrosis (WON) in the area of the tail of the pancreas with necrotic debris in the structure (type 2).

а – 5 weeks from the onset of the disease. A dumbbell-shaped delimited collection is visualized (arrow), heterogeneous due to hypointensive necrotic debris (thin arrows) against a background of hyperintensive fluid;

б – 8 weeks from the onset of the disease. The collection has decreased in size (arrow), the structure is homogeneous, liquid density, however, the presence of necrotic debris in the structure is likely.

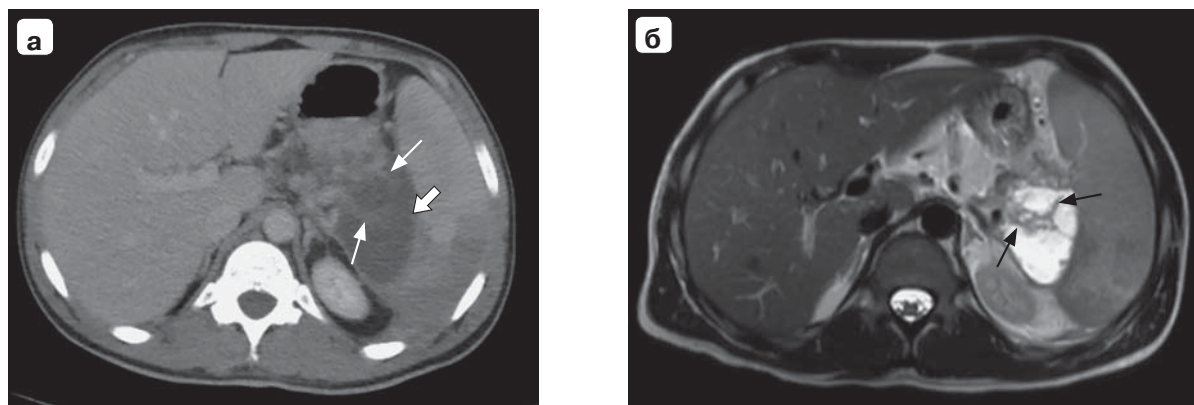


Рис. 4. КТ с внутривенным контрастированием, панкреатическая фаза, аксиальная плоскость (а). МРТ, T2-взвешенное изображение, аксиальная плоскость (б). Деструктивный панкреатит с формированием острого некротического скопления в области ворот селезенки с секвестрами в структуре (3б тип), 4-я неделя заболевания.

а – в области хвоста поджелудочной железы, прилегая к переднему листку почечной фасции слева и воротам селезенки, определяется скопление без признаков сформированной капсулы (стрелка), жидкостной плотности, с нечеткими гиперденсными включениями в структуре (тонкие стрелки);

б – МР-картина повторяет данные, полученные с помощью КТ. Гипоинтенсивные включения на фоне гиперинтенсивной жидкости соответствуют секвестрам (тонкие стрелки).

Fig. 4. Contrast enhancement CT, pancreatic phase, axial plane (a). MRI, T2-weighted image, axial plane (b). Necrotising pancreatitis with the formation of ANC in the area of the spleen gate with necrotic debris in the structure (type 3b), week 4 of the disease.

а – In the area of the tail of the pancreas, adjacent to the anterior leaf of the renal fascia on the left and the gate of the spleen, a collection without signs of a formed capsule (arrow), liquid density with indistinct hyperdense inclusions in the structure is determined (thin arrows);

б – The MR pattern repeats the data obtained by CT. Hypointensive inclusions on the background of hyperintensive fluid correspond to necrotic debris (thin arrows).

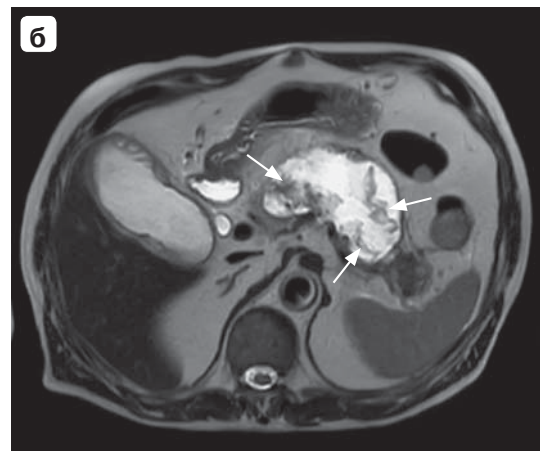
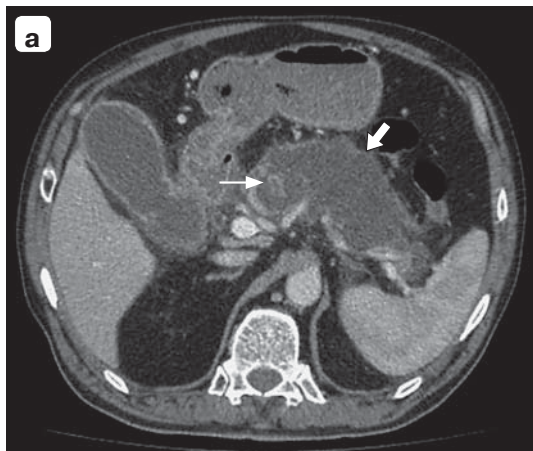


Рис. 5. КТ с внутривенным контрастированием, панкреатическая фаза, аксиальная плоскость (а). МРТ, T2-взвешенное изображение, аксиальная плоскость (б). Деструктивный панкреатит в области тела и хвоста железы с формированием острых некротических скоплений с секвестрами в структуре (3а тип), 4-я неделя заболевания.

а – структура тела и частично хвоста железы замещены острыми некротическими скоплениями, распространяющимся на перипанкреатическую клетчатку (стрелка). Содержимое скопления неоднородное с гиперденсными включениями в правых отделах (тонкие стрелки);

б – с помощью МРТ в просвете скопления визуализируются гипоинтенсивные секвестры в значительно большем количестве (тонкие стрелки).

Fig. 5. Contrast enhancement CT, pancreatic phase, axial plane (a). MRI, T2-weighted image, axial plane (b). Necrotising pancreatitis in the area of the body and tail of the pancreas with the formation of acute necrotic collections with necrotic debris in the structure (type 3a), week 4 of the disease.

a – the structure of the body and partially the tail of the pancreas are replaced by acute necrotic collections, extending to the peripancreatic fat (arrow). The contents of the collection are heterogeneous with hyperdense inclusions in the right sections (thin arrow);

b – however, with the help of MRI, hypointensive necrotic debris are visualized in a much larger number in the lumen of the collection (thin arrows).

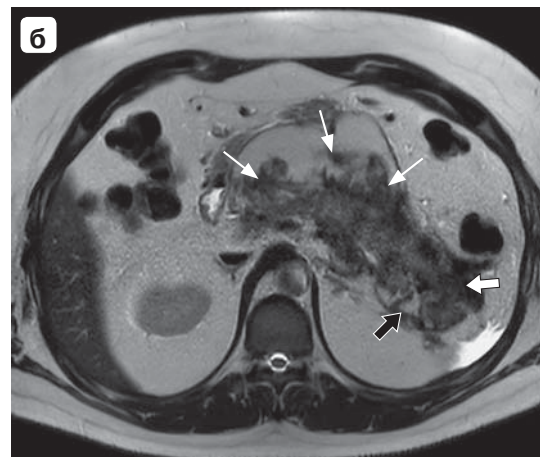
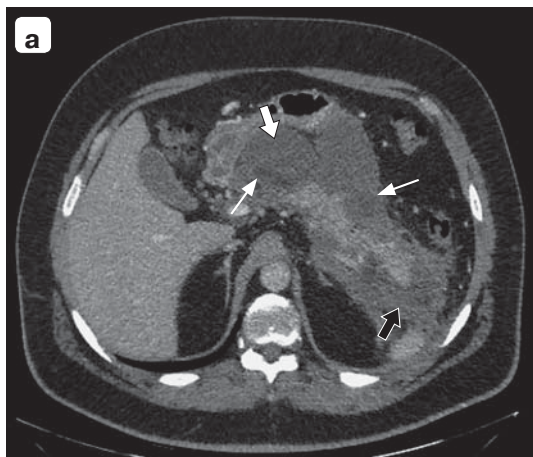


Рис. 6. КТ с внутривенным контрастированием, панкреатическая фаза, аксиальная плоскость (а). МРТ, T2-взвешенное изображение, аксиальная плоскость (б). Деструктивный панкреатит в области тела и хвоста железы с формированием обширного скопления – отграниченного некроза (3а тип).

а – 5-я неделя заболевания. Отграниченное скопление в области тела железы преимущественно жидкостной плотности (стрелка), в структуре нечеткие включения плотности жира (тонкие стрелки), объем которых оценить сложно. Скопление в области хвоста имеет сходную структуру, однако жидкостный компонент менее выражен (черная стрелка);

б – 8-я неделя заболевания. С помощью МРТ подтверждается неоднородность структуры скоплений, секвестры визуализируются более четко и в большем объеме (тонкие стрелки). А скопление в области хвоста железы практически полностью выполнено секвестрами (стрелка), объем жидкостного компонента в его составе минимален (черная стрелка).

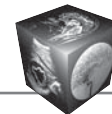


Fig. 6. Contrast enhancement CT, pancreatic phase, axial plane (**a**). MRI, T2-weighted image, axial plane (**б**). Necrotising pancreatitis in the area of the body and tail of the pancreas with the formation of an extensive collection – walled-off necrosis (type 3a).

a – week 5 of the disease. The delimited collection in the area of the pancreas body is predominantly of liquid density (arrow), there are indistinct inclusions of fat density in the structure, the volume of which is difficult to estimate. The collection in the tail region has a similar structure (thin arrows), but the liquid component is less pronounced (black arrow);

б – the 8th week of the disease. MRI confirms the heterogeneity of the collection structure, necrotic debris are visualized more clearly and in greater volume (thin arrows). And the collection in the area of the tail of the pancreas is almost completely carried out by necrotic debris (arrow), the volume of the liquid component in its composition is minimal (black arrow).

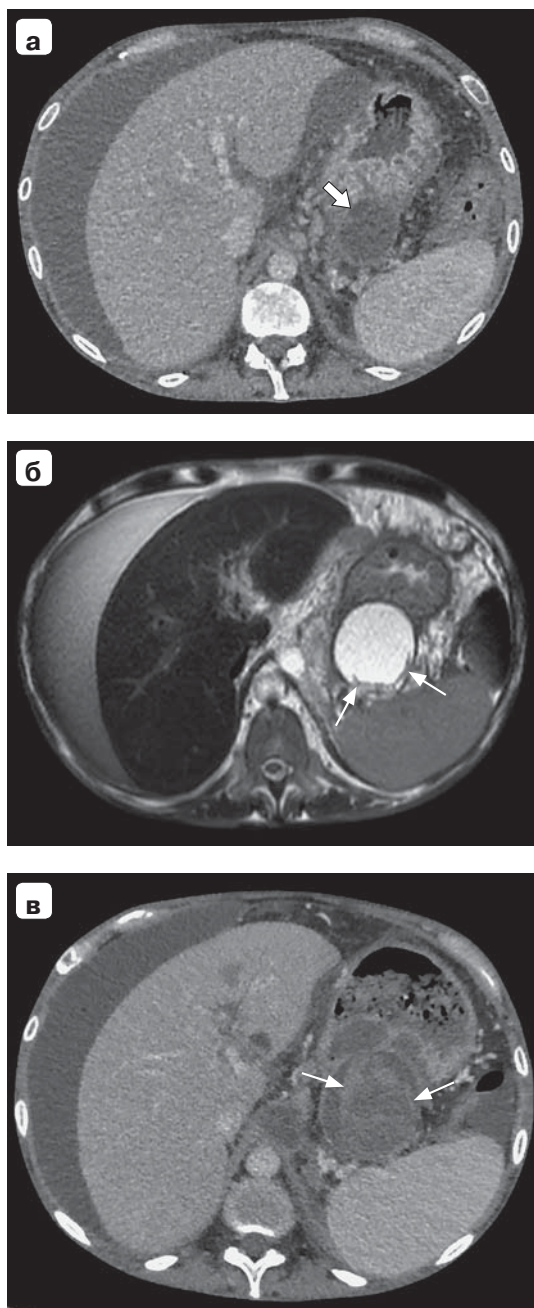


Рис. 7. КТ с внутривенным контрастированием, панкреатическая фаза, аксиальная плоскость (**a, в**). МРТ, T2-взвешенное изображение, аксиальная плоскость (**б**). Деструктивный панкреатит с формированием отграниченного некроза в области хвоста железы (2-й тип), асцит.

a – 8-я неделя заболевания. Отграниченное капсулой гомогенное скопление жидкостной плотности парагастрально у верхнего края хвоста поджелудочной железы (стрелка);

б – 8-я неделя заболевания. На магнитно-резонансной томограмме пристеночно визуализируется небольшое количество плотного материала (тонкие стрелки), объем скопления увеличился;

в – 9-я неделя заболевания. Дальнейшее увеличение объема отграниченного некроза с появлением в структуре большого количества ранее не визуализирующегося плотного компонента (тонкие стрелки). При дренировании геморрагический характер содержимого подтвержден.

Fig. 7. Contrast enhancement CT, pancreatic phase, axial plane (**a, в**). MRI, T2-weighted image, axial plane (**б**). Necrotising pancreatitis with the formation of walled-off necrosis in the area of the tail pancreas (type 2), ascites.

a – week 8 of the disease. The homogeneous collection of liquid density delimited by the capsule is paragastric at the upper edge of the tail of the pancreas (arrow);

б – the 8th week of the disease. On MRI, a small amount of dense material is visualized near the wall (thin arrows), the volume of collection has increased;

в – week 9 of the disease. A further increase in the volume walled-off necrosis is associated with the appearance in the structure of a large number of previously non-visualized dense component (thin arrows). During drainage, the hemorrhagic nature of the contents was confirmed.



быть применена в более ранние сроки для скоплений, имеющих при КТ жидкостную плотность, но по умолчанию терминологически являясь острыми некротическими скоплениями. Секвестры могут присутствовать даже при гомогенной жидкостной картине скопления на компьютерной томограмме, чем характеризуются скопления 2-го типа, однако в таких случаях МРТ позволяет их визуализировать (рис. 3). Скопления 3-го типа, характеризующиеся неоднородностью структуры на компьютерной томограмме, также требуют уточнения с помощью МРТ, так как количество секвестров может как соответствовать при обоих методах (рис. 4), так и значительно отличаться (рис. 5, 6). Наличие плотного компонента в структуре отграниченных некрозов повышает вероятность их инфицирования со временем [14, 15].

Содержимое скоплений может быть неоднородным не всегда только за счет секвестров. Одним из основных осложнений, связанных с вовлечением сосудистого русла, наряду с тромбозом вен и формированием ложных аневризм артерий является кровоизлияние в просвет скопления. Дифференцировать геморрагический компонент от секвестров только при одном исследовании КТ не представляется возможным, однако динамическое увеличение количества гиперденсных включений вкупе с увеличением объема скопления позволяет заподозрить состоявшееся кровотечение в полость (это исследование не попало в выборку, однако является показательным) (рис. 7).

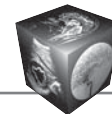
Наиболее важным является выделение скоплений 2-го и 3а типов, составляющих значительную часть (32%) среди общего числа, так как при использовании в диагностике только КТ формируется ложное представление об их преимущественно жидкостной структуре. В настоящее время данная особенность не учитывается в отечественных клинических рекомендациях, а выбор метода хирургического лечения строится только на локализации и распространенности некротических скоплений. В позднюю фазу хирургическое лечение может применяться при наличии клинических жалоб, усугублении клинико-лабораторной картины или появлении признаков инфицирования скоплений, при этом предпочтение отдается малотравматичным технологиям [3]. В рамках поэтапного подхода первичным методом является чрескожное дренирование. Выделенные нами скопления 1-го типа не имеют секвестров, а жидкостное содержимое хорошо поддается дренированию. Однако использование чрескожного дренирования для лечения связанных с протоковой

системой железы псевдокист характеризуется большей долей рецидивов, чем при использовании других методов лечения [16]. Чрескожное дренирование скоплений 2-го и 3-го типов может оказаться неэффективным из-за невозможности отхождения плотного материала и нарушения проходимости дренажа для жидкостного компонента [17]. Данная особенность не отражена в показаниях к оперативному лечению, также отсутствуют показания к МРТ с целью уточнения структуры некротических скоплений. Недооценка плотного материала при установке чрескожных дренажей способствует повышению вероятности инфицирования скоплений от 50 до 70%, а их долгая экспозиция может способствовать распространению инфекции или формированию наружного панкреатического свища [18–20]. Для эффективного удаления плотного компонента скоплений (секвестрэктомии) требуется переход к открытому типу вмешательств: ретромезентериальной секвестрэктомии или лапаротомии. Открытые вмешательства рекомендуется выполнять по окончании 4-й недели заболевания после формирования капсулы скоплений для снижения риска осложнений. Недооценка плотного компонента в случае скоплений 2-го и 3а типов может затягивать чрескожный этап дренирования и не позволит вовремя расширить доступ до хирургического. В недавних анализах были показаны преимущества также и эндоскопического подхода перед чрескожным дренированием [21, 22]. Данный доступ требуется к локализации скоплений и применяется для их парагастрального расположения, он позволяет малоинвазивно сформировать цистогастроанастомоз и обеспечить как пассивное, так и активное удаление жидкостного компонента и некротизированных тканей [23–26].

Оптимальный метод дренирования скоплений позволяет сократить время лечения, кроме того, уменьшается вероятность раннего инфицирования и развития других осложнений [27–29].

Заключение

КТ имеет ограниченную чувствительность в характеристике структуры местных осложнений в позднюю фазу панкреонекроза. Использование в эти сроки МРТ ввиду ее большей тканевой контрастности позволяет уточнить состав скоплений и определить их возможную связь с протоковой системой. Выделенные нами типы диагностируемых скоплений на основе КТ и МРТ способствуют формированию более полной картины заболевания и выработке дифференцированного подхода к ведению пациентов с этим диагнозом.



Участие авторов

Араблинский А.В. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Титов М.Ю. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Буславская А. – обзор публикаций по теме статьи, участие в научном дизайне.

Authors' participation

Arablinskii A.V. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Titov M.Yu. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, 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.

Buslavskaya A. – review of publications, participation in scientific design.

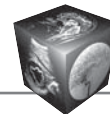
Список литературы

1. Шабунин А.В., Араблинский А.В., Бедин В.В., Шиков Д.В., Лукин А.Ю., Тавобилов М.М., Греков Д.Н., Сидорова Ю.В. Роль современных методов лучевой диагностики в лечении больных острым панкреатитом, панкреонекрозом. *Медицинская визуализация*. 2009; 1: 35–49.
2. Шабунин А.В., Араблинский А.В., Лукин А.Ю., Шиков Д.В., Сидорова Ю.В. Панкреонекроз. Диагностика и лечение. М.: Изд-во ГЭОТАР, 2014. 96 с. ISBN: 978-5-9704-2825-2
3. Banks P.A., Bollen T.L., Dervenis C. et al; Acute Pancreatitis Classification Working Group. Classification of acute pancreatitis-2012: revision of the Atlanta classification and definitions by international consensus. *Gut*. 2013; 62 (1): 102–111. <http://doi.org/10.1136/gutjnl-2012-302779>
4. Национальные клинические рекомендации: Острый панкреатит (2020). Доступно на сайте “Рубрикатор клинических рекомендаций”: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/326_4
5. Араблинский А.В., Шабунин А.В., Сидорова Ю.В., Лукин А.Ю., Бедин В.В., Шиков Д.В. Возможности КТ и МРТ в диагностике, динамическом наблюдении и определении тактики лечения больных с острым панкреатитом. *REJR*. 2013; 3 (4): 66–74.
6. Араблинский А.В., Титов М.Ю. КТ и МРТ в диагностике фазового течения панкреонекроза (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (2): 139–153. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1110>
7. Араблинский А.В., Румер В.Б., Сидорова Ю.В. Неотложная компьютерная томография в клинике абдоминальной хирургии. *Московский хирургический журнал*. 2016; 4 (50): 12–19.
8. Черданцев Д.В., Первова О.В., Носков И.Г., Золотарева Т.Е., Жегалов П.С., Еремина Е.В., Казадаева А.А., Казадаева И.А. Возможности лучевых методов исследования в диагностике псевдокист поджелудочной железы. *REJR*. 2018; 8 (4): 111–117. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-4-111-117>
9. Нуднов Н.В., Ядренцева С.В. Мультиспиральная компьютерная томография в диагностике, оценке тяжести и прогнозе острого панкреатита и его осложнений. *Медицинская визуализация*. 2014; 5: 45–52.
10. van Grinsven J., van Brunschot S., van Baal M.C. et al.; Dutch Pancreatitis Study Group. Natural History of Gas Configurations and Encapsulation in Necrotic Collections During Necrotizing Pancreatitis. *J. Gastrointest. Surg.* 2018; 22 (9): 1557–1564. <http://doi.org/10.1007/s11605-018-3792-z>
11. Sarathi Patra P., Das K., Bhattacharyya A. et al. Natural resolution or intervention for fluid collections in acute severe pancreatitis. *Br. J. Surg.* 2014; 101 (13): 1721–1728. <http://doi.org/10.1002/bjs.9666>
12. Шабловский О.Р., Иванов Ю.В., Уразовский Н.Ю., Кемеж Ю.В. Редкая локализация псевдокисты поджелудочной железы. *REJR*. 2011; 1 (2): 72–76.
13. Араблинский А.В., Буславская А., Пичугина Н.В., Титов М.Ю. Сочетание протоковой аденокарциномы и постнекротической псевдокисты поджелудочной железы у пациента с синдромом “острого живота”. *REJR*. 2023; 13 (2): 147–154. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-147-154>
14. Kumar M., Sonika U., Sachdeva S. et al. Natural History of Asymptomatic Walled-off Necrosis in Patients With Acute Pancreatitis. *Cureus*. 2023; 15 (2): e34646. <http://doi.org/10.7759/cureus.34646>
15. Lu J.D., Cao F., Ding Y.X. et al. Timing, distribution, and microbiology of infectious complications after necrotizing pancreatitis. *Wld J. Gastroenterol.* 2019; 25 (34): 5162–5173. <http://doi.org/10.3748/wjg.v25.i34.5162>
16. Hamada T., Iwashita T., Saito T. et al.; WONDERFUL study group in Japan. Disconnected pancreatic duct syndrome and outcomes of endoscopic ultrasound-guided treatment of pancreatic fluid collections: Systematic review and meta-analysis. *Dig. Endosc.* 2022; 34 (4): 676–686. <http://doi.org/10.1111/den.14142>
17. Roy M., Kocher H.M. Pancreatitis sepsis: Evolution and principles in the management of necrotizing pancreatitis. *Surgery*. 2023; 174 (2): 406–409. <http://doi.org/10.1016/j.surg.2023.04.023>
18. Baron T.H., DiMaio C.J., Wang A.Y., Morgan K.A. American Gastroenterological Association Clinical Practice Update: Management of Pancreatic Necrosis. *Gastroenterology*. 2020; 158 (1): 67–75.e1. <http://doi.org/10.1053/j.gastro.2019.07.064>
19. Pitchumoni C.S., Agarwal N. Pancreatic pseudocysts. When and how should drainage be performed? *Gastroenterol. Clin. North Am.* 1999; 28 (3): 615–639. [http://doi.org/10.1016/s0889-8553\(05\)70077-7](http://doi.org/10.1016/s0889-8553(05)70077-7)
20. Hariri M., Slivka A., Carr-Locke D.L., Banks P.A. Pseudocyst drainage predisposes to infection when pancreatic necrosis is unrecognized. *Am. J. Gastroenterol.* 1994; 89 (10): 1781–1784. PMID: 7942666.21
21. Szakó L., Mátrai P., Hegyi P. et al. Endoscopic and surgical drainage for pancreatic fluid collections are better than percutaneous drainage: Meta-analysis. *Pancreatology*. 2020; 20 (1): 132–141. <http://doi.org/10.1016/j.pan.2019.10.006>



22. Chawla A., Afridi F., Prasath V. et al. Analysis of pancreatic pseudocyst drainage procedural outcomes: a population based study. *Surg. Endosc.* 2023; 37 (1): 156–164. <http://doi.org/10.1007/s00464-022-09427-z>
23. DiMaio C.J. Management of complications of acute pancreatitis. *Curr. Opin. Gastroenterol.* 2018; 34 (5): 336–342. <http://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000462>
24. Theerasuwipakorn N., Tasneem A.A., Kongkam P. et al. Walled-off Peripancreatic Fluid Collections in Asian Population: Paradigm Shift from Surgical and Percutaneous to Endoscopic Drainage. *J. Transl. Int. Med.* 2019; 7 (4): 170–177. <http://doi.org/10.2478/jtim-2019-0032>
25. Yasuda I., Takahashi K. Endoscopic management of walled-off pancreatic necrosis. *Dig. Endosc.* 2021; 33 (3): 335–341. <http://doi.org/10.1111/den.13699>
26. Шабунин А.В., Лукин А.Ю., Шиков Д.В., Колотильщиков А.А. Опыт применения видеоассистированной ретроперитонеоскопической секвестрэктомии. *Анналы хирургической гепатологии.* 2018; 23 (4): 93–99. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2018493-99>
27. Morgan D.E., Baron T.H., Smith J.K. et al. Pancreatic fluid collections prior to intervention: evaluation with MR imaging compared with CT and US. *Radiology.* 1997; 203 (3): 773–778. <http://doi.org/10.1148/radiology.203.3.9169703>
28. Teoh A.Y., Dhir V., Jin Z.D. et al. Systematic review comparing endoscopic, percutaneous and surgical pancreatic pseudocyst drainage. *Wld J. Gastrointest. Endosc.* 2016; 8 (6): 310–318. <http://doi.org/10.4253/wjge.v8.i6.310>
29. Шабунин А.В., Коржева И.Ю., Бедин В.В., Лукин А.Ю., Тавобилов М.М., Комиссаров Д.Ю., Колотильщиков А.А. Опыт применения транслюминальной секвестрэктомии в лечении больных панкреонекрозом в стадии секвестрации. *Московский хирургический журнал.* 2018; 5: 16–21. <https://doi.org/10.17238/issn2072-3180.2018.5.16-21>
1. Arablinskii A.V., Shabunin A.V., Bedin V.V. et al. Evaluation the role of dynamic contrast enhancement computed tomography (DCECT) and magnetic resonance tomography (MRI) as a prognostic indicator for various treatment of acute necrotizing pancreatitis. *Medical Visualization.* 2009; 1: 35–49. (In Russian)
2. Shabunin A.V., Arablinskii A.V., Lukin A.Yu. et al. Pancreatic necrosis. Diagnosis and treatment. Moscow: GEOTAR Publishing House, 2014. 96 p. ISBN: 978-5-9704-2825-2 (In Russian)
3. Banks P.A., Bollen T.L., Dervenis C. et al; Acute Pancreatitis Classification Working Group. Classification of acute pancreatitis-2012: revision of the Atlanta classification and definitions by international consensus. *Gut.* 2013; 62 (1): 102–111. <http://doi.org/10.1136/gutjnl-2012-302779>
4. National clinical guidelines: Acute pancreatitis (2020). Available on the website “Rubricator of clinical recommendations”: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/326_4 (In Russian)
5. Arablinskii A.V., Shabunin A.V., Sidorova Yu.V. et al. Capabilities of ct and mri in diagnostics, dynamic follow-up and treatment planning in patients with acute pancreatitis. *REJR.* 2013; 3 (4): 66–74. (In Russian)
6. Arablinskii A.V., Titov M.Y. CT and MRI in the diagnosis of the phase course of necrotizing pancreatitis (literature review). *Medical Visualization.* 2022; 26 (2): 139–153. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1110> (In Russian)
7. Arablinskii A.V., Rumer V.B., Sidorova Yu.V. Emergency computed tomography in the clinic of abdominal surgery. *Moscow Surgical Journal.* 2016; 4 (50): 12–19. (In Russian)
8. Cherdantsev D.V., Pervova O.V., Noskov I.G. et al. Possibility of radiology diagnostics of pancreatic pseudocysts. *REJR.* 2018; 8 (4): 111–117. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-4-111-117> (In Russian)
9. Nudnov N.V., Yadrentseva S.V. Multislice Computed Tomography in the Diagnosis, Assessment of Severity and Prognosis of Acute Pancreatitis and its Complications. *Medical Visualization.* 2014; 5: 45–52. (In Russian)
10. van Grinsven J., van Brunschot S., van Baal M.C. et al.; Dutch Pancreatitis Study Group. Natural History of Gas Configurations and Encapsulation in Necrotic Collections During Necrotizing Pancreatitis. *J. Gastrointest. Surg.* 2018; 22 (9): 1557–1564. <http://doi.org/10.1007/s11605-018-3792-z>
11. Sarathi Patra P., Das K., Bhattacharyya A. et al. Natural resolution or intervention for fluid collections in acute severe pancreatitis. *Br. J. Surg.* 2014; 101 (13): 1721–1728. <http://doi.org/10.1002/bjs.9666>
12. Shablovsky O.R., Ivanov Yu.V., Urazovsky N.Yu., Kemezh Yu.V. Rare localization of pancreatic pseudocyst. *REJR.* 2011; 1 (2): 72–76. (In Russian)
13. Arablinskii A.V., Buslavskaya A., Pichugina N.V., Titov M.Yu. Combination of ductal adenocarcinoma and postnecrotic pseudocyst of the pancreas in a patient with acute abdominal syndrome. *REJR.* 2023; 13 (2): 147–154. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2023-13-2-147-154> (In Russian)
14. Kumar M., Sonika U., Sachdeva S. et al. Natural History of Asymptomatic Walled-off Necrosis in Patients With Acute Pancreatitis. *Cureus.* 2023; 15 (2): e34646. <http://doi.org/10.7759/cureus.34646>
15. Lu J.D., Cao F., Ding Y.X. et al. Timing, distribution, and microbiology of infectious complications after necrotizing pancreatitis. *Wld J. Gastroenterol.* 2019; 25 (34): 5162–5173. <http://doi.org/10.3748/wjg.v25.i34.5162>
16. Hamada T., Iwashita T., Saito T. et al.; WONDERFUL study group in Japan. Disconnected pancreatic duct syndrome and outcomes of endoscopic ultrasound-guided treatment of pancreatic fluid collections: Systematic review and meta-analysis. *Dig. Endosc.* 2022; 34 (4): 676–686. <http://doi.org/10.1111/den.14142>
17. Roy M., Kocher H.M. Pancreatitis sepsis: Evolution and principles in the management of necrotizing pancreatitis. *Surgery.* 2023; 174 (2): 406–409. <http://doi.org/10.1016/j.surg.2023.04.023>
18. Baron T.H., DiMaio C.J., Wang A.Y., Morgan K.A. American Gastroenterological Association Clinical Practice Update: Management of Pancreatic Necrosis. *Gastroenterology.* 2020; 158 (1): 67–75.e1. <http://doi.org/10.1053/j.gastro.2019.07.064>
19. Pitchumoni C.S., Agarwal N. Pancreatic pseudocysts. When and how should drainage be performed? *Gastroenterol. Clin. North Am.* 1999; 28 (3): 615–639. [http://doi.org/10.1016/s0889-8553\(05\)70077-7](http://doi.org/10.1016/s0889-8553(05)70077-7)
20. Hariri M., Slivka A., Carr-Locke D.L., Banks P.A. Pseudocyst drainage predisposes to infection when pancreatic necrosis is unrecognized. *Am. J. Gastroenterol.* 1994; 89 (10): 1781–1784. PMID: 7942666.21

References



21. Szakó L., Mátrai P., Hegyi P. et al. Endoscopic and surgical drainage for pancreatic fluid collections are better than percutaneous drainage: Meta-analysis. *Pancreatology*. 2020; 20 (1): 132–141. <http://doi.org/10.1016/j.pan.2019.10.006>
22. Chawla A., Afridi F., Prasath V. et al. Analysis of pancreatic pseudocyst drainage procedural outcomes: a population based study. *Surg. Endosc.* 2023; 37 (1): 156–164. <http://doi.org/10.1007/s00464-022-09427-z>
23. DiMaio C.J. Management of complications of acute pancreatitis. *Curr. Opin. Gastroenterol.* 2018; 34 (5): 336–342. <http://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000462>
24. Theerasuwipakorn N., Tasneem A.A., Kongkam P. et al. Walled-off Peripancreatic Fluid Collections in Asian Population: Paradigm Shift from Surgical and Percutaneous to Endoscopic Drainage. *J. Transl. Int. Med.* 2019; 7 (4): 170–177. <http://doi.org/10.2478/jtim-2019-0032>
25. Yasuda I., Takahashi K. Endoscopic management of walled-off pancreatic necrosis. *Dig. Endosc.* 2021; 33 (3): 335–341. <http://doi.org/10.1111/den.13699>
26. Shabunin A.V., Lukin A.Yu., Shikov D.V., Kolotilshchikov A.A. An experience of video-assisted retroperitoneal debridement. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery*. 2018; 23 (4): 93–99. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2018493-99> (In Russian)
27. Morgan D.E., Baron T.H., Smith J.K. et al. Pancreatic fluid collections prior to intervention: evaluation with MR imaging compared with CT and US. *Radiology*. 1997; 203 (3): 773–778. <http://doi.org/10.1148/radiology.203.3.9169703>
28. Teoh A.Y., Dhir V., Jin Z.D. et al. Systematic review comparing endoscopic, percutaneous and surgical pancreatic pseudocyst drainage. *Wld J. Gastrointest. Endosc.* 2016; 8 (6): 310–318. <http://doi.org/10.4253/wjge.v8.i6.310>
29. Shabunin A.V., Korzheva I.Y., Bedin V.V. et al. Experience in endoscopic transluminal pancreatic necrosectomy performed in cases of infected necrotizing pancreatitis. *Moscow Surgical Journal*. 2018; 5: 16–21. <https://doi.org/10.17238/issn2072-3180.2018.5.16-21> (In Russian)

Для корреспонденции*: Титов Михаил Юрьевич – e-mail: tm-med@yandex.ru

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

Титов Михаил Юрьевич – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины имени Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); врач-рентгенолог отдела лучевой диагностики ГКБ имени С.П. Боткина ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4933-6125>

Буславская Алиса – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины имени Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); врач-рентгенолог отдела лучевой диагностики ГКБ имени С.П. Боткина ДЗ города Москвы, Москва.

<https://orcid.org/0000-0001-8166-7293>

Contact*: Mikhail Yu. Titov – e-mail: tm-med@yandex.ru

Andrei V. Arablinskii – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of Department of Radiology and Radiotherapy of Institute of Clinical medicine named after N.V. Sklifosovskiy of the First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>

Mikhail Yu. Titov – graduate student, Department of Radiology and Radiotherapy of N.V. Sklifosovskiy Institute of Clinical medicine of the First Moscow State Medical University (Sechenov University); radiologist, Department of Radiation Diagnostics of the S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4933-6125>

Alisa Buslavskaya – graduate student, Department of Radiology and Radiotherapy of N.V. Sklifosovskiy Institute of Clinical medicine of the First Moscow State Medical University (Sechenov University); radiologist, Department of Radiation Diagnostics of the S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8166-7293>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1465>

Сравнительный анализ методик компьютерной томографии при оценке топографо-анатомического состояния вен желудка

© Ягубова К.В., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А.*

ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117513 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Введение. Компьютерная томография (КТ) самый распространенный метод диагностики при патологических изменениях органов брюшной полости в учреждениях по оказанию плановой и экстренной медицинской помощи. КТ все чаще становится методом оценки состояния сосудов, в том числе у пациентов с портальной гипертензией, при которой необходима оценка состояния вен пищевода и желудка.

Цель исследования: определение оптимальной методики проведения КТ для изучения вен желудка.

Материал и методы. Ретроспективно оценены результаты исследований 1562 больных, которым были проведены различные методики КТ в лечебных учреждениях г. Москвы с декабря 2020 г. по декабрь 2023 г. Результаты исследований архивированы в Единой радиологической информационной системе (ЕРИС) г. Москвы.

Результаты. По стандартной методике мультифазной КТ обследован 1051 пациент. Топографо-анатомические характеристики вен желудка определены лишь в 50,01% случаев из-за спавшегося состояния желудка. 78 исследований проведено после приема пероральных контрастных веществ, вены определены в 37,44% случаев. Сложность визуализации определяется наличием гиперденсного контрастного вещества в просвете желудка. После раздувания желудка воздухом проведена оценка результатов исследования 52 пациентов. Положительная визуализация вен желудка получена у 45% пациентов. 381 пациенту проведена КТ с заполнением желудка водой (гидро-КТ). Нормальные вены размером от 1 мм и более в диаметре визуализированы и локализованы у 58,5–72,5% пациентов, что достоверно лучше по сравнению со стандартной методикой исследования ($p < 0,001$).

Заключение. Оценка состояния вен желудка должна проводиться с применением методики гидро-КТ, при которой достоверно улучшается оценка топографо-анатомических особенностей сосудов по сравнению со стандартной методикой КТ.

Ключевые слова: компьютерная томография; вены желудка; варикозное расширение вен желудка

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Ягубова К.В., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А. Сравнительный анализ методик компьютерной томографии при оценке топографо-анатомического состояния вен желудка. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 70–78. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1465>

Поступила в редакцию: 09.04.2024.

Принята к печати: 17.09.2024.

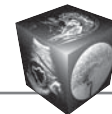
Опубликована online: 05.11.2024.

Comparative analysis of computed tomography techniques in assessing the topographic and anatomical condition of the gastric veins

© Kira V. Yagubova, Andrey L. Yudin, Natalya I. Afanas'eva, Elena A. Yumatova*

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

Introduction. Computed tomography is the most common diagnostic method for pathological changes in the abdominal organs in institutions providing routine and emergency medical care. Computed tomography is increas-



ingly becoming a method for assessing the condition of blood vessels, including in patients with portal hypertension, which requires assessment of the condition of the veins of the esophagus and stomach.

The purpose of the study. Determination of the optimal technique for performing computed tomography to study the gastric veins.

Materials and methods. The results of studies of 1562 patients who underwent various computed tomography techniques in medical institutions in Moscow from December 2020 to December 2023 were retrospectively assessed. The research results are archived in the unified radiological information system (RIS) in Moscow.

Results. 1051 patients were examined using the standard multiphase computed tomography technique. The topographic and anatomical characteristics of the gastric veins were determined just in 50.01% of cases due to the collapsed state of the stomach. 78 studies were carried out after taking oral contrast agents, veins were identified in 37.44% of cases. The difficulty of imaging is determined by the presence of hyperdense contrast agent in the gastric lumen. After gastric inflation with air, the results of a study of 52 patients were assessed. Positive visualization of gastric veins was obtained in 45% of patients. 381 patients underwent computed tomography with the stomach filled with water (hydro-CT). Normal veins measuring 1 or more millimeters in diameter were visualized and localized in 60.6–72.5% of patients, which is significantly better compared to the standard research method ($p < 0.001$).

Conclusion. Assessment of the condition of the gastric veins should be carried out using the hydro-CT technique, which significantly improves the assessment of the topographic and anatomical features of the vessels compared to the standard CT technique.

Keywords: computed tomography; gastric veins; gastric varices

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

For citation: Yagubova K.V., Yudin A.L., Afanas'eva N.I., Yumatova E.A. Comparative analysis of computed tomography techniques in assessing the topographic and anatomical condition of the gastric veins. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 70–78. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1465>

Received: 09.04.2024.

Accepted for publication: 17.09.2024.

Published online: 05.11.2024.

Введение

На сегодняшний день компьютерная томография (КТ) с внутривенным контрастированием является основным методом изучения паренхиматозных органов и кишечника, дифференциальной диагностики заболеваний органов брюшной полости и забрюшинного пространства как в учреждениях по оказанию скорой медицинской помощи, так и в плановых центрах. Все большее значение приобретает применение КТ при острых хирургических заболеваниях, оценке артериального и венозного кровотока. Все чаще у пациентов выявляют признаки портальной гипертензии, при которой необходима оценка состояния вен пищевода и желудка.

“Золотым стандартом” в диагностике варикозно расширенных вен пищевода и желудка является эндоскопическое исследование [1]. Следует отметить, что диагностическая ценность эндоскопического исследования для оценки состояния вен желудка, а особенно в области дна, несколько ниже, чем в пищеводе. Целесообразно определить возможности КТ как неинвазивного и доступного метода диагностики в оценке состояния вен желудка, так как методика КТ-исследования желудка не регламентирована.

Цель исследования: изучить различные варианты проведения КТ органов брюшной полости и выделить наиболее диагностически ценные методики для изучения вен желудка.

Материал и методы

Проведен ретроспективный анализ различных вариантов КТ-исследования у 1562 больных. Исследования были выполнены на мультidetекторных томографах Siemens Somatom Sensation, Toshiba Aquilion CX, GE Revolution EVO 64 при стандартных параметрах исследования: коллимация рентгеновского излучения от 0,5 до 0,625, толщина формируемых изображений (аксиальных и мультипланарных срезов) 1–3 мм. Анализ КТ-исследований, построение мультипланарных реконструкций и проекций максимальной интенсивности проводили с использованием рабочих станций GE AWS, Siemens Singo.via, Toshiba Vitrea.

Существуют методологически различные варианты проведения КТ (табл. 1) из-за отсутствия строгих рекомендаций, а также в зависимости от цели исследования.

Все пациенты обследованы в положении лежа на спине, руки за головой, при задержке дыхания на высоте вдоха. Перед началом исследования в течение часа больные выпивают до 1000 мл негазированной воды. Сканирование охватывает область от верхнего контура диафрагмы до границы верхней и средней третей бедра. Для внутривенного контрастирования применяются водорастворимые неионные низкоосмолярные контрастные вещества.



Таблица 1. Варианты методик КТ органов брюшной полости
Table 1. Variants of abdominal computed tomography techniques

Вариант методики КТ Variant of CT technique	Характеристика исследования Characteristics of the study	n, абс. (%)
1-й / 1st	Стандартная мультифазная КТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием Standard multiphase CT of abdominal organs with intravenous contrast enhancement	1051 (67.29)
2-й / 2nd	Мультифазная КТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием, дополненная приемом пероральных контрастных средств Multiphase CT of abdominal organs with intravenous contrast enhancement, supplemented by oral contrast agents.	78 (4.99)
3-й / 3rd	Мультифазная КТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием, дополненная раздуванием желудка воздухом Multiphase CT of the abdominal organs with intravenous contrast enhancement, supplemented by gastric inflation with air	52 (3.33)
4-й / 4th	Мультифазная КТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием, дополненная заполнением желудка водой (методика гидро-КТ) Multiphase CT of abdominal organs with intravenous contrast enhancement, supplemented by filling the stomach with water (hydro-CT technique)	381 (24.39)
Итого		1562 (100)

1-й вариант. Стандартная КТ органов брюшной полости (n = 1051, 67,29%) включает в себя нативное исследование и мультифазное сканирование с внутривенным болюсным контрастированием по программе “живот” (“Abdomen”). Контрастный препарат вводится в количестве 100–150 мл со скоростью 3–5 мл/с. Метку срабатывания сканирования (“bolus trigger”) устанавливают на наддиафрагмальную часть нисходящего отдела аорты. Порог автоматического срабатывания сканирования – повышение плотности аорты на 100–120 НУ. При задержке сканирования на 6–18 с получают артериальную фазу. В зависимости от времени задержки можно выделить раннюю (6–9 с) и позднюю (14–18 с) артериальные фазы. Через 50–60 с по “bolus trigger” фиксируется венозная фаза [2]. При необходимости выполняется отсроченное сканирование на 5–12 мин от начала введения контрастного препарата. Согласно методическим рекомендациям по описанию КТ органов брюшной полости, отдельного пункта “желудок” нет. Кроме того, не существует строгого регламента относительно приема пищи [3]. Во многих учреждениях рекомендуется проводить исследование после легкого завтрака (от 2 до 4 ч после еды). Из-за этого в большинстве лечебных учреждений визуализация вен желудка не протоколируется. Во время исследования желудок находится в спавшемся состоянии или с небольшим количеством жидкости. Особенности визуализации вен желудка при данной методике представлены на рис. 1.

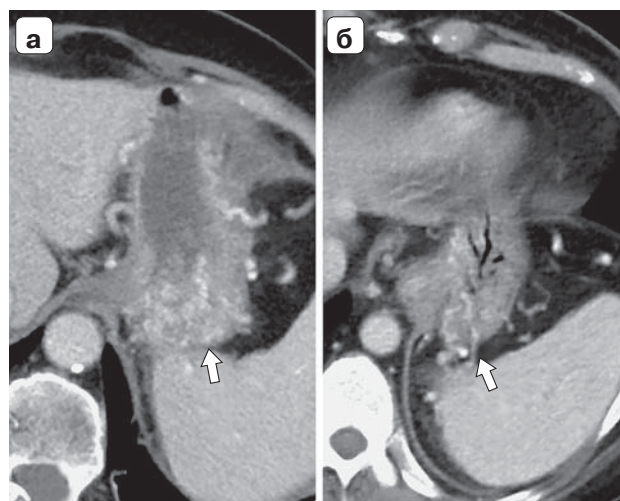


Рис. 1. Стандартная методика проведения КТ. Фрагменты компьютерных томограмм в аксиальной проекции на уровне дна желудка. Паренхиматозная фаза контрастирования. **а** – желудок содержит небольшое количество жидкого содержимого; **б** – желудок в спавшемся состоянии. Вены до 1,5 мм в диаметре визуализируются фрагментарно в толще стенки желудка (стрелки). Определить топографо-анатомические особенности вен достоверно не предоставляется возможным.

Fig. 1. Standard technique for performing computed tomography. Fragments of computed tomograms in axial projection at the level of the fundus of the stomach. Parenchymal phase of contrast enhancement. **a** – the stomach contains a small amount of liquid contents; **b** – the stomach is in a collapsed state. Veins up to 1.5 mm in diameter are visualized fragmentarily in the thickness of the stomach wall (arrows). It is not possible to reliably determine the topographic and anatomical features of the veins.

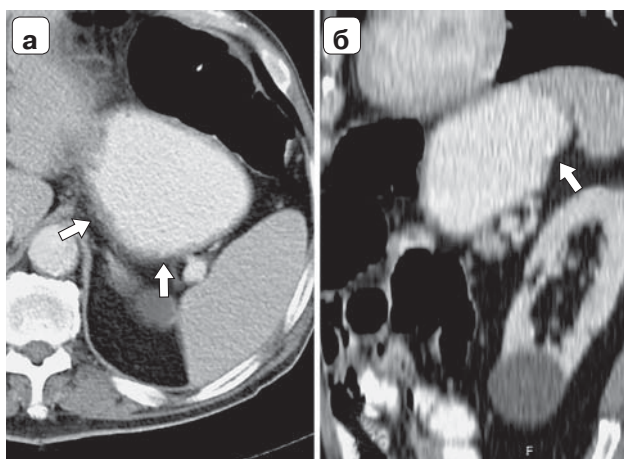
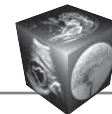


Рис. 2. Стандартная методика проведения КТ, дополненная пероральным приемом водорастворимого контрастного препарата. Паренхиматозная фаза контрастирования. **а** – аксиальная проекция; **б** – продольная реконструкция в косоагитальной проекции. Вены до 1,5 мм в диаметре визуализируются слабо на фоне контрастного препарата в просвете желудка (стрелки).

Fig. 2. Standard computed tomography technique, supplemented by oral administration of a water-soluble contrast agent. Parenchymal phase of contrast enhancement. **a** – axial projection; **б** – longitudinal reconstruction in oblique-sagittal projection. Veins up to 1.5 mm in diameter are poorly visualized against the background of a contrast agent in the lumen of the stomach (arrows).

2-й вариант. Мультифазная КТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием и приемом пероральных контрастных средств (n = 78, 4,99%) характеризуется тем, что перед “стандартным” исследованием вместо воды пациенту предлагается пить водорастворимый йодсодержащий контрастный препарат в течение 1 ч через каждые 20 мин по 200 мл 3% контрастного препарата и непосредственно перед сканированием дополнительно 400 мл [4]. Особенности визуализации вен желудка при данной методике представлены на рис. 2.

3-й вариант. Мультифазная КТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием и с раздуванием желудка воздухом (n = 52, 3,33%) применяется в основном для оценки протяженности и распространенности рака желудка. Желудок раздувается воздухом после установки катетера Фолея в верхнюю треть пищевода [5]. Методику раздувания желудка через катетер можно считать нагрузочной процедурой для пациента, и она применяется в основном при невозможности перорального приема жидкости (например, при стенозах дистального отдела пищевода). Особенности визуализации вен желудка при данной методике

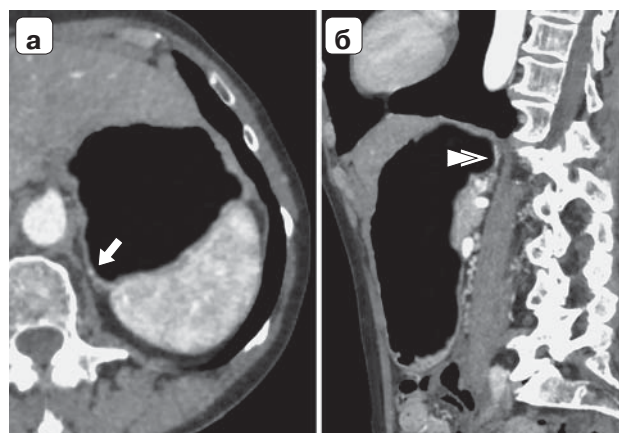


Рис. 3. Стандартная методика проведения КТ, дополненная раздуванием желудка воздухом. Паренхиматозная фаза контрастирования. **а** – фрагмент компьютерной томограммы в аксиальной проекции на уровне дна желудка. Отчетливо визуализируются вены размером до 1,5 мм в диаметре (стрелка); **б** – продольная реконструкция области желудка в косоагитальной проекции. При растяжении желудка конфигурация вен изменяется, исчезает их извилистость, вены ориентируются вдоль слизистой поверхности желудка (двойная стрелка).

Fig. 3. Standard computed tomography technique, supplemented by inflating the stomach with air. Parenchymal phase of contrast enhancement. **a** – fragment of a computed tomogram in an axial projection at the level of the fundus of the stomach. Veins up to 1.5 mm in diameter are clearly visualized (arrow); **б** – longitudinal reconstruction of the stomach area in an oblique-sagittal projection. When the stomach is distended, the configuration of the veins changes, their tortuosity disappears, and the veins are oriented along the mucous surface of the stomach (double arrow).

представлены на рис. 3. Описана также методика пневмогастрографии после перорального приема газообразующей смеси [6]. Авторы проводили сканирование в раннюю отсроченную фазу исследования, что затрудняет визуализацию вен, кроме того, при этом варианте исследования не ставится цель максимального растяжения желудка.

4-й вариант. Мультифазная КТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием и заполнением желудка водой (методика “гидро-КТ”) (n = 381, 24,39%) отличается от описанных выше методик тем, что, помимо стандартной подготовки, пациент дополнительно пьет 500–750 мл воды непосредственно перед сканированием. Вода имеет относительно низкую плотность и оптимизирует визуализацию стенки желудка на компьютерных томограммах [7]. Особенности визуализации вен желудка при данной методике представлены на рис. 4.

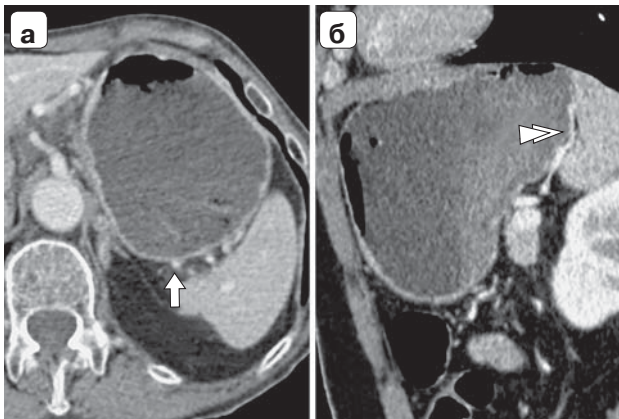


Рис. 4. Стандартная методика проведения КТ, дополненная заполнением желудка водой (методика гидро-КТ). Паренхиматозная фаза контрастирования. **а** – фрагмент компьютерной томограммы в аксиальной проекции на уровне дна желудка. Отчетливо визуализируются вены размером до 1,5 мм в диаметре (стрелка); **б** – продольная реконструкция области желудка в косо-сагиттальной проекции. На фоне воды в желудке отчетливо дифференцируются растянутые вены. Визуализация топографо-анатомических особенностей вен оптимальна (двойная стрелка).

Fig. 4. Standard computed tomography technique, supplemented by filling the stomach with water (hydro-CT technique). Parenchymal phase of contrast enhancement. **a** – fragment of a computed tomogram in an axial projection at the level of the fundus of the stomach. Veins up to 1.5 mm in diameter are clearly visualized (arrow); **б** – longitudinal reconstruction of the stomach area in an oblique-sagittal projection. Against the background of water in the stomach, stretched veins are clearly differentiated. Visualization of the topographic and anatomical features of the veins is optimal (double arrow).

Обычно вены желудка ввиду извилистого хода визуализируются фрагментарно. Для лучшей оценки их состояния необходимо выведение вен в плоскость томографического среза при построении мультипланарных изображений с использованием проекции максимальной интенсивности.

Нами оценивались вероятность визуализации левой и правой желудочных вен, левой и правой желудочно-сальниковых вен и коротких вен желудка в зависимости от расположения, а также поперечные размеры вен. Положительным результатом считались визуализация вен в группах локализации по отделам желудка [8] и возможность изучения топографических взаимоотношений вен со стенками желудка. Отрицательным результатом считались отсутствие визуализации или невозможность изучения топографических особенностей вен желудка. Для каждой методики исследования с заполнением желудка контрастным препаратом, газом или водой рассчитывалось по-

вышение коэффициента конверсии (Conversion Rate Uplift) по сравнению со стандартной методикой, не предусматривающей растяжение желудка. Повышение коэффициента конверсии – это разница в коэффициентах конверсии между тестовой и контрольной группами в А/В-тесте. Конверсия определяется как процент пользователей, которые совершили целевое действие, и в нашем исследовании это процент распознанных вен желудка. Для всех методик также рассчитывался р-уровень значимости (p-value) как вероятность того, что наблюдаемая разница в результатах могла быть случайной.

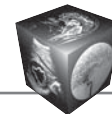
Результаты исследования

Частота выявления вен желудка варьировала в значительной степени в зависимости от применяемой методики исследования. Результаты представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, вероятность выявления и локализации вен желудка при использовании пероральных рентгеноположительных контрастных препаратов достоверно ниже, чем при использовании стандартной методики исследования органов брюшной полости и забрюшинного пространства без растяжения желудка. КТ с применением методики пневмогастрографии не дает достоверных различий в выявлении и локализации вен желудка по сравнению со стандартной методикой, но также показывает несколько худший результат. КТ с применением методики гидро-КТ дает возможность достоверно лучше визуализировать вены желудка с доверительным уровнем больше 99%.

При оценке 1562 исследований у 118 пациентов были выявлены варикозно расширенные вены желудка I–II и III степеней выраженности в соответствии с классификацией, предложенной А.Г. Щерцингером в 1986 г. [9]. Результаты представлены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, при методике с использованием пероральных рентгеноположительных контрастных препаратов визуализация варикозно расширенных вен желудка имеет тенденцию к улучшению по сравнению с исследованием по стандартной методике, но достоверные различия не получены. КТ с применением методики пневмогастрографии дает возможность достоверно лучше оценивать особенности расположения варикозно расширенных вен желудка по сравнению со стандартной методикой. Особенно это касается варианта методики с раздуванием желудка через катетер Фолея. Наилучшие результаты дает КТ с применением методики гидро-КТ, которая достоверно (доверительный уровень больше 99%) улучшает оценку топографических особенностей

**Таблица 2.** КТ-визуализация вен желудка в зависимости от их локализации и методики исследования**Table 2.** CT visualization of gastric veins according to their localization and study technique

Вариант методики КТ Variant of CT technique	ЛЖВ LGV n (%)	ПЖВ RGV n (%)	ЛЖСВ LGOV n (%)	ПЖСВ RGOV n (%)	КВ Sh n (%)	Повышение Uplift, %	р-уровень значимости p-value
1-й / 1st	624 (59.4)	450 (42.8)	592 (56.3)	409 (38.9)	553 (52.6)		
2-й / 2nd	35 (44.9)	25 (32.1)	34 (43.6)	21 (26.9)	31 (39.8)	78.87	<0.001
3-й / 3rd	26 (50)	23 (44.2)	25 (48.1)	21 (40.4)	22 (42.3)	89.99	0.11
4-й / 4th	280 (72.5)	238 (62.4)	261 (68.6)	223 (58.5)	231 (60.6)	129.42	<0.001

Примечание. ЛЖВ – левая желудочная вена, ПЖВ – правая желудочная вена, ЛЖСВ – левая желудочно-сальниковая вена, ПЖСВ – правая желудочно-сальниковая вена, КВ – короткие вены. 1–4 – методики КТ, согласно табл. 1. Повышение – разница между показателями вариации и базовой (контрольной) версии, р-уровень значимости – вероятность того, что наблюдаемая разница в результатах могла быть случайной.

Note. LGV – left gastric vein, RGV – right gastric vein, LGOV – left gastro-omental vein, RGOV – right gastro-omental vein, Sh – short veins. 1–4 – CT techniques, according to Table 1. Uplift is the difference between the measures of variation and the baseline (control) version, p-value of significance is the probability that the observed difference in results could have been due to chance.

Таблица 3. Визуализация варикозно расширенных вен желудка по данным КТ**Table 3.** Visualization of gastric varices by computed tomography

Вариант методики КТ Variant of CT technique	<5 мм <5 mm n	>5 мм >5 mm n	Всего пациентов Total patients n	Повышение Uplift, %	р-уровень значимости p-value
1-й / 1st	17	27	44		
2-й / 2nd	2	3	5	150 (146–162)	0.35
3-й / 3rd	1	5	6	300 (119–369)	0.01
4-й / 4th	26	37	63	425 (377–425)	<0.001

Примечание. 1–4 – методики в соответствии с табл. 1; повышение – разница между показателями вариации и базовой (контрольной) версии, р-уровень значимости – вероятность того, что наблюдаемая разница в результатах могла быть случайной.

Note. 1–4 – techniques according to Table 1; uplift – difference between the variation scores and the baseline (control) version, p-level of significance – the probability that the observed difference in results could have been due to chance.

варикозно расширенных вен желудка. Следует отметить высокий уровень выявления варикоза I–II степени (<5 мм).

Обсуждение

В доступной литературе нам не удалось найти данные о частоте визуализации вен желудка по результатам КТ в зависимости от применяемой методики исследования. Минимальный диаметр вен желудка по данным КТ, упомянутый в литературе, составляет 2 мм [10] как нижний порог I степени варикоза вен пищевода и желудка (рис. 5).

В соответствии с современными представлениями в морфологии [11] венозные звенья микро-

циркуляторного русла слизистой оболочки желудка по своим структурным признакам относятся к посткапиллярным и собирательным венулам, которые в состоянии осуществлять не только отток крови, но и становятся сосудами сопротивления в момент поступления объема крови, превышающего их пропускную способность. Глубокая венозная сеть микрососудов находится у основания слизистой оболочки под мышечной пластинкой. Поверхностное венозное сплетение имеет форму многочисленных колец, окружающих отверстия желез в желудочных ямках. Эти сосуды имеют диаметр от 10 до 20 мкм. Кровь из капиллярной сети дренируется в венулы, впадающие



Рис. 5. Фрагмент компьютерной томограммы в аксиальной проекции на уровне дна желудка, выполненной с применением методики гидро-КТ. Паренхиматозная фаза контрастирования. Вена диаметром 2 мм (варикоз I степени) извита, выбухает в просвет желудка (стрелка).

Fig. 5. A fragment of a computed tomogram in an axial projection at the level of the fundus of the stomach, performed using the hydro-CT technique. Parenchymal phase of contrast enhancement. A vein with a diameter of 2 mm (grade I varics) is tortuous and bulges into the lumen of the stomach (arrow).

в вены подслизистого слоя, средняя величина которых составляет от 0,8 до 1,5 мм [12]. По данным КТ с тонкой коллимацией рентгеновского излучения нам удалось визуализировать вены диаметром около 1 мм, но определение их размеров находится в зоне операторозависимой ошибки измерений. На сегодняшний день общепризнанным утверждением считается, что угрожающими для возникновения кровотечения являются варикозно расширенные вены размером более 5 мм в поперечнике [13]. Большой варикоз (III степени) определяется при любом методе КТ, но взаимоотношение со слизистой желудка можно адекватно оценить только при использовании методик с раздуванием желудка, особенно с применением гидро-КТ (рис. 6).

Авторами работы [11] отмечается, что отчетливо выражено различие в конфигурации между кровеносными сосудами малого и большого венечного тракта. Сосуды по большой кривизне отличаются заметно большей извилистостью, степень которой находится в пределах допустимой растяжимости желудка при его наполнении. Кроме того, вены большого венечного тракта отличаются заметно меньшей шириной своего внутреннего просвета. Видимо поэтому методики КТ с растяжением желудка приводят к улучшению топографо-

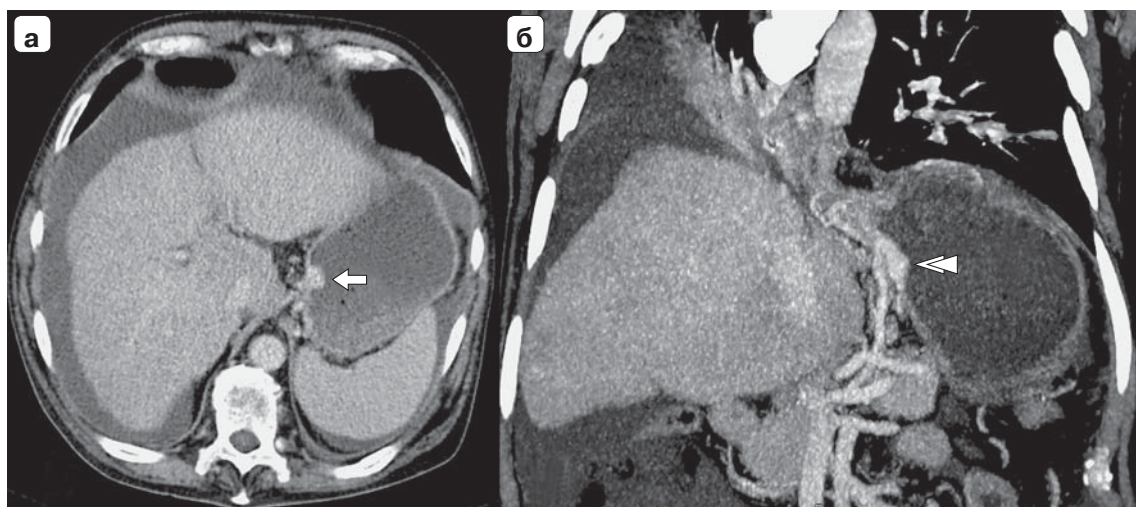
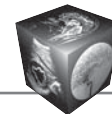


Рис. 6. КТ с применением методики гидро-КТ. Паренхиматозная фаза контрастирования. **а** – фрагмент компьютерной томограммы в аксиальной проекции на уровне дна желудка и кардии. Вена диаметром 5 мм (варикоз III степени) определяется в проекции кардиоэзофагеального перехода (стрелка); **б** – продольная реконструкция области желудка в кософронтальной проекции, MIP-реконструкция. Отчетливо определяются топографо-анатомические взаимоотношения перигастральной и адвентициальной вен со стенкой желудка (двойная стрелка).

Fig. 6. Computed tomography using the hydro-CT technique. Parenchymal phase of contrast enhancement. **a** – fragment of a computed tomogram in an axial projection at the level of the fundus of the stomach and cardia. A vein with a diameter of 5 mm (grade III varics) is determined in the projection of the cardio-esophageal junction (arrow); **б** – longitudinal reconstruction of the stomach area in an oblique frontal projection, MIP. The topographo-anatomical relationship of the perigastric and adventitial veins with the wall of the stomach is clearly defined (double arrow).



анатомической визуализации вен желудка, особенно в области дна и большой кривизны желудка. Косвенно наши данные подтверждают описания методики эндоскопической диагностики вариксов желудка, при которой об их состоянии судят по толщине и выбуханию складок слизистой кардального отдела и проксимальной трети тела желудка при максимальной инсuffляции воздухом [14].

Заключение

Визуализация и топографо-анатомическая характеристика вен желудка с помощью КТ наиболее информативны при применении методики гидро-КТ. При соблюдении параметров оптимального исследования удается визуализировать и локализовать нормальные вены желудка размером от 1 мм и более в поперечнике у 58,5–72,5% пациентов. При применении методики гидро-КТ строго достоверно (доверительный уровень больше 99%) улучшается оценка топографо-анатомических особенностей варикозно расширенных вен желудка по сравнению со стандартной методикой.

Участие авторов

Ягубова К.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, написание текста.

Юдин А.Л. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Афанасьева Н.И. – обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Юматова Е.А. – обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Yagubova K.V. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, writing text.

Yudin A.L. – concept and design of the study, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Afanas'eva N.I. – review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, preparation and creation of the published work, participation in scientific design, preparation and creation of the published work.

Yumatova E.A. – review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, participation in scientific design.

Список литературы

1. Кляритская И.Л., Мошко Ю.А., Волков А.В., Максимова Е.В., Шелихова Е.О., Работягова Ю.С., Семенихина Е.В. Современные методы диагностики и лечения варикозных вен пищевода и желудка. *Крымский терапевтический журнал*. 2020; 1: 5–17.
2. Laghi A. MDCT Protocols Whole Body and Emergencies. Springer, 2012. 253 p. eBook ISBN 978-88-470-2403-8. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-2403-8>
3. Гомболевский В.А., Харламов К.А., Пятницкий И.А., Ким С.Ю., Морозов С.П. Методические рекомендации №23. Шаблоны протоколов описаний исследований по специальности "Рентгенология". Компьютерная томография. М.: ДЗМ, 2016. 40 с. https://thanatoradiology.ru/wp-content/uploads/2022/03/shablony_protokolov_opisanii_issledovaniy_mrt_2016.pdf
4. Китаев В.М., Китаев С.В. Компьютерная томография в гастроэнтерологии: Руководство для врачей. М.: МЕДпресс-информ, 2019. 200 с.
5. Park H.S., Lee J.M., Kim S.H. et al. Three-Dimensional MDCT for Preoperative Local Staging of Gastric Cancer Using Gas and Water Distention Methods: A Retrospective Cohort Study. *Am. J. Roentgenol.* 2010; 195 (6): 1316–1323. <https://doi.org/10.2214/AJR.10.4320>
6. Амелина И.Д., Шевкунов Л.Н., Карачун А.М., Муравцева А.Л., Артемьева А.С. Визуализация рака желудка: компьютерно-томографическая пневмогастрография. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102 (3): 155–165. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-3-155-165>
7. Horton K.M., Fishman E.K. Helical CT of the stomach: evaluation with water as an oral contrast agent. *Am. J. Roentgenol.* 1998; 171 (5): 1373–1376. <https://doi.org/10.2214/ajr.171.5.9798881>
8. Wani Z.A., Bhat R.A., Bhadoria A.S. et al. Gastric varices: Classification, endoscopic and ultrasonographic management. *J. Res. Med. Sci.* 2015; 20 (12): 1200–1207. <https://doi.org/10.4103/1735-1995.172990>
9. Ивашкин В.Т., Маевская М.В., Жаркова М.С., Жигалова С.Б., Киценко Е.А., Манукьян Г.В., Трухманов А.С., Маев И.В., Тихонов И.Н., Деева Т.А. Клинические рекомендации Российской общества по изучению печени и Российской гастроэнтерологической ассоциации по диагностике и лечению фиброза и цирроза печени и их осложнений. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2021; 31 (6): 56–102. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2021-31-6-56-102>
10. Willmann J.K., Weishaupt D., Böhm T. et al. Detection of submucosal gastric fundal varices with multi-detector row CT angiography. *Gut.* 2003; 52 (6): 886–892. <https://doi.org/10.1136/gut.52.6.886>
11. Свиницкая Н.Л., Шерстюк О.А., Дейнега Т.Ф., Солдатов А.К., Рогуля В.А. Классические и современные представления о кровоснабжении интактного желудка человека. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії*. 2009; 9 (4): 256–261
12. Маковлева О.А. Макромикроскопическая анатомия сосудистого русла стенок желудка. *Молодой ученый*. 2015; 11 (91): 83–86.
13. Манукьян Г.В., Шерцингер А.Г., Жигалова С.Б., Семенова Т.С., Мартиросян Р.А. Первичная профилактика кровотечений из варикозно расширенных вен



пищевода и желудка у больных портальной гипертензией (обзор литературы). *Анналы хирургической гепатологии*. 2016; 21 (2): 93–104.

<https://doi.org/10.16931/1995-5464.2016293-104>

14. Хоронько Ю.В., Дмитриев А.В., Шитиков И.В., Бликян А.В., Козыревский М.А. Современные возможности эндоскопической диагностики и лечения варикозных пищеводно-желудочных кровотечений при портальной гипертензии. *Современные проблемы науки и образования*. 2016; 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=25736> (дата обращения: 09.04.2024).

References

1. Klyaritskaya I.L., Moshko Y.A., Volkov A.V. et al. Modern methods of diagnosis and treatment of esophageal and gastric varices. *Crimean Therapeutic Journal*. 2020; 1: 5–17. (In Russian)
2. Laghi A. MDCT Protocols Whole Body and Emergencies. Springer, 2012. 253 p. eBook ISBN 978-88-470-2403-8. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-2403-8>
3. Gombolevisky V.A., Kharlamov K.A., Pyatnitsky I.A. et al. Methodological recommendations No. 23. Templates for protocol descriptions of studies in the specialty "Radiology". CT scan. M.: Moscow Department of Health, 2016. 40 p. https://thanatoradiology.ru/wp-content/uploads/2022/03/shablony_protokolov_opisaniy_issledovaniy_mrt_2016.pdf (In Russian)
4. Kitaev V.M., Kitaev S.V. Computed tomography in gastroenterology: A guide for doctors. M.: MEDpress-inform, 2019. 200 p. (In Russian)
5. Park H.S., Lee J.M., Kim S.H. et al. Three-Dimensional MDCT for Preoperative Local Staging of Gastric Cancer Using Gas and Water Distention Methods: A Retrospective Cohort Study. *Am. J. Roentgenol*. 2010; 195 (6): 1316–1323. <https://doi.org/10.2214/AJR.10.4320>
6. Amelina I.D., Shevkunov L.N., Karachun A.M. et al. Visualization of gastric cancer: computed tomographic pneumogastrography. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102 (3): 155–165. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-3-155-165> (In Russian)
7. Horton K.M., Fishman E.K. Helical CT of the stomach: evaluation with water as an oral contrast agent. *Am. J. Roentgenol*. 1998; 171 (5): 1373–1376. <https://doi.org/10.2214/ajr.171.5.9798881>
8. Wani Z.A., Bhat R.A., Bhadoria A.S. et al. Gastric varices: Classification, endoscopic and ultrasonographic management. *J. Res. Med. Sci*. 2015; 20 (12): 1200–1207. <https://doi.org/10.4103/1735-1995.172990>
9. Ivashkin V.T., Maevskaya M.V., Zharkova M.S. et al. Clinical Recommendations of the Russian Scientific Liver Society and Russian Gastroenterological Association on Diagnosis and Treatment of Liver Fibrosis, Cirrhosis and Their Complications. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2021; 31 (6): 56–102. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2021-31-6-56-102> (In Russian)
10. Willmann J.K., Weishaupt D., Böhm T. et al. Detection of submucosal gastric fundal varices with multi-detector row CT angiography. *Gut*. 2003; 52 (6): 886–892. <https://doi.org/10.1136/gut.52.6.886>
11. Svintsitskaja N.L., Sherstjuk O.A., Dejnega T.F. et al. Classical and up-to-date conceptions on blood supply of intact human stomach. Actual problems of modern medicine: *Bulletin of the Ukrainian Medical Stomatological Academy*. 2009; 9 (4): 256–261. (In Russian)
12. Makovleva O.A. Macromicroscopic anatomy of the vascular bed of the walls of the stomach. *Young Scientist*. 2015; 11(91): 83–86. (In Russian)
13. Manukyan G.V., Shertsinger A.G., Zhigalova S.V. et al. Primary prevention of bleeding from esophageal and gastric varices in patients with portal hypertension. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery*. 2016; 21 (2): 93–104. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2016293-104> (In Russian)
14. Khoronko Yu.V., Dmitriev A.V., Shitikov I.V. et al. Modern possibilities of endoscopic diagnosis and treatment of varicose esophageal-gastric bleeding in portal hypertension. *Modern Problems of Science and Education*. 2016; 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=25736> (date of access: 04/09/2024) (In Russian)

Для корреспонденции*: Юматова Елена Анатольевна – e-mail: yumatova_ea@mail.ru

Ягубова Кира Владимировна – ассистент кафедры лучевой диагностики и терапии РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3218-8688>. E-mail: kira--95@mail.ru

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-7284-4737>. E-mail: prof_yudin@mail.ru

Афанасьева Наталья Иосифовна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и терапии РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-2203-989X>. E-mail: x-rayrsmu@mail.ru

Юматова Елена Анатольевна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и терапии РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6020-9434>. E-mail: yumatova_ea@mail.ru

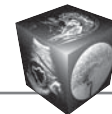
Contact*: Elena A. Yumatova – e-mail: yumatova_ea@mail.ru

Kira V. Yagubova – assistant of the radiology department Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3218-8688>. E-mail: kira--95@mail.ru

Andrey L. Yudin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-7284-4737>. E-mail: prof_yudin@mail.ru

Natalya I. Afanas'eva – Cand. of Sci. (Med.), associate professor, radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-2203-989X>. E-mail: x-rayrsmu@mail.ru

Elena A. Yumatova – Cand. of Sci. (Med.), associate professor, radiology department, Pirogov Russian national research medical university, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6020-9434>. E-mail: yumatova_ea@mail.ru



Молочная железа | Breast

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1456>

Сравнение диагностической эффективности 2D- и 3D-ультразвукового исследования у женщин, не достигших возраста маммографического скрининга

© Гаранина А.Э.^{1, 2*}, Холин А.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; 191015 Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, Российская Федерация

² Клиника СМТ АО Поликлинический комплекс; 190013 Санкт-Петербург, Московский просп., д. 22, лит. а, Российская Федерация

Рак молочной железы является наиболее распространенным раком среди женщин во всем мире. Молодые женщины чаще, чем женщины старшего возраста, имеют агрессивные молекулярные подтипы и позднюю стадию заболевания. Маммография имеет меньшую чувствительность в выявлении рака молочной железы у женщин с плотной молочной железой, а 2D-ультразвуковое исследование (2D-УЗИ) имеет ограничения, такие как высокий уровень навыков и опыта специалиста, затраты времени на проведение исследования. На сегодняшний день есть новая методика – автоматизированное объемное ультразвуковое сканирование молочных желез (3D-УЗИ), позволяющая получать изображения с высоким разрешением.

Цель исследования: сравнительный анализ диагностической эффективности УЗИ в 2D- и 3D-режимах у женщин в возрастной группе до 40 лет с высокой плотностью тканей молочной железы.

Материал и методы. Проведено ретроспективное клиническое одноцентровое исследование. С февраля 2019 г. по май 2023 г. было исследовано 1511 пациенток в возрасте до 40 лет. Пациентки были разделены на 2 группы. Пациентки, попавшие в группу А, проходили 2D-УЗИ, результаты исследования оценивались по классификации BI-RADS. Пациентки, попавшие в группу В, в дополнение к 2D-УЗИ, проходили 3D-УЗИ также с выставлением категории BI-RADS. По итогам исследования определялись положительная и отрицательная прогностическая ценность, чувствительность, специфичность и точность, а также составление предсказательной модели метода.

Результаты. Метод УЗИ в группе А показал чувствительность 0,8, специфичность 1, отбалансированную точность 0,9 и площадь под кривой предсказательной модели 0,947, УЗИ в группе В 0,89, 0,98, 0,94 и 0,903 соответственно, УЗИ по всей выборке 0,87, 0,99, 0,93 и 0,916 соответственно. Метод 3D-УЗИ в группе В показал чувствительность 0,95, специфичность 0,99 и отбалансированную точность 0,97 и площадь под кривой предсказательной модели 0,968.

Выводы. Диагностическая эффективность автоматизированного УЗИ молочных желез у пациенток до 40 лет сопоставима по показателю специфичности и лучше по показателю точности, чувствительности и обладает более высокой прогностической ценностью по сравнению с УЗИ в 2D-режиме. Метод 3D-УЗИ имеет преимущества в сравнении с 2D-УЗИ, а именно: воспроизводимость, операторонезависимость метода, сокращенное время проведения исследования, получение визуализации всего органа, улучшенная визуализация при мультицентричных и мультифокальных процессах, возможность оперативного планирования, возможность «двойного чтения» результатов.

Ключевые слова: рак молочной железы; ультразвуковое исследование; автоматизированное объемное сканирование молочных желез; молодые женщины

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Гаранина А.Э., Холин А.В. Сравнение диагностической эффективности 2D- и 3D-ультразвукового исследования у женщин, не достигших возраста маммографического скрининга. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 79–91. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1456>

Поступила в редакцию: 15.02.2024. Принята к печати: 11.07.2024. Опубликовано online: 25.07.2024.



Comparison of diagnostic efficacy of 2D and 3D ultrasound in women under the age of mammography screening

© Anna E. Garanina^{1, 2*}, Aleksandr V. Kholin¹

¹ I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University; 41, Kirochnaya str., St.-Petersburg 191015, Russian Federation

² SMT Clinic JSC Polyclinic Complex; 22- a, Moskovsky ave., St.-Petersburg 190013, Russian Federation

Breast cancer is the most common cancer among women worldwide. Younger women are more likely than older women to have aggressive molecular subtypes and late-stage disease. Mammography has less sensitivity in detecting breast cancer in women with a dense breast, and 2D ultrasound (2D US) has limitations, such as the specialists high level of skill and experience and the time it takes to perform the examination. Nowadays, there is a new technique – automated volumetric ultrasound scanning of the breast (3D US), which allows you to obtain high-resolution images.

Aim. To perform a comparative analysis of the diagnostic efficacy of 2D US and 3D US among women under 40 years of age with high breast tissue density.

Methods. A retro-prospective clinical single-center study. From February 2019 to May 2023, 1511 patients under the age of 40 were examined. The patients were divided into two groups. Patients in group A underwent 2D ultrasound, the results of the study were evaluated according to the BI-RADS classification. In addition to 2D ultrasound, the patients who were placed in group B underwent 3D US also with the BI-RADS category. Based on the results of the study, the positive and negative predictive value, sensitivity, specificity and accuracy, as well as the compilation of a predictive model of the method were determined.

Results. The 2D US in group A showed sensitivity of 0.8, specificity 1, balanced accuracy of 0.9, and area under the predictive model curve of 0.947, US in group B 0.89, 0.98, 0.94, and 0.903, respectively, and US of the entire sample of 0.87, 0.99, 0.93, and 0.916, respectively. The 3D US in group B showed a sensitivity of 0.95, specificity of 0.99 and a balanced accuracy of 0.97 and an area under the predictive model curve of 0.968.

Conclusion. The diagnostic efficiency of 3D US of the mammary glands in patients under 40 years of age is comparable in terms of specificity and is better in terms of accuracy, sensitivity and a better prognostic model of the method compared to US examination in 2D mode. The 3D US method has advantages in comparison with 2D US examination, namely reproducibility, operator independence of the method, reduced examination time, obtaining visualization of the entire organ, improved visualization in multicentric and multifocal processes, the possibility of operational planning, the possibility of “double reading” of the results.

Keywords: breast cancer; ultrasound; automated breast volumetric scan; young women

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

For citation: Garanina A.E., Kholin A.V. Comparison of diagnostic efficacy of 2D and 3D ultrasound in women under the age of mammography screening. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 79–91. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1456>

Received: 15.02.2024.

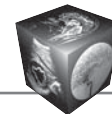
Accepted for publication: 11.07.2024.

Published online: 25.07.2024.

Введение

Рак молочной железы является наиболее распространенным среди женщин во всем мире [1–4]. В США у одной из 196 женщин диагностируется рак молочной железы в возрасте до 40 лет. В западной литературе принято использовать термин “подростки и молодые женщины”, то есть пациентки в возрасте 15–39 лет [5]. В нашем исследовании будем пользоваться термином “молодые женщины”, которые чаще, чем женщины старшего возраста, имеют агрессивные молекулярные подтипы и позднюю стадию заболевания, и при постановке диагноза они часто требуют системного определения стадии [5]. Риск смерти от рака молоч-

ной железы увеличивается на 5% на каждый год снижения возраста на момент постановки диагноза, что отражает более агрессивные фенотипы, чем рак молочной железы, возникающий в более позднем возрасте [6]. Поскольку рак молочной железы среди молодых женщин коррелирует с плохой выживаемостью [6], раннее выявление потенциально может улучшить выживаемость, повлиять на эффективность лечения и задать более высокое качество жизни. Потенциально это снижает бремя болезни и затраты на лечение. Однако к вопросам скрининга у молодых женщин нужно относиться осторожно. Маммография (ММГ) остается “золотым стандартом” скрининга рака



молочной железы. Однако метод имеет меньшую чувствительность при выявлении рака молочной железы у женщин с плотной молочной железой, особенно если речь идет о молодых женщинах [7]. Согласно исследованиям, скрининг с помощью 2D-ультразвукового исследования (2D-УЗИ) в дополнение к ММГ у женщин с плотной грудью продемонстрировал увеличение показателей выявления рака молочной железы, которые варьировали от 1,8 до 4,6 случая рака на 1000 обследованных женщин в зависимости от стратификации населения по риску [7, 8]. Однако исследования программ скрининга в Дании у молодых женщин [9] с включением ММГ показали снижение смертности, объясняется это изменениями факторов риска и улучшением лечения, а не скрининговой ММГ. Однако УЗИ имеет ограничения, а именно: отсутствие стандартизации метода, требуемый высокий уровень навыков и опыта, затраты времени [10]. Поэтому для скрининга рака молочной железы было разработана новая методика – автоматизированное объемное сканирование молочных желез (3D-УЗИ). Новое поколение 3D-УЗИ предлагает автоматическое сканирование молочной железы с помощью датчика с большим полем обзора, позволяющего получать изображения с высоким разрешением. Форма датчика специально разработана с учетом нормальной кривизны молочной железы, сводя к минимуму индуцированные артефакты на периферии [11, 12]. На сегодняшний день 3D-УЗИ является потенциалом в направлении развития скрининга рака молочной железы, в частности у молодых женщин.

Цель исследования: провести сравнительный анализ диагностической эффективности (чувствительности, специфичности и точности) 2D- и 3D-УЗИ и комбинации этих методик у женщин в возрастной группе до 40 лет с высокой плотностью тканей молочной железы.

Материал и методы

Объектом исследования являлись новообразования молочной железы, регистрируемые при диагностике с использованием 2D- и 3D-УЗИ. Предметом исследования было изучение диагностической эффективности автоматизированного объемного 2D-УЗИ-сканирования молочных желез, а также анализ наиболее важных факторов как на преддиагностическом этапе, так и при выполнении конкретного диагностического метода, в частности при выполнении автоматизированного объемного 2D-УЗИ-сканирования молочных желез. Дизайн исследования можно охарактеризовать как ретропроспективное клиническое исследование. Протокол настоящего исследова-

ния был одобрен на заседании локального этического комитета СЗГМУ имени И.И. Мечникова №9 от 12.10.2022.

Последовательность проведения диагностики

При обращении пациентки к гинекологу или онкологу проводился сбор жалоб, анамнеза и осмотр, полученные данные регистрировались в карте пациентки. Далее пациентке предлагалось пройти обследование в рамках настоящего исследования и после получения согласия проводилось распределение по группам в случайном порядке. Пациенткам, попавшим в группу А, выполнялось 2D-УЗИ, результаты исследования оценивались по классификации BI-RADS. Пациентки, попавшие в группу В, в дополнение проходили 3D-УЗИ также с выставлением категории BI-RADS по УЗИ (рис. 1).

Пациенткам, которым по результатам УЗИ были выставлены категории BI-RADS 1 и BI-RADS 2, было рекомендовано дальнейшее наблюдение. При выставлении категории BI-RADS 3 был рекомендован короткий период наблюдения в течение 3–6 мес или МРТ с контрастным усилением. При категории BI-RADS 4 и BI-RADS 5 выполнялась core-биопсия и/или пункционная биопсия (при наличии жидкостного компонента). Все данные регистрировались для дальнейшего анализа.

Описание выборки и групп

С февраля 2019 г. по май 2023 г. было исследовано 1511 пациенток в возрасте до 40 лет. Медиана возраста пациенток в выборке до 40 лет составила 35 [Q1–Q3: 32;37] лет, минимальный возраст – 20 лет, максимальный возраст – 39 лет. Медиана роста пациенток в выборке до 40 лет составила 167 [Q1–Q3: 164;170] см, медиана массы тела – 59 [Q1–Q3: 55;65] кг. Все пациентки были разделены на 2 группы А и В. В группу А вошло 724 пациентки, и в этой группе скрининг проводился с использованием 2D-УЗИ-диагностики и автоматизированного объемного ультразвукового сканирования молочных желез (исследуемая группа). В группу В вошло 787 пациенток, и в этой группе скрининг проходил только с использованием ручной ультразвуковой диагностики (контрольная группа). У всех пациенток проводился сбор жалоб, анамнеза и осмотр. Основные описательные данные групп представлены в табл. 1.

Группы распределены равномерно по показателям “репродуктивный статус” (р-уровень = 0,57), “наследственная предрасположенность” (р-уровень = 0,89), “прием гормональных препаратов” (р-уровень = 0,19) и “тип структуры ACR” (р-уровень = 0,11).

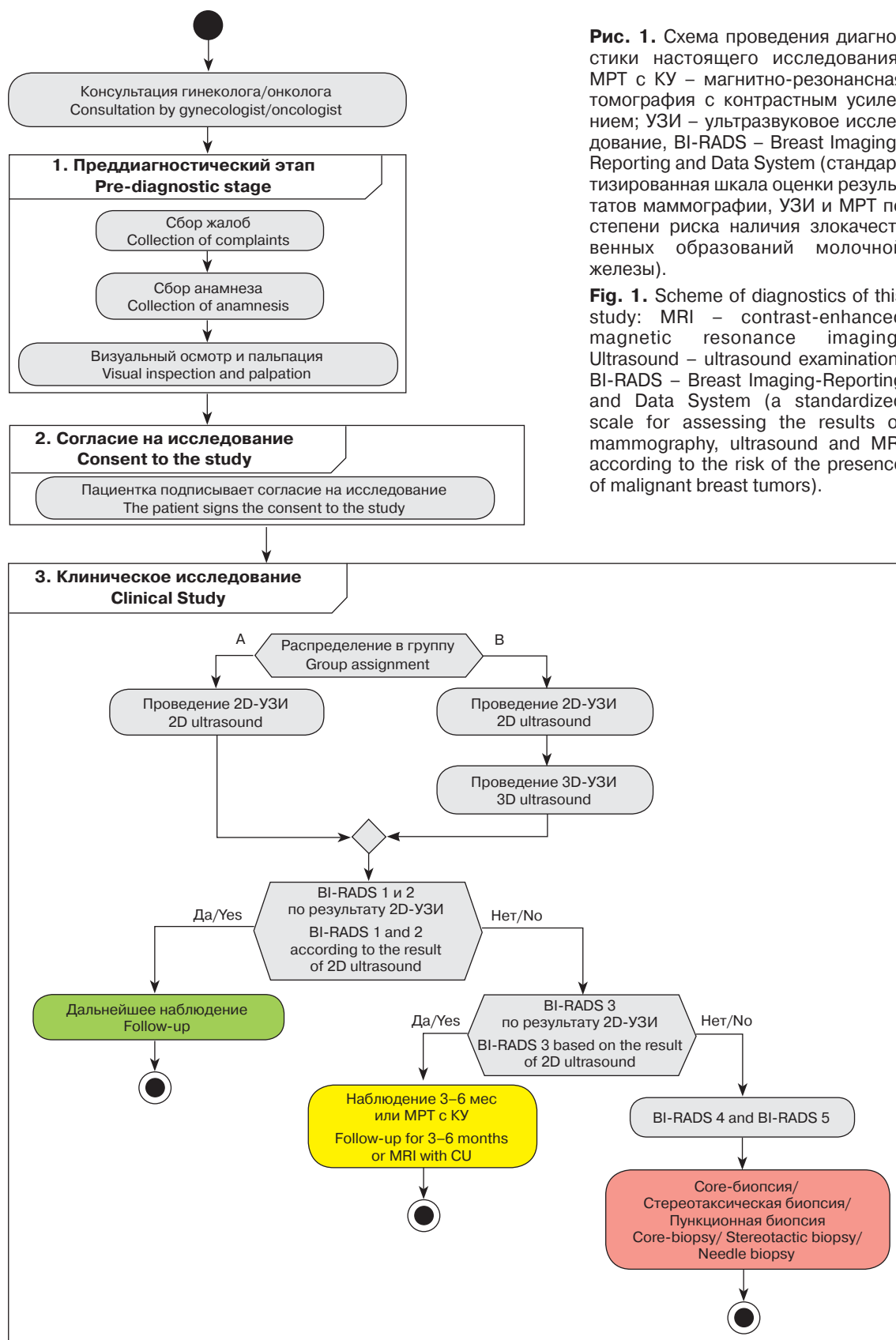
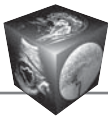
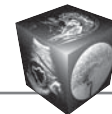


Рис. 1. Схема проведения диагностики настоящего исследования: МРТ с КУ – магнитно-резонансная томография с контрастным усилением; УЗИ – ультразвуковое исследование, BI-RADS – Breast Imaging-Reporting and Data System (стандартизированная шкала оценки результатов маммографии, УЗИ и МРТ по степени риска наличия злокачественных образований молочной железы).

Fig. 1. Scheme of diagnostics of this study: MRI – contrast-enhanced magnetic resonance imaging; Ultrasound – ultrasound examination, BI-RADS – Breast Imaging-Reporting and Data System (a standardized scale for assessing the results of mammography, ultrasound and MRI according to the risk of the presence of malignant breast tumors).

**Таблица 1.** Основные характеристики пациенток, прошедших исследование**Table 1.** Main characteristics of the patients included in the study

	Группа А / Group A		Группа В / Group B	
Жалобы / Complaints				
Без жалоб / No complaints	86.785% (683/787)	[0.84; 0.89]	82.873% (600/724)	[0.8; 0.86]
Боль / Pain	4.828% (38/787)	[0.03; 0.07]	5.249% (38/724)	[0.04; 0.07]
Выделения из соска / Nipple discharge	0.381% (3/787)	[0; 0.01]	0.967% (7/724)	[0; 0.02]
Уплотнение / Compaction	8.005% (63/787)	[0.06; 0.1]	10.912% (79/724)	
Репродуктивный статус / Reproductive status				
Репродуктивный возраст / Reproductive age	96.696% (761/787)	[0.95; 0.98]	97.238% (704/724)	[0.96; 0.98]
Пременопауза / Premenopause	3.304% (26/787)	[0.02; 0.05]	2.762% (20/724)	[0.02; 0.04]
Операции на молочной железе / Breast surgery				
Не было операций / No surgeries	98.475% (775/787)	[0.97; 0.99]	98.343% (712/724)	[0.97; 0.99]
Были операции / Were surgeries	1.525% (12/787)	[0.01; 0.03]	1.657% (12/724)	[0.01; 0.03]
Прием гормональных препаратов / Taking hormonal drugs				
Да / Yes	19.695% (155/787)	[0.17; 0.23]	21.409% (155/724)	[0.19; 0.25]
Нет / No	80.305% (632/787)	[0.77; 0.83]	78.591% (569/724)	[0.75; 0.81]
Наследственная предрасположенность / Hereditary predisposition				
Есть / Yes	31.004% (244/787)	[0.28; 0.34]	31.077% (225/724)	[0.28; 0.35]
Нет / No	68.996% (543/787)	[0.66; 0.72]	68.923% (499/724)	[0.65; 0.72]
Мутация BRCA / BRCA mutation				
BRCA1 / BRCA1	100% (6/6)	[0.52; 1]	0% (0/18)	[0; 0.22]
Мутаций не выявлено / No mutations	0% (0/6)	[0; 0.48]	100% (18/18)	[0.78; 1]
Симптом втягивания соска / Symptom of nipple retraction				
Да / Yes	0% (0/787)	[0; 0.01]	2.486% (18/724)	[0.02; 0.04]
Нет / No	100% (787/787)	[0.99; 1]	97.514% (706/724)	[0.96; 0.98]
Симптом выделения из соска / Symptom of nipple discharge				
Нет / No	99.111% (780/787)	[0.98; 1]	100% (724/724)	[0.99; 1]
Кровянистые / Bloody	0.889% (7/787)	[0; 0.02]	0% (0/724)	[0; 0.01]
Тип структуры ACR / ACR Structure Type				
C	72.935% (574/787)	[0.7; 0.76]	67.818% (491/724)	[0.64; 0.71]
D	27.065%	(213/787)	[0.24; 0.3]	32.182% (233/724)

Описание 3D-УЗИ

3D-автоматизированная ультразвуковая система Invenia (3D-УЗИ) производства GE Healthcare (Саннивейл, Калифорния, США) 2018 года выпуска – это компьютерная система для оценки плотной молочной железы. Каждая молочная железа была визуализирована в трех проекциях: боковой (LAT), переднезадней (AP) и медиальной (MED) с автоматическим датчиком с линейной матрицей от 6 до 14 МГц, прикрепленным к жесткой компрессионной пластине (площадь 15,4 × 17,0 × 5,0 см).

После завершения сбора данных ультразвуковой системой весь массив передавался на специальную рабочую станцию для интерпретации. Оценку изображений 3D-УЗИ выполнял один врач ультразвуковой диагностики со стажем работы более 7 лет.

Описание УЗИ

УЗИ выполняли два врача ультразвуковой диагностики со стажем работы более 7 лет. Исследование проводилось в положении лежа с руками за головой, с последовательным сканированием



каждого квадранта обеих молочных желез в сагиттальной и аксиальной плоскостях, с исследованием ретроареоларной области и аксиллярных областей с двух сторон. Устройства, используемые для проведения 2D-УЗИ, включали GE LOGIQS 8 (GE Medical Systems, Милуоки, Висконсин, США), Toshiba Aplio 300 (Canon Япония) – ультразвуковые системы экспертного класса.

Интервенционные вмешательства

При выявлении изменений, оцененных категорией BI-RADS 4–5, выполнялась core-биопсия под ультразвуковым наведением с помощью специальной системы для биопсии Bard-Magnum, полуавтоматическое устройство и игл 14 G или 12 G, полученные образцы оправляли на гистологическое и иммуногистохимическое исследование.

Статистический анализ

Статистическая обработка выполнялась с помощью языка программирования R. Для определения числа наблюдений при каждом типе воздействия в каждой группе производился расчет мощности пропорций при уровне значимости 95% и мощностью 0,8 с предварительным расчетом величины эффекта. Данные, необходимые для расчета величины эффекта, были взяты из исследования Y. Xip и соавт. (2021) [10]. Для описания количественных показателей проводилась оценка на нормальность распределения, в качестве метода использовался критерий Шапиро–Уилка. Опре-

делялась чувствительность, специфичность и точность. Для построения предсказательной модели на основании данных использовалась логистическая регрессия.

Результаты исследования

По результатам выполнения УЗИ был поставлен диагноз злокачественного образования в группе А в 1,91% (15), в группе В в 6,49% (47). При выполнении 3D-УЗИ был поставлен диагноз злокачественного образования в группе В в 6,077% (44). На рис. 2а представлено распределение пациенток по системе BI-RADS. Пациенткам, которым была определена категория BI-RADS 3, выполняли MPT-исследование и по его результатам была определена категория BI-RADS 2 в 196 и BI-RADS 4a в 33 случаях (рис. 2б).

Основные результаты гистологического и иммуногистохимического исследований по результатам проведенной биопсии представлены в табл. 2, основные результаты определения точности, чувствительности и специфичности – в табл. 3. Согласно полученным результатам, 3D-УЗИ показало лучшие результаты по показателю отбалансированной точности и чувствительности и сопоставимые результаты по показателю специфичности, чем УЗИ в 2D-режиме.

Основные результаты представлены на рис. 3 и в табл. 4. Следует отметить, что прогностическая модель также показывает лучшую эффективность 3D-, чем 2D-УЗИ.

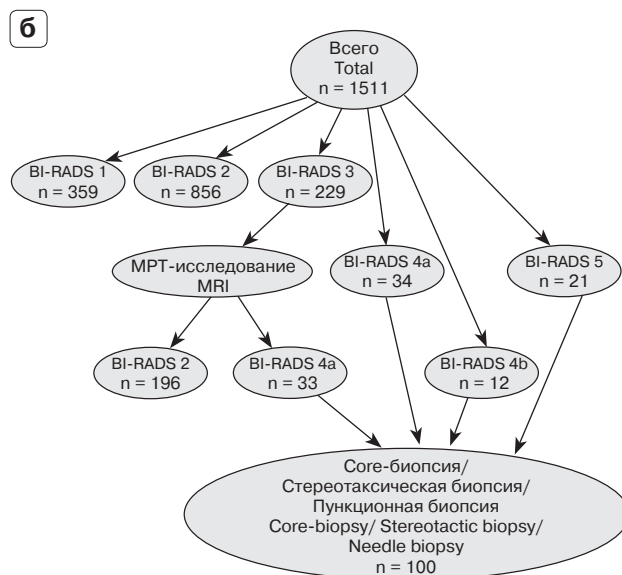
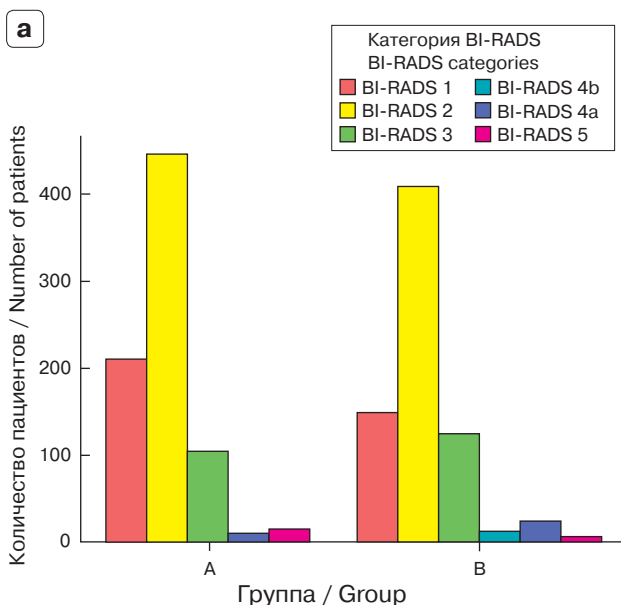


Рис. 2. Распределение поставленных категорий BI-RADS после выполнения УЗИ (а) и количество пациентов, которым была выполнена биопсия (б).

Fig. 2. Distribution of BI-RADS categories after ultrasound (a) and number of patients who passed biopsy (б).

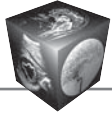


Таблица 2. Результаты гистологического и иммуногистохимического исследований

Table 2. Results of histological and immunohistochemical study

Показатель Metric	Процентная доля Percentage	95% ДИ 95% CI	Процентная доля Percentage	95% ДИ 95% CI
	Группа А		Группа Б	
Гистологическое исследование / Histological examination				
Инвазивный дольковый рак Invasive lobular carcinoma	13.333% (2/15)	[0.02; 0.42]	0% (0/37)	[0;0.12]
Инвазивный рак неспециального типа Invasive non-special type cancer	60% (9/15)	[0.33; 0.83]	67.568% (25/37)	[0.5;0.81]
Протоковый рак <i>in situ</i> Ductal carcinoma <i>in situ</i>	26.667% (4/15)	[0.09; 0.55]	32.432% (12/37)	[0.19;0.5]
Иммуногистохимическое исследование / Immunohistochemical study				
Негатив / negative	60% (9/15)	[0.33; 0.83]	10.811% (4/37)	[0.04;0.26]
Her-2_neu / Her2/neu	0% (0/15)	[0; 0.25]	16.216% (6/37)	[0.07;0.33]
РЭ+РП +Her-2_neu ER+PR + Her2/neu	0% (0/15)	[0; 0.25]	16.216% (6/37)	[0.07;0.33]
РЭ+РП +Her-2_neu негатив ER+PR+ Her2/neu negative	40% (6/15)	[0.17; 0.67]	56.757% (21/37)	[0.4;0.72]
Степень злокачественности / Malignancy				
II (умеренная 6–7 баллов) II (moderate 6–7 points)	40% (6/15)	[0.17; 0.67]	51.351% (19/37)	[0.35;0.68]
III (высокая 8–9 баллов) / III (high 8–9 points)	60% (9/15)	[0.33; 0.83]	48.649% (18/37)	[0.32;0.65]

Определение чувствительности, специфичности и точности методов.

Determination of sensitivity, specificity and accuracy of methods.

Таблица 3. Результаты статистического анализа в группах А и В

Table 3. Results of statistical analyses in groups A and B

Метод	Т А	р	КК КС	ТМ МТ	ППЦ PPV	ОПЦ NPV	Ч S	Сп Sp	ОТ BT
УЗИ в группе А Ultrasound in group A	0.99 [95% ДИ: 0.98, 1]	0.01	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.9
УЗИ в группе В Ultrasound in group B	0.98 [95% ДИ: 0.96, 0.99]	0	0.77	0.03	0.7	0.99	0.89	0.98	0.94
3D-УЗИ в группе В 3D Ultrasound in group B	0.98 [95% ДИ: 0.97, 0.99]	0	0.86	0.07	0.8	1	0.95	0.99	0.97
УЗИ в выборке пациенток до 40 лет Ultrasound in a sample before of 40 years	0.98 [95% ДИ: 0.98, 0.99]	0	0.78	0.07	0.73	1	0.87	0.99	0.93

Прогностическая оценка методов / Predictive evaluation of methods.

Примечание. Т – точность, р – p-value, КК – коэффициент каппа, ТМ – тест Макнемара, ППЦ – положительная прогностическая ценность, ОПЦ – отрицательная прогностическая ценность, Ч – чувствительность, Сп – специфичность, ОТ – отбалансированная точность.

Note. A – Accuracy, p – p-value, КС – Kappa Coefficient, МТ – McNemar Test, PPV – Positive Predictive Value, NPV – Negative Predictive Value, S – Sensitivity, Sp – Specificity, BT – Balanced Accuracy.

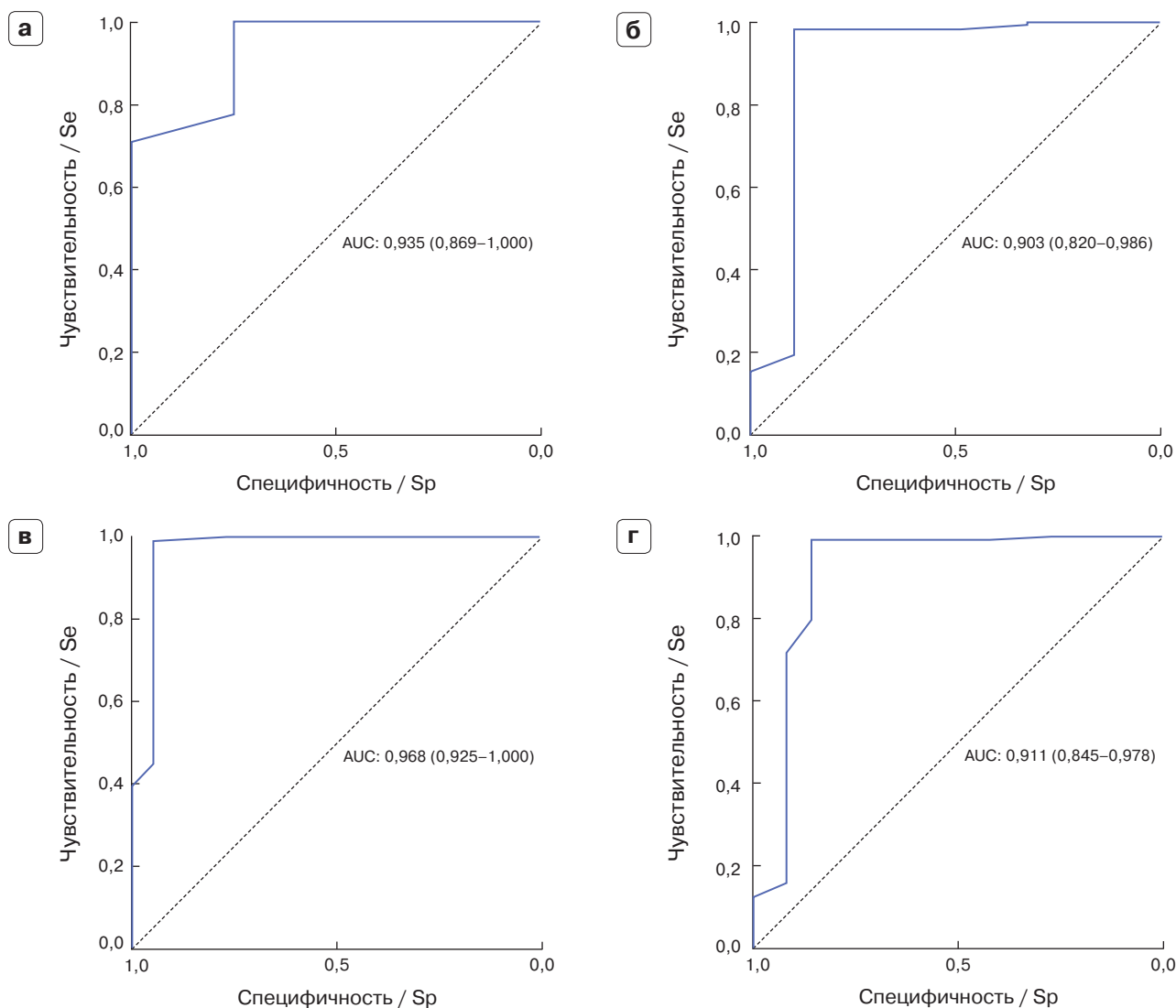
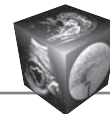


Рис. 3. а – ROC-кривая предсказательной модели для метода УЗИ по данным, полученным в группе А; б – ROC-кривая предсказательной модели для метода УЗИ по данным, полученным в группе В; в – ROC-кривая предсказательной модели для метода 3D-УЗИ по данным, полученным в группе В; г – ROC-кривая предсказательной модели для метода УЗИ по данным, полученным в выборке пациенток до 40 лет.

Fig. 3. а – ROC curve of the predictive model for the ultrasound method, according to the data obtained in group A; б – ROC curve of the predictive model for the ultrasound method, according to the data obtained in the group B; в – ROC curve of the predictive model for the 3D ultrasound method, according to the data obtained in group B; г – ROC curve of the predictive model for the ultrasound method, according to the data obtained in a sample of patients under 40 years old.

Таблица 4. Определение площади под кривой представленных предсказательных моделей метода в группах А и В
Table 4. Determination of the area under the curve of the presented predictive models of the method in groups A and B

Метод / Method	Площадь под кривой Area Under Curve
УЗИ в группе А / Ultrasound in group A	0.947 95% CI: 0.894–1
УЗИ в группе В / Ultrasound in group B	0.903 95% CI: 0.82–0.986
УЗИ в выборке пациенток до 40 лет / Ultrasound in a sample before of 40 years	0.916 95% CI: 0.853–0.979
ABUS в группе В / ABUS in group B	0.968 95% CI: 0.925–1



Клиническое наблюдение

Пациентка М., 32 года. Показание к исследованию: уплотнение в левой молочной железе около 1 мес, болезненность в обеих молочных железах. Анамнез неотягощен, в том числе семейный. В верхнем внутреннем квадранте (ВВК) левой молочной железы пальпируется узловое образование до 1,2 см в диаметре, в нижнем наружном квадранте (ННК) – до 1,5 см в диаметре, без четких контуров, плотное, не спаяно с окружающими тканями.

Автоматизированное 3D-ультразвуковое сканирование молочных желез представлено на рис. 4. Мульти-

центричный рак левой молочной железы. MD BI-RADS 2, MS BI-RADS 4C.

Результаты УЗИ представлены на рис. 5. Ультразвуковые признаки выраженного диффузного фиброаденоматоза обеих молочных желез с преобладанием железистого компонента (аденоз). Ультразвуковая оценка BI-RADS справа 2/слева 4C. Гистологически выявлен инвазивный рак неспециального типа на фоне протокового G 3. Иммуногистохимическое исследование: ER – 8 баллов, PR – 8 баллов, HER2/neu – 2+, Ki-67 – 70%. Пациентке показано оперативное лечение.

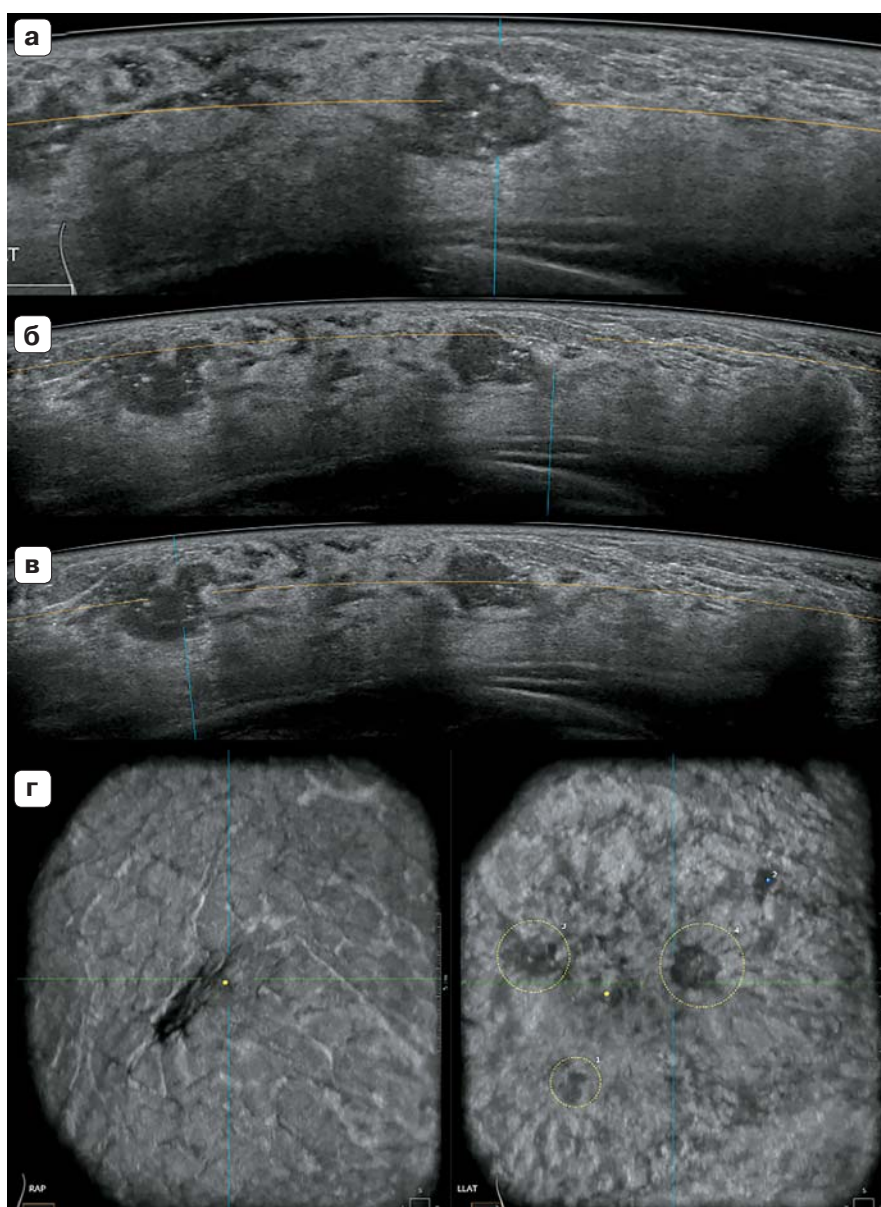


Рис. 4. Система 3D-УЗИ. Анализ 3D-данных на ультразвуковом аппарате (а–г).

Fig. 4. 3D ultrasound system. Analysis of 3D data on an ultrasound machine (a–g).

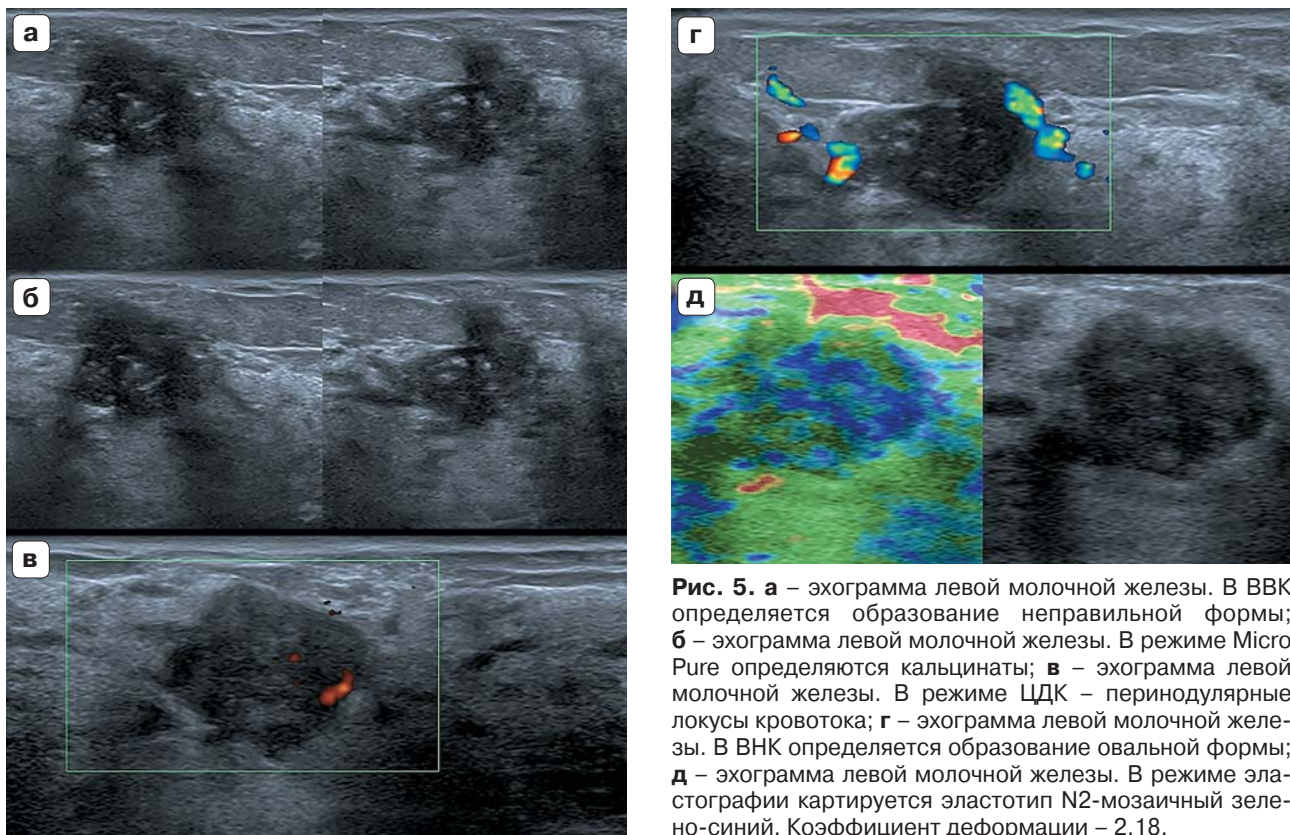


Рис. 5. а – эхограмма левой молочной железы. В ВВК определяется образование неправильной формы; б – эхограмма левой молочной железы. В режиме Micro Pure определяются кальцинаты; в – эхограмма левой молочной железы. В режиме ЦДК – перинодулярные локусы кровотока; г – эхограмма левой молочной железы. В ВНК определяется образование овальной формы; д – эхограмма левой молочной железы. В режиме эластографии картируется эластотип N2-мозаичный зелено-синий. Коэффициент деформации – 2,18.

Fig. 5. а – echogram of the left mammary gland. An irregular shape is determined by the upper inner quadrant; б – echogram of the left breast. In the Micro Pure mode, calcifications are determined; в – echogram of the left breast. In the CD mapping mode, there are perinodular loci of blood flow; г – echogram of the left breast. In the upper outer quadrant, an oval-shaped formation is determined; д – echogram of the left breast. In the elastography mode, the N2-mosaic green-blue elastotype is mapped. The strain coefficient is 2.18.

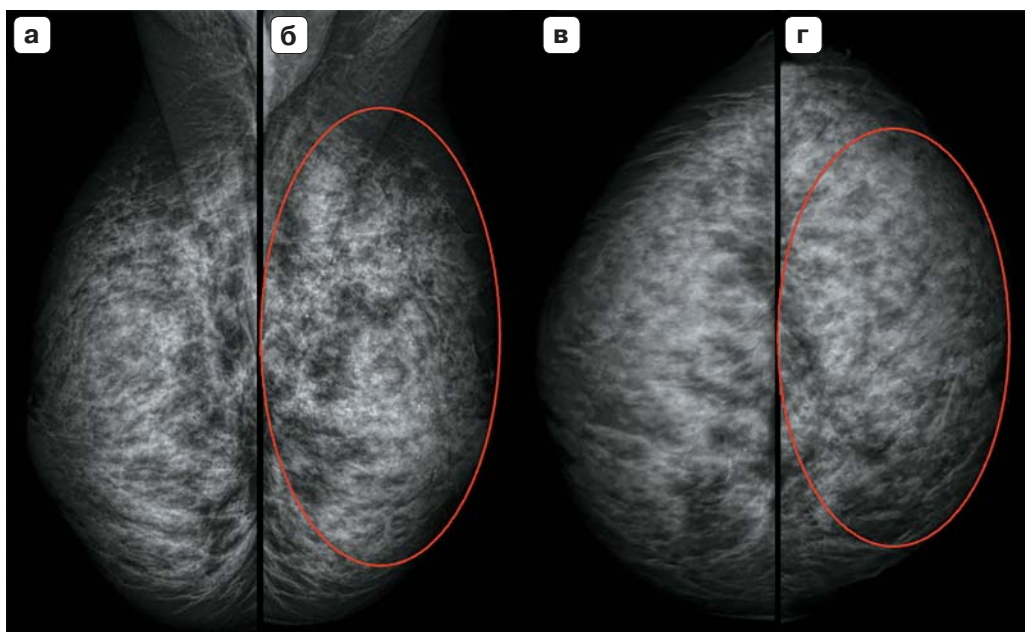
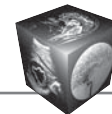


Рис. 6. Цифровая маммография обеих молочных желез. а, б – косая медиолатеральная проекция; в, г – краниокаудальная проекция.

Fig. 6. Digital mammography of both breasts. а, б – oblique mediolateral projection; в, г – craniocaudal projection.



Далее была выполнена диагностическая ММГ (рис. 6), так как выявлено подозрительное новообразование при 2D- и 3D-УЗИ.

Кальцинаты: слева в ВВК определяются в структуре диффузно множественные полиморфные микрокальцинаты. Инфильтративная форма образования левой молочной железы? нелактационный мастит? Тип С по ACR. MD BI-RADS 2, MS BI-RADS 4A.

Обсуждение

Проблема раннего выявления рака молочной железы у молодых женщин является актуальной и рассматривать ее следует с точки зрения не только эффективности метода, но и выживаемости пациенток.

Раннее выявление снижает смертность среди женщин с раком молочной железы [13]. В настоящее время ACR рекомендует ежегодно маммографический скрининг, начиная с 40 лет, для женщины со средним риском развития рака молочной железы [13]. Женщины с дополнительными факторами, такими как семейный анамнез, генетический фактор мутации, эндогенные гормональные факторы и гормонозаместительная терапия, имеют риск выше среднего развития рака молочной железы, и это требует дальнейшего рассмотрения более раннего и/или более интенсивного скрининга [13].

На сегодняшний день существуют исследования, которые продемонстрировали аналогичную диагностическую эффективность 3D-УЗИ по сравнению с 2D-УЗИ, но в целом общие результаты были противоречивыми. В некоторых исследованиях сообщалось, что 3D-УЗИ имеет более высокую чувствительность – от 95 до 100% и более низкую специфичность – от 58 до 95% [14–16]. Напротив, в других исследованиях УЗИ продемонстрировало превосходную чувствительность, в то время как 3D-УЗИ – несколько более высокую специфичность [17, 18].

Авторы указывают две причины более низкой чувствительности 3D-УЗИ. Во-первых, у рентгенологов было мало опыта интерпретации изображений 3D-УЗИ [19, 20]. Одно исследование также показало, что все пропущенные раки можно было продемонстрировать в ретроспективном анализе [21]. Во-вторых, 3D-УЗИ могло пропустить поражения из-за плохого качества изображения [21]. В нашем Центре качество изображений получено на высоком уровне. Средний медицинский персонал, работающий с системой 3D-УЗИ, прошел достаточную подготовку, чтобы гарантировать качество получения изображений, специалисты ультразвуковой диагностики имеют высокий квалификационный уровень для интерпретации изображений. Также стоит обратить внимание на

то, что требуется более короткий срок обучения для того, чтобы рутинно выполнять 3D-УЗИ, при этом метод имеет сопоставимую диагностическую эффективность в сравнении с выполнением УЗИ [10]. Это подчеркивает преимущества 3D-УЗИ перед УЗИ: 3D-УЗИ менее зависит от оператора и может снизить рабочую нагрузку на специалистов за счет обучения квалифицированных специалистов со средним медицинским образованием.

Выводы

1. 3D-УЗИ представляется перспективным методом, дополняющим программы скрининга, в особенности у женщин с плотной молочной железой. Представленная методика повышает частоту выявления рака.

2. Согласно проведенному нами исследованию, диагностическая эффективность автоматизированного УЗИ молочных желез у пациенток до 40 лет сопоставима по показателю специфичности и лучше по показателю точности, чувствительности, лучше прогностическая модель метода по сравнению с ультразвуковым исследованием в 2D-режиме.

3. Однако 2D-УЗИ имеет ограничения, в частности зависимость от оператора, небольшое поле обзора, которые ограничивают его широкое внедрение. В то же время 3D-УЗИ имеет преимущества в сравнении с 2D-УЗИ, а именно: воспроизводимость, независимость от оператора, быстрое получение изображения, время интерпретации изображения около 3–5 мин на одно исследование, возможность “двойного чтения” результатов.

4. Таким образом, 3D-УЗИ становится многообещающим методом для интеграции в клиническую практику у женщин всех возрастных групп, в том числе репродуктивного возраста, с учетом персонализированного подхода к программам скрининга.

Участие авторов

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

Холин А.В. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

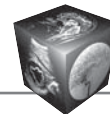
Garanina A.E. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the data, text writing and data processing.

Kholin A.V. – concept and design of the study, preparation and editing of the text and approval of the final version of the article.



Список литературы [References]

1. Shapira N. The potential contribution of dietary factors to breast cancer prevention. *Eur. J. Cancer Prevent.* 2017; 26 (5): 385–395. <http://doi.org/10.1097/cej.0000000000000406>
2. Global Burden of Disease 2019 Cancer Collaboration; Kocarnik J.M., Compton K., Dean F.E. et al. Cancer incidence, mortality, years of life lost, years lived with disability, and disability-adjusted life years for 29 cancer groups from 2010 to 2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019. *JAMA Oncol.* 2022; 8 (3): 420–444. <http://doi.org/10.1001/jamaoncol.2021.6987>
3. Мерабишвили В., Семиглазов В., Комяхов А., Семиглазова Т., Криворотько П., Беляев А. Состояние онкологической помощи в России: Рак молочной железы. Эпидемиология и выживаемость больных. Влияние эпидемии бета-варианта коронавируса SARS-CoV-2 (клинико-популяционное исследование). *Опухоли женской репродуктивной системы.* 2023; 19 (3): 16–24. <https://orcid.org/10.17650/1994-4098-2023-19-3-16-24>
4. Merabishvili V.M., Semiglazov V.F., Komiakhov A.V. et al. The state of cancer care in Russia: breast cancer. Epidemiology and survival of patients. The impact of the SARS-CoV-2-beta-coronavirus epidemic (clinical and population study). *Tumors of Female Reproductive System.* 2023; 19 (3): 16–24. <https://orcid.org/10.17650/1994-4098-2023-19-3-16-24> (In Russian)
5. Мерабишвили В.М. Состояние онкологической помощи в России: Рак молочной железы среди мужского населения, распространенность и выживаемость больных (популяционное исследование на уровне федерального округа). *Вопросы онкологии.* 2022; 68 (3): 303–312. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2022-68-3-286-293>
6. Merabishvili V.M. The state of cancer care In Russia: breast cancer among the male population. Prevalence and survival of patients (Population study at the federal district level). *Voprosy Onkologii.* 2022; 68 (3): 303–312. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2022-68-3-286-293> (In Russian)
7. Cathcart-Rake E.J., Ruddy K.J., Bleyer A., Johnson R.H. Breast Cancer in Adolescent and Young Adult Women Under the Age of 40 Years. *JCO Oncol. Pract.* 2021; 17 (6): 305–313. <http://doi.org/10.1200/op.20.00793>
8. Desreux J.A.C. Breast cancer screening in young women. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.* 2018; 230: 208–211. <http://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2018.05.018>
9. Nazari S.S., Mukherjee P. An overview of mammographic density and its association with breast cancer. *Breast Cancer.* 2018; 25 (3): 259–267. <http://doi.org/10.1007/s12282-018-0857-5>
10. Scheel J.R., Lee J.M., Sprague B.L. et al. Screening ultrasound as an adjunct to mammography in women with mammographically dense breasts. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2015; 212 (1): 9–17. <http://doi.org/10.1016/j.ajog.2014.06.048>
11. Jorgensen K.J., Zahl P.-H., Gotzsche P.C. Breast cancer mortality in organised mammography screening in Denmark: comparative study. *BMJ.* 2010; 340 (mar. 23, 1): c1241–c1241. <http://doi.org/10.1136/bmj.c1241>
12. Rebolj M., Assi V., Brentnall A. et al. Addition of ultrasound to mammography in the case of dense breast tissue: systematic review and meta-analysis. *Br. J. Cancer.* 2018; 118 (12): 1559–1570. <http://doi.org/10.1038/s41416-018-0080-3>
13. Vourtsis A., Kachulis A. The performance of 3D ABUS versus HHUS in the visualisation and BI-RADS characterisation of breast lesions in a large cohort of 1,886 women. *Eur. Radiol.* 2017; 28 (2): 592–601. <http://doi.org/10.1007/s00330-017-5011-9>
14. Xin Y., Zhang X., Yang Y. et al. A multicenter, hospital-based and non-inferiority study for diagnostic efficacy of automated whole breast ultrasound for breast cancer in China. *Sci. Reports.* 2021; 11 (1): 13902. <http://doi.org/10.1038/s41598-021-93350-1>
15. Monticciolo D.L., Newell M.S., Moy L. et al. Breast Cancer Screening in Women at Higher-Than-Average Risk: Recommendations From the ACR. *J. Am. Coll. Radiol.* 2018; 15 (3): 408–414. <http://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.11.034>
16. Lin X., Wang J., Han F. et al. Analysis of eighty-one cases with breast lesions using automated breast volume scanner and comparison with handheld ultrasound. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (5): 873–878. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.02.038>
17. Wang H.Y., Jiang Y.X., Zhu Q.L. et al. Differentiation of benign and malignant breast lesions: A comparison between automatically generated breast volume scans and handheld ultrasound examinations. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (11): 3190–3200. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.01.034>
18. Kotsianos-Hermle D., Wirth S., Fischer T. et al. First clinical use of a standardized three-dimensional ultrasound for breast imaging. *Eur. J. Radiol.* 2009; 71 (1): 102–108. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.04.002>
19. Kim S.H., Kang B.J., Choi B.G. et al. Radiologists' Performance for Detecting Lesions and the Interobserver Variability of Automated Whole Breast Ultrasound. *Korean J. Radiol.* 2013; 14 (2): 154. <http://doi.org/10.3348/kjr.2013.14.2.154>
20. Prosch H., Halbwachs C., Strobl C. et al. Automatisierter Brustultraschall vs. handgeführter Brustultraschall: BI-RADS-Einstufung, Untersuchungsdauer und Erlebnisqualität der Untersuchung. *Ultraschall Med. – Eur. J. Ultrasound.* 2011; 32 (05): 504–510. <http://doi.org/10.1055/s-0031-1273414>
21. Skaane P., Gullien R., Eben E.B. et al. Interpretation of automated breast ultrasound (ABUS) with and without knowledge of mammography: a reader performance study. *Acta Radiol.* 2015; 56 (4): 404–412. <http://doi.org/10.1177/0284185114528835>
22. Chen L., Chen Y., Diao X.H. et al. Comparative Study of Automated Breast 3-D Ultrasound and Handheld B-Mode Ultrasound for Differentiation of Benign and Malignant Breast Masses. *Ultrasound Med. Biol.* 2013; 39 (10): 1735–1742. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.04.003>
23. Lin X., Jia M., Zhou X. et al. The diagnostic performance of automated versus handheld breast ultrasound and mammography in symptomatic outpatient women: a multicenter, cross-sectional study in China. *Eur. Radiol.* 2020; 31 (2): 947–957. <http://doi.org/10.1007/s00330-020-07197-7>



Для корреспонденции*: Гаранина Анна Эдуардовна – e-mail: anna.garanina.90@mail.ru

Гаранина Анна Эдуардовна – аспирант кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова”; врач ультразвуковой диагностики Клиники СМТ АО Поликлинический комплекс, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0001-8193-6657>

Холин Александр Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-8227-1530>.

Contact*: Anna E. Garanina – e-mail: anna.garanina.90@mail.ru

Anna E. Garanina – PhD student at the Department of Radiation Diagnostics, I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University; ultrasound diagnostic doctor of SMT Clinic JSC Polyclinic Complex, St.-Petersburg. <https://orcid.org/0009-0001-8193-6657>

Aleksandr V. Kholin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics of I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University, St.-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-8227-1530>



Магнитно-резонансная томография после инъекционной контурной пластики лица различными типами филлеров: особенности картины и сигнальные характеристики

© Магомедова С.А.^{1*}, Васильев А.Ю.²

¹ ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044 Санкт-Петербург, улица Академика Лебедева, д. 6, Российская Федерация

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

Цель исследования: изучить возможности магнитно-резонансной томографии (МРТ) в характеристике мягких тканей лица после инъекционного введения различных типов филлеров.

Материал и методы. Проанализирована группа из 35 пациентов с известным косметологическим анамнезом после комбинированного (15) и некомбинированного (20) инъекционного введения филлеров в области лица. По данным анамнеза при комбинированном введении в 10 случаях применялись гиалуроновая кислота (ГК) + гидроксиапатит кальция (СаНА), в 2 – ГК+L-полимолочная кислота (PLA), в 1 – ГК+PLA + силикон, в 1 – ГК+СаНА+силикон, в 1 – ГК+силикон. При некомбинированном введении у 16 пациентов использовалась ГК, у 2 – СаНА, у 1 – PLA и у 1 – полиакриламидный гель (ПААГ).

МРТ мягких тканей лица выполняли в разные сроки после введения: ГК – от 1 мес до 4 лет, СаНА – от 7 дней до 1 года, PLA – от 1 до 8 мес, силикон – 10–20 лет, ПААГ – через 6 мес.

Исследования проводили на МР-томографах 1,5 Тл, использовали T2-, T1ВИ, Stir, DWI (b = 1000), T1-FS-ВИ, 3D-T2ВИ-Sg в трех плоскостях. Определяли локализацию и дифференцировали тип филлера, оценивали его расположение по отношению к окружающим структурам.

Результаты. Участки препарата на основе ГК характеризовались гиперинтенсивным МР-сигналом на T2ВИ и Stir, изогипоинтенсивным на T1ВИ. Препараты на основе СаНА и PLA определялись изогипоинтенсивным на T2-, T1ВИ, изогиперинтенсивным на Stir, изо- и изогиперинтенсивным на T1-FS-ВИ сигналом. Силикон демонстрировал изогипоинтенсивный сигнал с гипоинтенсивной капсулой на T2ВИ и Stir, изогиперинтенсивный на T1ВИ; ПААГ – изогиперинтенсивный на T2ВИ и Stir, изогипоинтенсивный на T1ВИ с гипоинтенсивной капсулой на всех импульсных последовательностях.

Филлеры на основе ГК более отчетливо визуализировались на Stir и T2ВИ, препараты на основе СаНА и PLA – на T2ВИ, на T1ВИ имели идентичный сигнал, что затрудняло дифференциальную диагностику, однако в ряде случаев были выявлены изменения сигнала на T1-FS-ВИ: изо- и изогипоинтенсивный от СаНА, изогиперинтенсивный от PLA. МР-картина менялась в зависимости от сроков, техники введения и разведения препарата.

Заключение. МРТ позволяет визуализировать и дифференцировать тип филлера после инъекционной контурной пластики по сигнальным характеристикам, которые зависят от его химического состава, сроков введения и механизмов биodeградации.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; филлеры; инъекционная контурная пластика; гиалуроновая кислота; гидроксиапатит Са; L-полимолочная кислота; препараты синтетической природы

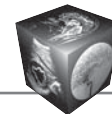
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Магомедова С.А., Васильев А.Ю. Магнитно-резонансная томография после инъекционной контурной пластики лица различными типами филлеров: особенности картины и сигнальные характеристики. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 92–99. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1475>

Поступила в редакцию: 29.04.2024.

Принята к печати: 22.07.2024.

Опубликована online: 05.11.2024.



Magnetic-resonance tomography post injection contouring plastic face different type fillers: features of the picture and signal characteristics

© Saida A. Magomedova^{1*}, Aleksandr Yu. Vasil'ev²

¹ S.M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia; 6, Academician Lebedev str., St. Petersburg 194044, Russian Federation

² Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Dolgorukovskaya str., Moscow 127006, Russian Federation

Purpose: to study the possibilities of magnetic resonance imaging in characterizing the soft tissues of the face after injection of various types of fillers.

Material and methods. A group of 35 patients with a known cosmetic history was analyzed after combined (15) and non-combined (20) injection injections of fillers into various areas of the face. According to the anamnesis, with combined administration, hyaluronic acid (HA) + Ca hydroxyapatite (CaHA) was used in 10 cases, HA + L-poly(lactic acid) (PLA) in 2 cases, HA + PLA + silicone in 1 case, HA + CaHA + silicone in 1 case, in 1 – HA + silicone. With non-combined administration, 16 patients received HA, 2 received Ca hydroxyapatite, one received L-poly(lactic acid), and one received polyacrylamide gel (PAGE).

MRI of facial soft tissues was performed at different times after drug administration: HA – from 1 month up to 4 years, CaHA – from 7 days to 1 year, PLA – from 1 to 8 months, silicone – 10–20 years, PAGE – after 6 months.

The studies were carried out on 1.5 T MRI scanners, using T2-WI, T1-WI, STIR, DWI (b = 1000), T1-FS-WI, 3D-T2-WI sag. The location of the filler was determined, the type of filler was differentiated, and its location in relation to the surrounding structures was assessed.

Results. Areas of the HA preparation were characterized by a hyperintense MR signal on T2-weighted images and STIR, isohypointense on T1-WI. Preparations based on CaHA and PLA were determined by isohypointense on T2, T1-WI, isohyperintense on STIR, iso- and isohyperintense on T1-FS-WI signal. Silicone demonstrated isohypointense signal with a hypointense capsule on T2-WI and STIR isointense on T1-WI; PAGE – isohyperintense on T2-WI and STIR, isohypointense on T1-WI with a hypointense capsule on all PIs.

HA-based fillers were more clearly visualized on STIR and T2-WI. Preparations based on CaHA and PLA had identical signal characteristics on T2-WI, which made differential diagnosis difficult, but in a number of cases the following signal changes were detected on T1-FS-WI: iso- and isohypointense from CaHA, isohyperintense from PLA. The MRI picture varied depending on the timing, technique of administration and dilution of the drug.

Conclusions. MRI allows you to visualize and differentiate the type of filler after injection contouring according to signal characteristics that depend on its chemical composition, timing of administration and mechanisms of biodegradation.

Keywords: magnetic-resonance tomography; fillers, injection contouring plastic; hyaluronic acid; poly(lactic acid); calcium hydroxyapatite; drugs of synthetic origin

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

For citation: Magomedova S.A., Vasil'ev A.Yu. Magnetic-resonance tomography post injection contouring plastic face different type fillers: features of the picture and signal characteristics. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 92–99. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1475>

Received: 29.04.2024.

Accepted for publication: 22.07.2024.

Published online: 05.11.2024.

Введение

Инъекционная контурная пластика (ИКП) является одной из наиболее востребованных процедур в косметологии. На сегодняшний день используются многообразные филлеры, различные по химическому составу, механизму действия, степени биodeградации, применяемые как изолированно, так и в сочетании [1, 2].

В зависимости от продолжительности действия филлеры подразделяются на временные (биораз-

лагаемые), полупостоянные (с замедленной биodeградацией) и постоянные (перманентные, небиоразлагаемые). Наиболее часто применяются филлеры на основе гиалуроновой кислоты (ГК), реже – гидроксиапатита кальция (CaHA) и L-полимолочной кислоты (PLA). Применение наполнителей синтетического происхождения в большинстве стран в настоящее время крайне ограничено или запрещено, тем не менее с учетом их перманентного присутствия в тканях встречаются слу-



чаи ранее введенных препаратов с давностью 10–20 лет [1–3].

Все филлеры после введения вызывают вариабельные местные реакции как ответ на инородное тело, что при благоприятных условиях не вызывает осложнений, однако при их развитии у врачей-косметологов возникает необходимость в определении типа филлера для выбора правильной тактики лечения и ведения пациента. Особое значение это имеет в тех случаях, когда косметологический анамнез неизвестен, при комбинированном введении, либо когда реакция со стороны мягких тканей лица нехарактерна для вводимого препарата [3, 4]. В ряде случаев врачи прибегают к биопсии, что является инвазивной процедурой и само по себе может привести к побочным последствиям, отягощающим течение процесса и негативно влияющим на внешний вид пациентов. В связи с этим возрастает необходимость неинвазивных методов обследования в косметологии и пластической хирургии, что может быть достигнуто с помощью лучевой диагностики [3, 5].

В настоящее время в научной литературе имеется значительное число работ, посвященных применению ультразвуковой диагностики (УЗИ) в эстетической медицине. Научно доказана высокая информативность УЗИ в оценке состояния кожи и мягких тканей лица при планировании и осложнениях ИКП, определены ультразвуковые признаки различных типов филлеров, нежелательных эффектов и осложнений после инъекционных косметологических процедур [4, 6]. В то же время существует ряд ограничений и условностей, снижающих объективность исследования и повышающих его субъективность, а также невозможность одномоментного статичного сравнения состояния мягких тканей всего лица и симметричных областей.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является перспективной в выявлении и дифференцировке различных типов филлеров. Однако по результатам анализа научных публикаций этот вопрос представляется малоизученным. В отечественной литературе работ, целенаправленно посвященных определению и изучению особенностей сигнальных характеристик различных типов филлеров, диагностике и дифференциальной диагностике осложнений, а также роли, места и эффективности МРТ в алгоритме обследования пациентов после ИКП, не представлено. Публикации, представленные в зарубежных источниках, единичные. Таким образом, представляет интерес исследование сигнальных характеристик и МР-паттернов различных типов филлеров, применяемых для ИКП лица.

Цель исследования: изучить возможности МРТ в характеристике мягких тканях лица после инъекционного введения различных типов филлеров.

Материал и методы

Проанализирована группа из 35 пациентов в возрасте от 24 лет до 61 года после комбинированного (15) и некомбинированного (20) инъекционного введения филлеров в различные области лица с известным косметологическим анамнезом и без жалоб. По данным анамнеза при комбинированном введении в 10 случаях применялись гиалуроновая кислота (ГК)+СаНА, в 2 – ГК+PLA, в 1 – ГК+PLA+силикон, в 1 – ГК+СаНА+силикон, в 1 – ГК+силикон. При некомбинированном введении у 16 пациентов использовалась ГК, у 2 – СаНА, у 1 – PLA и у 1 – полиакриламидный гель (ПААГ).

МРТ мягких тканей лица выполняли в разные сроки после введения препаратов: ГК – от 1 мес до 4 лет, СаНА – от 7 дней до 1 года, PLA – от 1 до 8 мес, силикон – 10–20 лет, ПААГ – через 6 мес. При МРТ дифференцировали тип филлера его локализацию, что имело значение перед планированием последующей эстетической коррекции и пластических операций.

Исследования выполняли на высокопольных (1,5 Тл) МР-томографах (Toshiba, Siemens, Philips) с использованием головной катушки по протоколу T2-, T1ВИ, T1-FS-ВИ, Stir – в аксиальной плоскости, T2ВИ в корональной и сагиттальной плоскостях, 3D-T2ВИ, ДВИ, толщина среза (3–4 мм), при выявлении осложнений дополняли исследование внутривенным контрастным усилением. При наличии ферромагнитной туши на ресницах перед исследованием рекомендовали ее снять во избежание артефактов в периорбитальной области. Оценивали состояние мягких тканей и окружающих структур, определяли и дифференцировали тип филлера, глубину расположения в подкожно-жировом слое, относительно SMAS, мышечным и костным структурам, размеры, симметричность распределения, отношение к лицевым артериям, состояние лимфатических узлов, околоносовых пазух и слюнных желез.

Результаты исследования

По данным МРТ филлеры на основе ГК (31 пациент; 88,6%) как при изолированном применении, так и в сочетании с другими препаратами характеризовались гиперинтенсивным МР-сигналом на T2ВИ и Stir, изогипоинтенсивным на T1ВИ (рис. 1).

По мере биодеградации препарата отмечалось уменьшение размеров участков и зон введенного филлера, вплоть до полного их исчезновения,

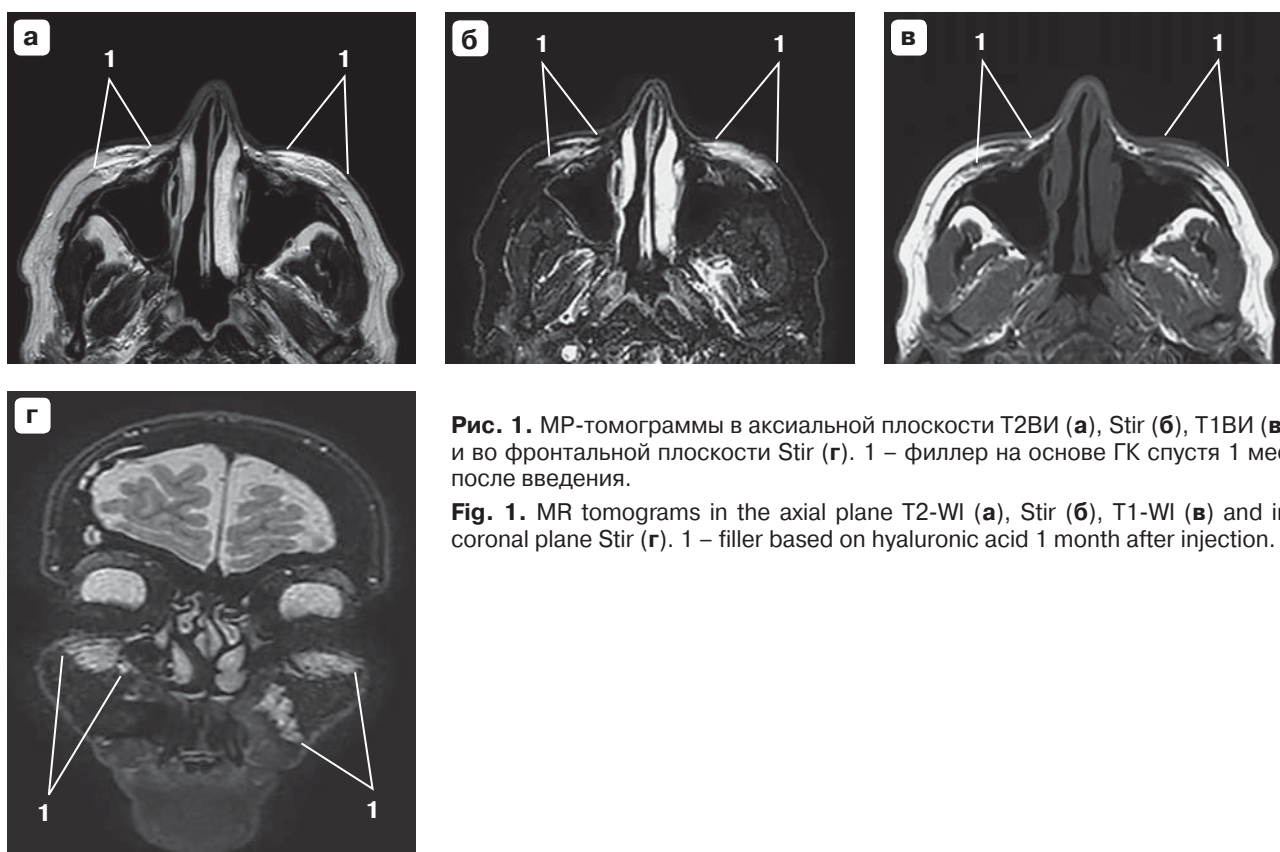
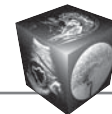


Рис. 1. МР-томограммы в аксиальной плоскости T2ВИ (а), Stir (б), T1ВИ (в) и во фронтальной плоскости Stir (г). 1 – филлер на основе ГК спустя 1 мес после введения.

Fig. 1. MR tomograms in the axial plane T2-WI (a), Stir (б), T1-WI (в) and in coronal plane Stir (г). 1 – filler based on hyaluronic acid 1 month after injection.

а степень интенсивности сигнала имела тенденцию к снижению. В поверхностном и глубоком подкожно-жировом слое инфраорбитально определяются зоны гиперинтенсивного МР-сигнала на T2ВИ, Stir (см. рис. 1 а, б), изогипо- и гипоинтенсивного на T1ВИ (см. рис. 1 в), с четкими неровными контурами.

Филлеры на основе гидроксиапатита кальция (13 пациентов; 37%) характеризовались изогипоинтенсивным сигналом на T2-, T1ВИ и Stir, в 1-ю неделю после введения эти участки имели гиперинтенсивный ободок на T2ВИ и Stir, обусловленный разведением препарата в карбоксиметилцеллюлозном геле (рис. 2). В зоне введения филлера через 6 мес определялись участки изогипоинтенсивного и гипоинтенсивного МР-сигнала на T2ВИ, изогиперинтенсивного на Stir, различной формы и размеров, свидетельствующие о фиброзных изменениях (рис. 3). В глубоком подкожно-жировом слое скул выявляются участки гипоинтенсивного МР-сигнала на T2ВИ и изогипоинтенсивного на T1ВИ и Stir (см. рис. 2), с четкими контурами, с гиперинтенсивным ободком на T2ВИ и Stir, характерные для геля-носителя и окруженные слабовыраженным отеком в раннем периоде (рис. 2 а, б, г).

В глубоком подкожно-жировом слое скуло-щечных областей выявляются линейные участки

изогипоинтенсивного МР-сигнала на T2ВИ (см. рис. 3 а, г) и T1ВИ (см. рис. 3 б), изогиперинтенсивного на Stir (см. рис. 3 в), с четкими контурами, фиброзные изменения, обусловленные механизмом действия препарата.

Участки L-полимолочной кислоты (3 пациента; 0,9%) характеризовались изогипоинтенсивным на T2- и T1ВИ, изогиперинтенсивным на Stir сигналом (рис. 4). По сигнальным характеристикам на изображениях T2-, T1ВИ и Stir участки препарата на основе CaHA и PLA были схожи, тогда как на T1-FS-ВИ изменения сигнала могли различаться, однако это зависело от методики и сроков введения, а также разведения и биodeградации препарата. В подкожно-жировой клетчатке вдоль краев и углов нижней челюсти определяются участки изогипоинтенсивного МР-сигнала на T2- и T1ВИ (см. рис. 4 а, в), изогиперинтенсивного на Stir (см. рис. 4 б), с четкими контурами – фиброзные изменения, как желаемый эффект.

Полиакриламидный гель (1 пациент; 0,3%) характеризовался изогиперинтенсивным МР-сигналом на T2ВИ и Stir с гипоинтенсивной капсулой, изогипоинтенсивным на T1ВИ (рис. 5). В подкожно-жировой клетчатке щеочно-скуловой области с обеих сторон определяется зона изогиперинтенсивного МР-сигнала на T2ВИ и Stir (см. рис. 5 а, б),

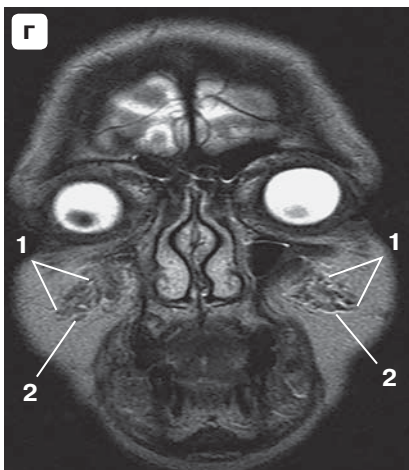
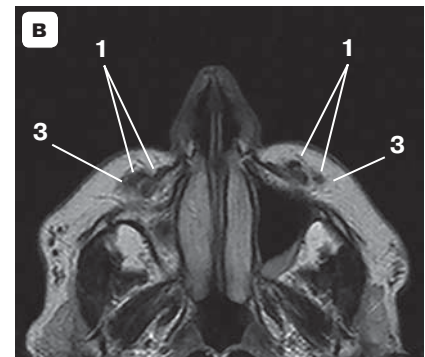
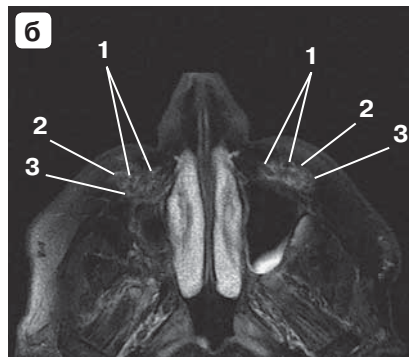
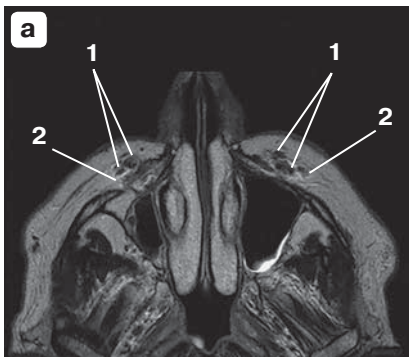


Рис. 2. МР-томограммы в аксиальной плоскости T2ВИ (а), Stir (б), T1ВИ (в) и во фронтальной плоскости T2ВИ (г). 1 – филлер на основе СаНА спустя 7 дней, 2 – карбоксиметилцеллюлозный гель-носитель, 3 – слабовыраженный отек мягких тканей после инъекции.

Fig. 2. MR tomograms in the axial plane T2-WI (a), Stir (б), T1 (в) and in coronal plane Stir (г). 1 – filler based on Ca hydroxyapatite after 7 days, 2 – carboxymethylcellulose gel carrier, 3 – mild swelling of soft tissues after injection.

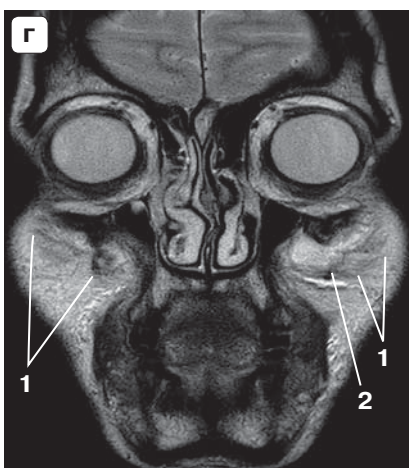
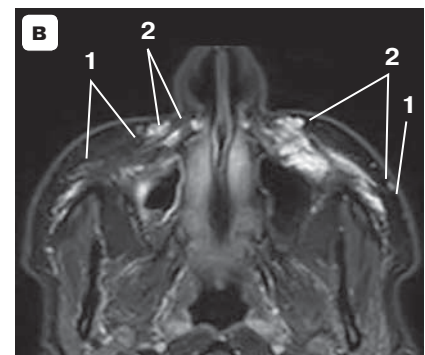
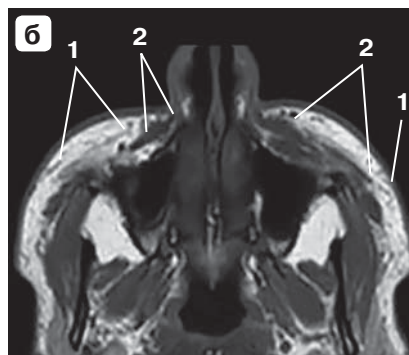
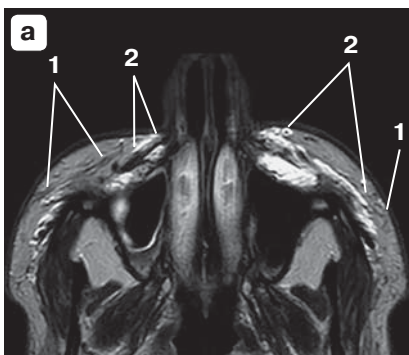


Рис. 3. МР-томограммы в аксиальной плоскости T2ВИ (а), T1ВИ (б), Stir (в) и во фронтальной плоскости T2ВИ (г). 1 – фиброзные изменения, состояние после введения филлера на основе СаНА спустя 6 мес, 2 – зоны препарата ГК спустя 1 мес.

Fig. 3. MR tomograms in the axial plane T2-WI (a), T1 (б), Stir (в), and in coronal plane Stir (г). 1 – fibrous changes, condition after injection of filler based on Ca hydroxyapatite after 6 months, 2 – zones of hyaluronic acid preparation after 1 month.

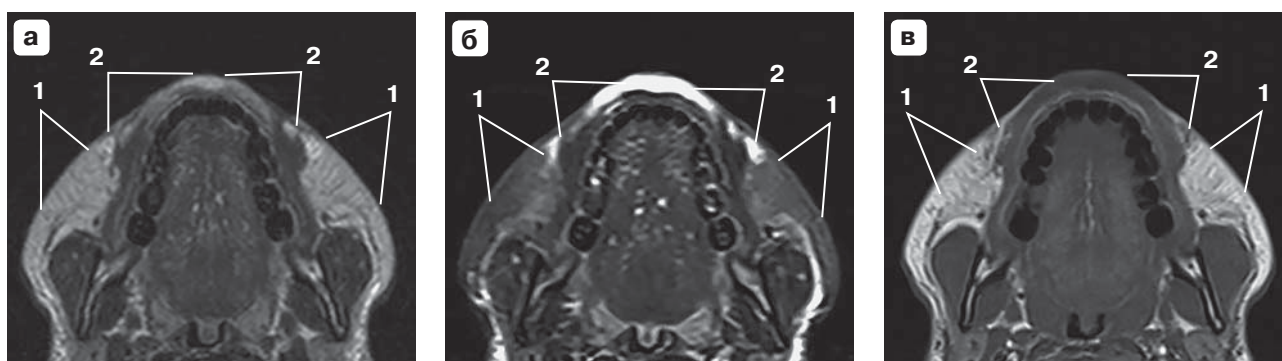
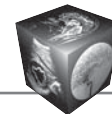


Рис. 4. МР-томограммы в аксиальной плоскости Т2ВИ (а), Stir (б), Т1ВИ (в). 1 – фиброзные изменения, состояние после введения препаратов на основе PLA спустя 3 мес, 2 – препарат на основе ГК.

Fig. 4. MR tomograms in the axial plane T2-WI (a), Stir (б), T1-WI (в). 1 – fibrotic changes, condition after administration of drugs based on L-poly-lactic acid after 3 months, 2 – preparation base hyaluronic acid.

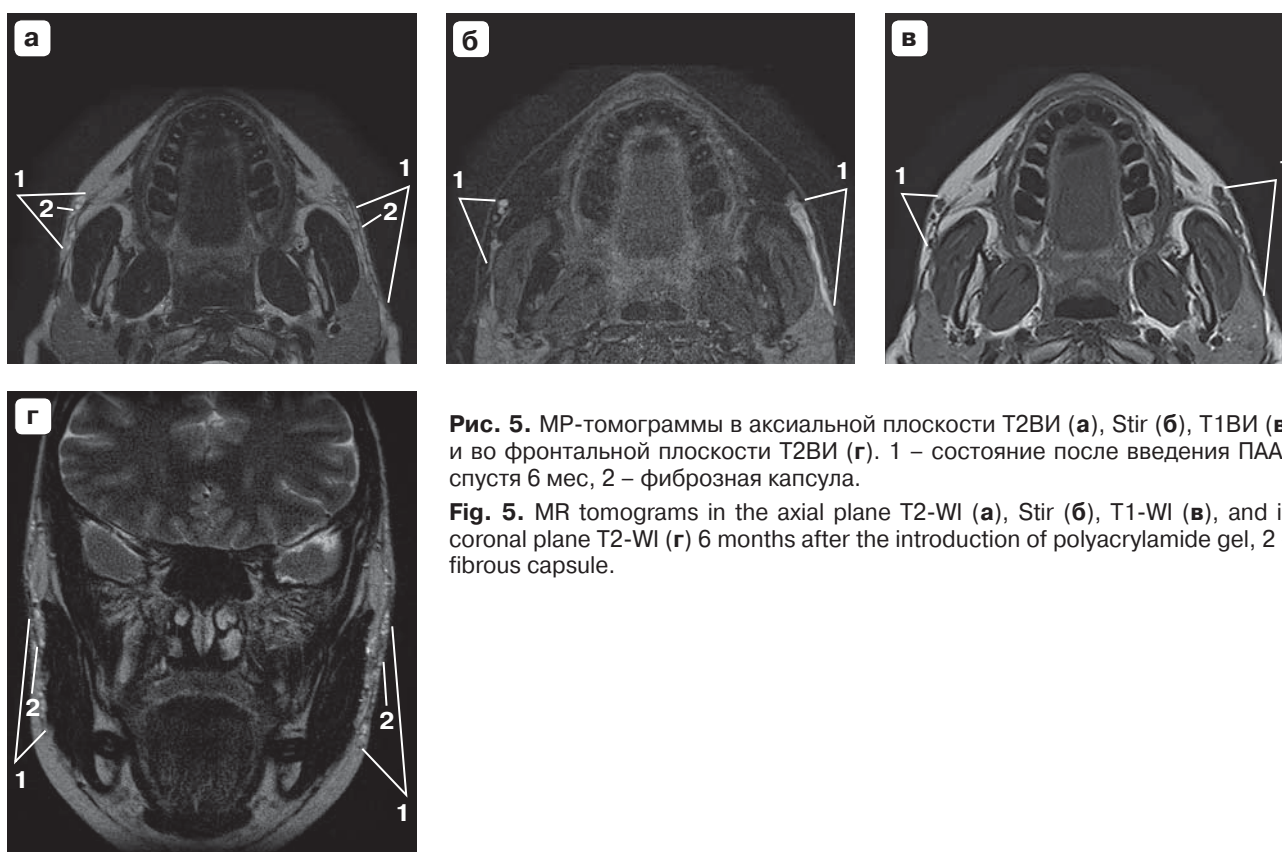


Рис. 5. МР-томограммы в аксиальной плоскости Т2ВИ (а), Stir (б), Т1ВИ (в) и во фронтальной плоскости Т2ВИ (г). 1 – состояние после введения ПААГ спустя 6 мес, 2 – фиброзная капсула.

Fig. 5. MR tomograms in the axial plane T2-WI (a), Stir (б), T1-WI (в), and in coronal plane T2-WI (г) 6 months after the introduction of polyacrylamide gel, 2 – fibrous capsule.

изогипоинтенсивного на Т1ВИ (см. рис. 5 в), с гипоинтенсивной фиброзной капсулой на Т2ВИ (см. рис. 5 а, г).

Силикон (3 пациента; 0,9%) характеризовался изогипоинтенсивным сигналом на Т2ВИ и Stir с гипоинтенсивной капсулой, изоинтенсивным на Т1ВИ, с четкими и ровными контурами (рис. 6). В верхней губе определяются зона изоинтенсивного МР-сигнала с гипоинтенсивной фиброзной

капсулой на всех импульсных последовательностях, гиперинтенсивные участки на Т2ВИ, Stir, филлер на основе ГК (рис. 6 а, б, г).

На диффузионно-взвешенных изображениях с высоким b-фактором повышения сигнала от участков препарата при любых типах филлеров при отсутствии осложнений не отмечалось. Наличие ограничения диффузии указывало на развитие нежелательных эффектов и могло потребовать

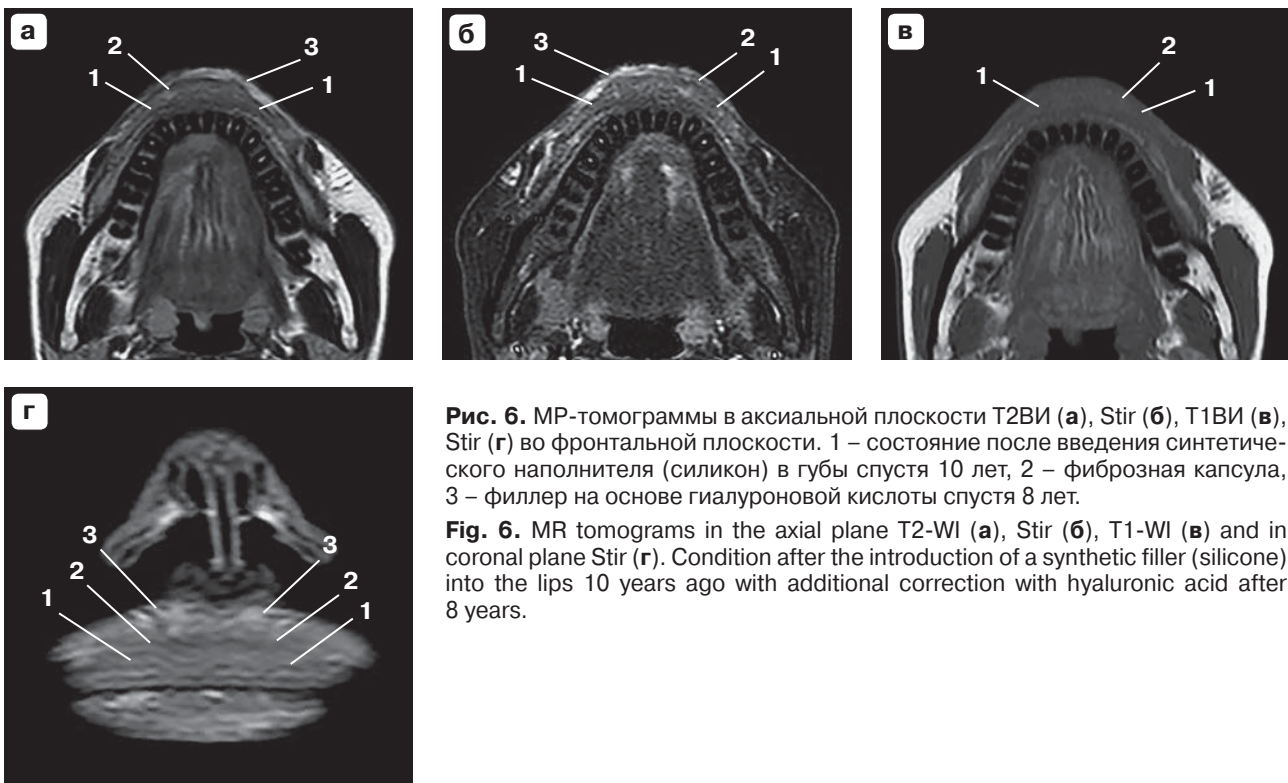


Рис. 6. МР-томограммы в аксиальной плоскости Т2ВИ (а), Stir (б), Т1ВИ (в), Stir (г) во фронтальной плоскости. 1 – состояние после введения синтетического наполнителя (силикон) в губы спустя 10 лет, 2 – фиброзная капсула, 3 – филлер на основе гиалуроновой кислоты спустя 8 лет.

Fig. 6. MR tomograms in the axial plane T2-WI (a), Stir (б), T1-WI (в) and in coronal plane Stir (г). Condition after the introduction of a synthetic filler (silicone) into the lips 10 years ago with additional correction with hyaluronic acid after 8 years.

выполнения исследования с контрастным усилением для дифференциальной диагностики с осложнениями.

Следует отметить, что характер изменений МР-сигнала зависит от давности введения препарата и интервалов между процедурами, поскольку скорость биodeградации филлеров индивидуальна у каждого пациента.

Обсуждение

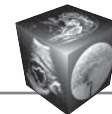
МР-картина изменений при различных типах филлеров складывалась из вышеописанных сигнальных характеристик. Разнообразие физико-химических свойств филлеров обуславливает различия и особенности их поведения в тканях. Филлеры на основе ГК гидрофильные и содержат большое количество воды, поэтому сигнальные характеристики идентичны жидкости и более отчетливо определяются на программах с жироподавлением [7]. Полученные нами результаты соотносятся с имеющимися данными научных публикаций, сигнальные характеристики филлеров на основе ГК сопоставимы с визуализацией гипо- и анэхогенных участков при УЗИ, описанные в работах [8, 9]. Однако при применении МРТ мы можем с большей объективностью отграничить и дифференцировать филлеры от прилежащих структур и возможных осложнений.

Препараты на основе СаНА представляют собой инъекционные наполнители, запускающие собственный неокollaгеноз. Механизм действия PLA заключается в том, что она стимулирует фибробласты к синтезу собственного коллагена и эластина. Таким образом, для обоих наполнителей характерны изменения МР-сигнала изо- и изогипоинтенсивного на T2-, T1ВИ, изо- и изогиперинтенсивного на Stir, что приводит к трудностям в их дифференциальной диагностике и зависит от срока введения препарата. Следует обращать внимание на характер распределения изменений и их размеры.

Препараты синтетического происхождения встречались редко, с давностью 10–20 лет и имели тенденцию к формированию фиброзно-рубцовых изменений с наличием фиброзной капсулы [2, 9]. Полученные результаты дополняют и влияют на тактику ведения и лечения пациентов косметологического профиля.

Заключение

Знания и глубокая информированность не только врача эстетической медицины об особенностях каждого вида филлеров, но и специалиста лучевой диагностики играют важную роль в диагностике. МРТ позволяет с высокой разрешающей способностью оценить состояние мягких тканей,



дифференцировать тип филлера и связанные с ним осложнения. С помощью МРТ можно стандартизировать процесс диагностики и включить в алгоритм обследования пациентов с целью выявления локализации филлеров при планировании инъекционных процедур, пластических операций, а также оценке результатов лечения и динамического контроля.

Участие авторов

Магомедова С.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, подготовка и написание текста, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Васильев А.Ю. – концепция и дизайн исследования, редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Magomedova S.A. – concept and design of the study, conducting the study, preparing and writing the text, statistical data processing, analysis and interpretation of the data obtained.

Vasil'ev A.Yu. – concept and design of the study, text editing, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. American Society for Aesthetic Plastic Surgery. Cosmetic Surgery National Data Bank Statistics, 2021. Available: isaps-global-survey_2021.pdf
2. Иконникова Е.В., Мантурова Н.Е., Круглова Л.С. Виды филлеров и их характеристика (часть 1). *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2023; 1: 67–76. <https://doi.org/10.17116/plast.hirurgia202301167>
3. Pavicic T., Frank K., Erlbacher K. et al. Precision in Dermal Filling: A Comparison Between Needle and Cannula When Using Soft Tissue Fillers. *J. Drugs Dermatol.* 2017; 16 (9): 866–872. PMID: 28915281
4. Master M, Roberts S. Long-term MRI Follow-up of Hyaluronic Acid Dermal Filler. *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open.* 2022; 10 (4): e4252. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000004252>
5. Mundada P., Kohler R., Boudabbous S. et al. Injectable facial fillers: imaging features, complications, and diagnostic pitfalls at MRI and PET CT. *Insights Imaging.* 2017; 8 (6): 557–572. <https://doi.org/10.1007/s13244-017-0575-0>
6. De Sousa A.M.S, Duarte A.C., Decnop M. et al. Imaging Features and Complications of Facial Cosmetic Procedures. *Radiographics.* 2023; 43 (12): e230060. <https://doi.org/10.1148/rg.230060>
7. Васильев А.Ю., Лежнев Д.А., Бондаренко И.Н. Сравнительная характеристика ультразвукового исследования высокого разрешения и магнитно-резонансной томографии в диагностике отеков после контурной пластики лица (клиническое наблюдение). *Радиология-практика*. 2023; 4: 82–92. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-4-82-92>
8. Васильев А.Ю., Привалова Е.Г., Бондаренко И.Н. Ультразвуковое исследование в косметологии. М.: ООО "Фирма СТРОМ", 2020. 112 с. Vasil'ev A. Yu., Privanova E. G., Bondarenko I.N. Ultrasound Examination in Esthetic Sciens. Moscow: STROM, 2020. 112 p. (In Russian)
9. Бондаренко И.Н. Новые возможности применения ультразвукового исследования в эстетической медицине: систематический обзор. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2021; 28 (6): 73–89. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2021-28-6-73-89>

Для корреспонденции*: Магомедова Саида Анварбековна – e-mail: saida.anvarbekovna@mail.ru

Магомедова Саида Анварбековна – врач-рентгенолог отделения магнитно-резонансной томографии ФГБОУ ВО "Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова" Министерства обороны РФ, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0006-4200-8782>. E-mail: saida.anvarbekovna@mail.ru

Васильев Александр Юрьевич – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО "Российский университет медицины" Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0635-4438>. E-mail: auv62@mail.ru

Contact*: Saida A. Magomedova – e-mail: saida.anvarbekovna@mail.ru

Saida A. Magomedova – Radiologist at the Magnetic Resonance Imaging Department of S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0006-4200-8782>. E-mail: saida.anvarbekovna@mail.ru

Aleksandr Yu. Vasil'ev – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Radiation Diagnostics of Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0635-4438>. E-mail: auv62@mail.ru



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1485>

Изменения гемодинамики матки после лечения хронического эндометрита

© Озерская И.А.^{1*}, Порховатый С.Я.², Казарян Г.Г.³, Ожогина Е.В.⁴

¹ ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

² ООО “Асклепийон”; 125222 Москва, ул. Дубравная, д. 41, корп. 2, Российская Федерация

³ ООО “Медскан”; 119421 Москва, ул. Обручева, д. 21А, Российская Федерация

⁴ Центр репродукции и генетики “Нова Клиник” ООО “МедИнСервис”; 119048 Москва, ул. Усачева, д. 33, стр. 4, Российская Федерация

Цель исследования: оценить гемодинамику матки и эндометрия после терапии хронического эндометрита у женщин репродуктивного возраста.

Материал и методы. Проведено проспективное когортное исследование 158 пациенток с верифицированным диагнозом “хронический эндометрит” до и после комплексной этиотропной терапии. Ультразвуковое исследование проводилось в первую фазу менструального цикла с измерениями $V_{\max}$, $V_{\min}$, V_{mean} , PI, RI, диаметра маточных артерий с последующим расчетом индекса артериальной перфузии. Оценку степени васкуляризации матки и эндометрия проводили по показателям VI, FI, VFI, полученным при 3D-ангиосканировании.

Результаты. При гипопластическом морфотипе отмечается стойкое снижение артериального кровоснабжения матки, что сочетается с гиповаскуляризацией эндометрия как до, так и после лечения. При гиперпластическом морфотипе артериальное кровоснабжение не нарушено, но в эндометрии гиперваскуляризация, выявленная до терапии, достоверно снижается вследствие исчезновения венозного стаза на фоне лечения. При смешанном морфотипе выраженных нарушений артериальной гемодинамики нет; кровоснабжение эндометрия после лечения значительно повышается, что свидетельствует об отсутствии нарушения венозного оттока и восстановлении макрососудистой сети слизистой оболочки полости матки.

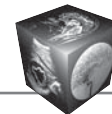
Заключение. Патологическое кровоснабжение матки и эндометрия связано со степенью выраженности нарушения венозного оттока и репаративной способностью эндометрия, которые изменяются на фоне комплексной этиотропной терапии в зависимости от морфологического типа, что позволяет судить о лечебном эффекте.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика; хронический эндометрит; лечение; гемодинамика матки; гемодинамика эндометрия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Озерская И.А., Порховатый С.Я., Казарян Г.Г., Ожогина Е.В. Изменения гемодинамики матки после лечения хронического эндометрита. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 100–111. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1485>

Поступила в редакцию: 20.06.2024. **Принята к печати:** 05.07.2024. **Опубликована online:** 25.07.2024.



Changes in uterine hemodynamics after treatment of chronic endometritis

© Irina A. Ozerskaya^{1*}, Sergey Ya. Porkhovaty², Gayane G. Kazaryan³, Ekaterina V. Ozhogina⁴

¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

² LLL "Asklepion"; 41-2, Dubravhaya str., Moscow 125222, Russian Federation

³ LLC "Medskan"; 21A, Obrucheva str., Moscow 119421, Russian Federation

⁴ Center for Reproduction and Genetics "Nova Clinic" LLC "MedInService"; 33/4, Usacheva str., Moscow 119048, Russian Federation

Objective: to evaluate the hemodynamics of the uterus and endometrium after therapy for chronic endometritis in women of reproductive age.

Material and methods. A prospective cohort study of 158 patients with a verified diagnosis of "chronic endometritis" was conducted before and after complex etiotropic therapy. Ultrasound examination was performed in the 1st phase of the menstrual cycle with measurements of Vmax, Vmin, Vmean, PI, RI, the diameter of the uterine arteries with subsequent calculation of the arterial perfusion index. The degree of vascularization of the uterus and endometrium was assessed using the VI, FI, VFI indicators obtained during 3D angioscanning.

Results. In the hypoplastic morphotype, there is a persistent decrease in the arterial blood supply to the uterus, which is combined with hypovascularization of the endometrium both before and after treatment. In the hyperplastic morphotype, the arterial blood supply is not impaired, but in the endometrium, hypervascularization detected before therapy is reliably reduced due to the disappearance of venous stasis during treatment. In the mixed morphotype, there are no pronounced disturbances in arterial hemodynamics; the blood supply to the endometrium after treatment significantly increases, which indicates the absence of a violation of venous outflow and the restoration of the macrovascular network of the mucous membrane of the uterine cavity.

Conclusion. Pathological blood supply to the uterus and endometrium is associated with the degree of severity of venous outflow disorder and the reparative capacity of the endometrium, which change against the background of complex etiotropic therapy depending on the morphological type, which allows us to judge the therapeutic effect.

Keywords: ultrasound diagnostics; chronic endometritis; treatment; uterine hemodynamics; endometrial hemodynamics

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

For citation: Ozerskaya I.A., Porkhovaty S.Ya., Kazaryan G.G., Ozhogina E.V. Changes in uterine hemodynamics after treatment of chronic endometritis. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 100–111. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1485>

Received: 20.06.2024.

Accepted for publication: 05.07.2024.

Published online: 25.07.2024.

Введение

В течение последних нескольких десятилетий хронический эндометрит (ХЭ) привлекает большое внимание специалистов по лечению бесплодия из-за его связи с репродуктивными нарушениями. В частности, во многих исследованиях установлено, что ХЭ широко распространен среди женщин, страдающих бесплодием, повторными неудачами ЭКО и невынашиванием беременности на ранних сроках. Адекватное кровоснабжение эндометрия является благоприятным прогностическим признаком, о чем свидетельствуют все исследования, но до сих пор остаются неясными механизмы, посредством которых ХЭ оказывает свое негативное влияние на имплантацию и беременность, особенно связанные с регуляцией ангиогенеза эндометрия [1].

Расстройства гемодинамики неблагоприятно влияют на рост железистого эпителия, что приводит к формированию гипо- и дистрофического эндометрия и дальнейшим нарушениям биосинтеза вследствие истощения репаративных способностей ткани, которые сопровождаются ишемией, неадекватной регенерацией с морфологическими изменениями и десинхронизацией процессов созревания [2, 3].

Изменения кровеносных сосудов секреторного эндометрия при ХЭ были изучены F.M. Carvalho и соавт. (2013) [4]. По данным исследования, в 85,7% случаев сосудистые нарушения сопутствовали ХЭ, тогда как без них ХЭ наблюдался лишь в 7,3% случаев. Эти патологические расстройства могут по-разному влиять на рецептивность эндометрия и последующую имплантацию. По наблю-



дению авторов гиалиновое утолщение стенки связано с привычным невынашиванием беременности на ранних сроках. Нарушение кровотока в эндометрии может явиться причиной отека, пролиферации эндотелия, тромбоза мелких сосудов и окклюзией их просвета. Авторы выявили, что сосудистая сеть так называемых функциональных полипов возникает в результате эволюции сосудистых изменений, связанных с эндометритом, и полипы следует рассматривать как проявление воспалительного процесса эндометрия. Такой же вывод подтверждается в работе L. Alonso и J. Carugno (2020), которые продемонстрировали, что наличие микрополипов при гистероскопии можно считать надежным диагностическим признаком ХЭ [5].

Для оценки кровоснабжения эндометрия были предложены разные методики. Так, J.H. Yang и соавт. (1999) описали подсчет сосудистых цветовых сигналов в слизистой оболочке полости матки, однако это исследование оказалось чрезвычайно трудоемким и метод не нашел широкого применения в практике [6].

Разрабатывались балльные шкалы в зависимости от количества визуализируемых сосудов, проходящих из субэндометриальной зоны в эндометрий [7], а также по глубине проникновения сосудов в эндометриальную ткань [8]. Эти шкалы можно встретить в публикациях нечасто, возможно, в связи с тем, что в одинаковый по значению балл вкладывается разный смысл.

По рекомендации группы IETA (International Endometrial Tumor Analysis) васкуляризация эндометрия также оценивается в баллах: 1 балл соответствует аваскуляризации; 2 балла – обнаружению единичных локусов; 3 балла – наличию умеренного количества сосудов; 4 балла – соответствуют гиперваскуляризации, т.е. обнаружению обильного кровотока [9]. Поиск оптимальных методик субъективной оценки васкуляризации эндометрия продолжается до настоящего времени [10].

Количественная оценка степени васкуляризации осуществляется благодаря прикладным программам VOCAL и QLAB с автоматическим расчетом индексов кровотока: васкуляризационного (VI), потокового (FI) и васкуляризационно-потокового (VFI), получаемых при 3D-ангиосканировании. Судя по обилию литературы, этой методике в последние годы отдается явное предпочтение. Как считают А.А. Соломатина и соавт., 3D-ангиография является наиболее объективным методом для оценки кровоснабжения срединных структур матки [11].

У пациенток с ХЭ выявляются нарушения гемодинамики не только в эндометрии, но и сосудах миометрия. Это проявляется венозным стазом,

дефицитом капиллярных сетей, что восполняется извилистостью сосудов, и, как следствие, повышением сопротивления кровотоку [12, 13]. В отечественной и зарубежной литературе не встречено ни одной статьи, посвященной комплексной оценке гемодинамики матки и эндометрия на фоне проводимого противовоспалительного лечения.

Цель исследования: оценить гемодинамику матки и эндометрия после терапии ХЭ у женщин репродуктивного возраста.

Материал и методы

Проведено проспективное когортное исследование 158 женщин репродуктивного возраста с диагностированным ХЭ. Клиническая диагностика эндометрита осуществлялась на основании жалоб, данных анамнеза, бимануального исследования, результатов цитологического исследования мазков из цервикального канала, иммуногистохимического (ИГХ) исследования эндометрия, полученного при пайпель-биопсии, с типированием плазматических клеток (CD138) или расширенная панель, включающая моноклональные антитела к антигенам иммунных клеток (CD4, CD8, CD20), а также гистологического исследования соскоба эндометрия под контролем гистероскопии.

Все обследованные пациентки до лечения были разделены на группы по морфологическому типу (морфотипу) в зависимости от показателя скорректированного объема эндометрия, являющегося показателем отношения объема эндометрия к объему тела матки, выраженному в процентах.

Группу 1 (гипопластический морфотип) составили 30 женщин, у которых скорректированный объем находился в пределах 2,0–4,8% (Me 3,8%), в возрасте $37,9 \pm 4,9$ года.

В группу 2 (смешанный морфотип) входила 71 пациентка, у которых скорректированный объем был в пределах 5,0–10,0% (Me 7,0%), их возраст составил $34,1 \pm 6,8$ года.

Группа 3 (гиперпластический морфотип) состояла из 57 пациенток с скорректированным объемом от 10,1 до 22,6% (Me 12,7%), возраст которых был $32,8 \pm 6,2$ года.

Комплексное лечение включало этиотропные или эмпирические антибактериальные и/или противовирусные, а также иммуномодулирующие препараты с последующим назначением метаболической, гормональной, сосудистой и пеллоидотерапии. Из исследования были исключены пациентки с миомой, эндометриозом, аномалиями развития матки и патологией придатков.

Для обследования органов малого таза использовали ультразвуковую систему Affiniti70 (Philips, Нидерланды) с мультисекторным 3D-датчиком

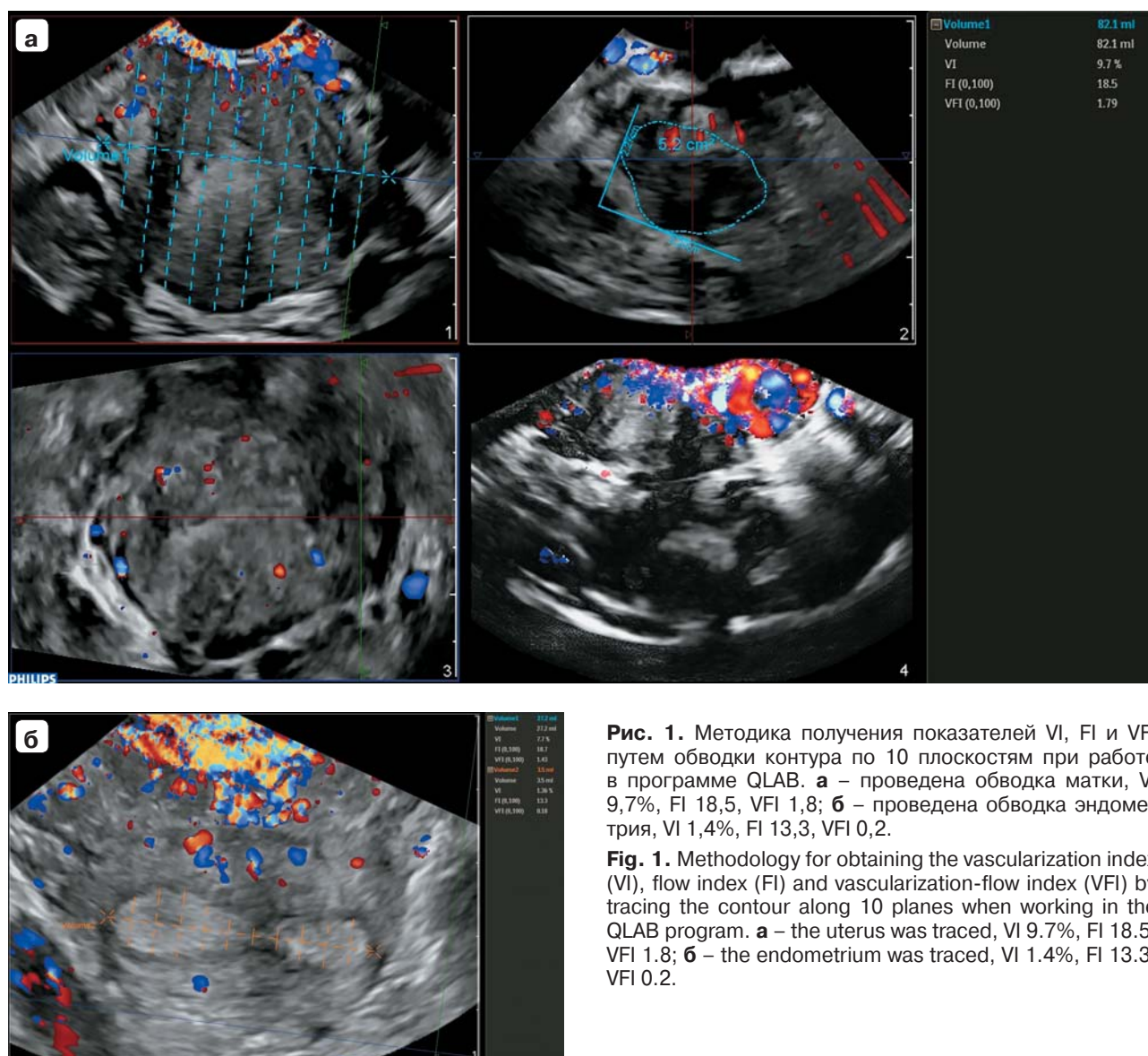
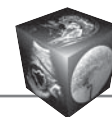


Рис. 1. Методика получения показателей VI, FI и VFI путем обводки контура по 10 плоскостям при работе в программе QLAB. **а** – проведена обводка матки, VI 9,7%, FI 18,5, VFI 1,8; **б** – проведена обводка эндометрия, VI 1,4%, FI 13,3, VFI 0,2.

Fig. 1. Methodology for obtaining the vascularization index (VI), flow index (FI) and vascularization-flow index (VFI) by tracing the contour along 10 planes when working in the QLAB program. **a** – the uterus was traced, VI 9.7%, FI 18.5, VFI 1.8; **b** – the endometrium was traced, VI 1.4%, FI 13.3, VFI 0.2.

трансвагинальным доступом в раннюю пролиферативную фазу цикла как до, так и после лечения.

Для объективной оценки степени васкуляризации применяли 3D-реконструкцию матки и эндометрия в ангиорежиме, устанавливая окно опроса на все тело матки; шкалу скорости – на 3 см/с; фильтр движения сосудистой стенки – на минимальное значение; максимальное усиление цветового режима, но до появления акустических помех. Полученный объем в трех взаимно перпендикулярных плоскостях сохраняли в режиме DICOM для последующей обработки на рабочей станции с применением программного пакета QLAB (Quality LABoratory). Обводку матки и эндометрия по контуру осуществляли по 8–10 плоскостям. После окончания обводки автоматически

на экране монитора появлялись значения VI, характеризующего процентное отношение цветовых вокселей в объеме матки или эндометрия; FI, или интенсивности кровотока, показывающего медиану яркости цветовых вокселей, которая зависит от скорости кровотока в заданном 3D-объеме; VFI, являющегося произведением VI и FI, деленным на 100 (рис. 1).

Следующим этапом осуществлялась доплерометрия в импульснoво-волновом режиме обеих маточных артерий (МА). Выбирался наиболее прямолинейный участок сосуда по боковым поверхностям матки от области перешейка до трубного угла. Получив спектр кровотока хорошего качества с соблюдением угла инсонации, проводили его автоматическую обводку и на экране монитора

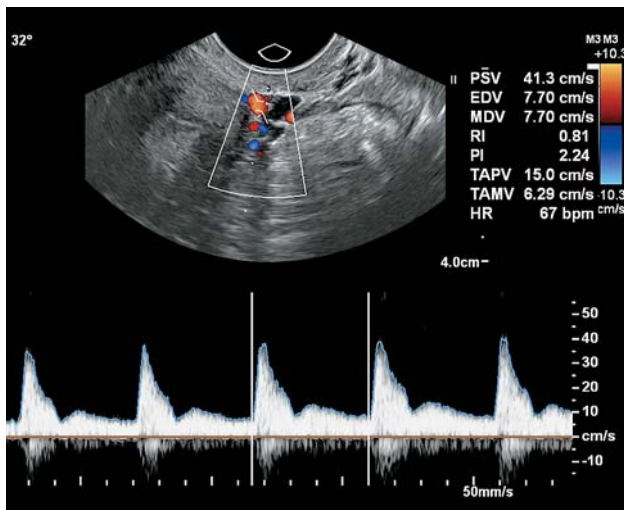


Рис. 2. Методика исследования кровотока в маточной артерии с коррекцией угла инсонации, который составляет 32°. Спектр кровотока хорошего качества, проведено автоматическое оконтуривание спектра, $V_{\max}$ (PSV) 41,3 см/с, $V_{\min}$ (EDV) 7,7 см/с, V_{mean} (TAMV) 6,3 см/с, PI 2,24, RI 0,81.

Fig. 2. Methodology for studying blood flow in the uterine artery with correction of the insonation angle, which is 32°. The blood flow spectrum is of good quality, automatic spectrum contouring was performed, $V_{\max}$ (PSV) 41.3 cm/s, $V_{\min}$ (EDV) 7.7 cm/s, V_{mean} (TAMV) 6.3 cm/s, PI 2.24, RI 0.81.

отражались показатели максимальной систолической скорости кровотока ($V_{\max}$), конечно-диастолической скорости ($V_{\min}$), средней, усредненной по времени скорости (V_{mean}) и углозависимых индексов (PI, RI) (рис. 2).

Измерение диаметра МА осуществляли на том же уровне, где размещался контрольный объем для получения доплерометрических данных, перпендикулярно стенке сосуда и строго по цветовому контуру при значительном увеличении изображения; показатели учитывали с десятых долей миллиметра (рис. 3).

Заканчивали оценку гемодинамики матки расчетом индекса артериальной перфузии (ИАП), который отражает перфузию 1 см³ тела матки, кровью, поступающей по обеим МА за один сердечный цикл, выраженный в процентах.

ИАП рассчитывали по формуле: $\text{ИАП (\%)} = [(V_{\text{mean}} \text{ МА}_{\text{прав.}} \times 0,785 \times d^2 \text{ МА}_{\text{прав.}}) + (V_{\text{mean}} \text{ МА}_{\text{лев.}} \times 0,785 \times d^2 \text{ МА}_{\text{лев.}})] : V_{\text{матки}} \times 100\%$, где $V_{\text{mean}} \text{ МА}_{\text{прав.}}$ – средняя скорость кровотока правой МА; d^2 – квадрат диаметра правой МА; $V_{\text{mean}} \text{ МА}_{\text{лев.}}$ – средняя скорость кровотока левой МА; $d^2 \text{ МА}_{\text{лев.}}$ – квадрат диаметра левой МА; $V_{\text{матки}}$ – объем тела матки; 0,785 – коэффициент,

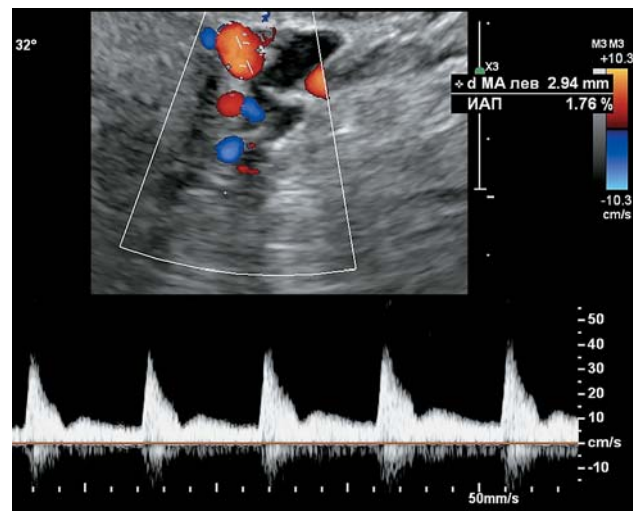


Рис. 3. Измерение диаметра маточной артерии на уровне проведения спектральной доплерометрии. Изображение увеличено, калиперы установлены по границам цветового контура сосуда, диаметр составляет 2,9 мм. После окончания всех измерений на экране монитора появляется показатель ИАП, который составляет 1,76%.

Fig. 3. Measuring the diameter of the uterine artery at the level of spectral Doppler. The image is enlarged, the calipers are installed along the boundaries of the color contour of the vessel, the diameter is 2.9 mm. After all measurements are completed, the uterine arterial perfusion index (API) appears on the monitor screen, which is 1.76%.

$\pi:4$, где $\pi = 3,14$. Данная формула была введена в программное обеспечение ультразвукового прибора и отражалась как на экране монитора, так и в протоколе исследования пациентки (см. рис. 3).

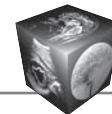
Полученные результаты обрабатывались стандартными статистическими методами. Учитывая, что большинство данных не подчинялось нормальному распределению, все результаты представлены как медиана (Me), 5–95-й процентиль. Гипотезу о равенстве средних проверяли с помощью U-теста Манна–Уитни. Статистическая значимость различий предполагалась при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Ультразвуковое исследование до лечения проводили между 4-м и 10-м ($6,9 \pm 1,3$) днем менструального цикла и после лечения – между 5-м и 10-м ($7,2 \pm 1,3$) днем ($p > 0,05$).

При сравнении скоростных значений и углозависимых индексов правой и левой МА не выявлено значимых различий как до, так и после лечения.

Изменений доплерометрических показателей и ИАП матки после лечения также не зафиксировано.



Васкуляризация матки ($VI_{\text{матки}}$) после лечения снизилась, а эндометрия ($VI_{\text{эндометрия}}$) – повысилась (табл. 1).

Диаметр МА не имел достоверных различий между показателями до и после проведенной терапии как в группе в целом, так и в зависимости от морфотипа ХЭ и находился в пределах 1,7–3,0 мм.

Артериальная гемодинамика матки по большинству показателей при различных морфотипах также существенно не изменилась, за исключением ИАП, который повысился при гипопластическом и смешанном морфотипах, однако повышение вследствие лечения не было достоверно значимым (табл. 2). Вместе с тем отмечалась существенная разница показателя артериальной перфузии матки между группами: при гипопластическом типе ИАП составил 0,88%, при смешанном – 0,97% и гиперпластическом – 1,02% ($p < 0,05$).

На фоне лечения $VI_{\text{матки}}$ снижался во всех группах. Наименьшие значения наблюдались при гипопластическом морфотипе (6,3%), при смешанном – значительно выше (9,6%) и наибольшие – при гиперпластическом (10,0%). Если разница между группой 1 и двумя другими оказалась достоверной ($p < 0,05$), то между смешанным и гиперпластическим типами она была незначимой ($p > 0,05$).

Вследствие проведенного лечения $VI_{\text{эндометрия}}$ в группе 1 практически не изменился, в группе 2 – повысился ($p < 0,05$), а в группе 3 – снизился ($p < 0,05$). Так же как $VI_{\text{матки}}$, $VI_{\text{эндометрия}}$ между гипопластическим и двумя другими морфотипами был достоверным ($p < 0,05$), в то время как между смешанным и гиперпластическим – незначимым ($p > 0,05$).

Таблица 1. Показатели кровотока маточных артерий, а также объемного кровотока матки и эндометрия у пациенток до и после противовоспалительной терапии хронического эндометрита

Table 1. Indicators of uterine artery blood flow, as well as volumetric blood flow of the uterus and endometrium in patients before and after anti-inflammatory therapy for chronic endometritis

Показатель Index	До лечения Before treatment	После лечения After treatment	p
V_{mean} , см/с	5.4	5.5	0.798
V_{mean} , см/с	2.6–8.9	2.8–10.4	
V_{max} , см/с	35.7	33.3	0.706
V_{max} , см/с	24.4–44.4	23.1–44.8	
V_{min} , см/с	4.7	4.8	0.819
V_{min} , см/с	0–9.2	0–10.3	
PI	2.70	2.37	0.914
	1.66–5.11	1.35–4.53	
RI	0.87	0.85	0.993
	0.74–1.00	0.72–1.00	
ИАП _{матки} , %	0.97	0.98	0.467
API _{uterus} , %	0.47–1.76	0.72–1.69	
$VI_{\text{матки}}$, %	10.4	9.3	0.038
VI_{uterus} , %	3.3–24.4	2.6–22.4	
$FI_{\text{матки}}$	20.9	23.5	0.079
FI_{uterus}	11.7–29.7	13.7–34.0	
$VFI_{\text{матки}}$	2.1	2.1	0.134
VFI_{uterus}	0.6–6.9	0.5–5.6	
$VI_{\text{эндометрия}}$, %	1.3	1.5	0.021
$VI_{\text{endometrium}}$, %	0–7.4	0–8.1	
$FI_{\text{эндометрия}}$	5.4	5.3	0.040
$FI_{\text{endometrium}}$	0–9.1	0–10.0	
$VFI_{\text{эндометрия}}$	0.1	0.1	0.011
$VFI_{\text{endometrium}}$	0–0.6	0–0.6	

Примечание. Данные представлены в формате Me (медиана, первая строка); вторая строка – 5–95-й процентиль; p – сравнение до и после лечения.

Note. Data are presented in the format Me (median, first row); second row – 5–95 percentile; p – comparison before and after treatment.

**Таблица 2.** Показатели кровотока маточных артерий, а также объемного кровотока матки и эндометрия в зависимости от морфологического типа хронического эндометрита до и после противовоспалительной терапии**Table 2.** Indicators of uterine artery blood flow, as well as volumetric blood flow of the uterus and endometrium depending on the morphological type of chronic endometritis before and after anti-inflammatory therapy

Показатель Index	Гипопластический морфотип Hypoplastic morphotype			Смешанный морфотип Mixed morphotype			Гиперпластический морфотип Hyperplastic morphotype			p
	до лечения before treat- ment	после лечения after treat- ment	p	до лечения before treat- ment	после лечения after treat- ment	p	до лечения before treat- ment	после лечения after treat- ment	p	
V_{mean} , CM/c V_{mean} , cm/s	5.3 3.0–8.0	5.8 3.1–9.7	0.449	5.3 2.7–8.4	5.9 3.0–11.0	0.037	5.6 2.2–9.2	6.0 3.1–11.0	0.057	P^1 0.954 P^2 0.716 P^3 0.123
V_{max} , CM/c V_{max} , cm/s	34.5 25.8–44.6	32.3 25.3–44.2	0.371	36.1 24.1–44.8	32.4 22.3–45.1	0.119	35.1 24.5–43.6	33.0 23.8–44.7	0.470	P^1 0.879 P^2 0.837 P^3 0.290
V_{min} , CM/c V_{min} , cm/s	4.7 0–8.4	4.4 0–8.8	0.134	4.7 0–8.8	3.9 0–10.3	0.032	4.6 0–10.4	4.3 0–9.9	0.554	P^1 0.012 P^2 0.255 P^3 0.134
PI	2.68 1.84–4.56	2.51 1.26–4.30	0.129	2.64 1.74–5.33	2.51 1.46–4.78	0.502	2.74 1.56–4.70	2.52 1.35–4.55	0.164	P^1 0.114 P^2 0.993 P^3 0.862
RI	0.87 0.75–1.00	0.86 0.71–1.00	0.619	0.87 0.76–1.00	0.86 0.73–1.00	0.069	0.87 0.72–1.00	0.86 0.73–1.00	0.903	P^1 0.576 P^2 0.135 P^3 0.175
ИАП _{матки} , % API _{uterus} , %	0.69 0.48–1.20	0.88 0.52–1.21	0.052	0.95 0.46–1.84	0.97 0.71–1.71	0.090	1.07 0.48–1.77	1.02 0.73–1.71	0.637	P^1 0.010 P^2 <0.001 P^3 0.030
VI _{матки} , % VI _{uterus} , %	7.8 4.6–13.6	6.3 2.4–11.2	0.554	9.9 3.1–22.3	9.6 2.3–25.8	0.365	11.3 5.0–24.5	10.0 5.2–16.9	0.530	P^1 0.003 P^2 <0.001 P^3 0.210
FI _{матки} FI _{uterus}	21.0 10.6–26.2	22.6 14.8–28.5	0.004	20.2 11.3–27.3	23.5 14.7–33.7	0.007	20.7 12.7–30.4	23.7 15.8–29.5	0.006	P^1 0.035 P^2 0.097 P^3 0.017
VFI _{матки} VFI _{uterus}	1.8 0.6–3.3	1.4 0.6–2.5	0.119	2.0 0.6–5.1	2.1 0.5–7.7	0.127	2.2 0.7–7.4	2.2 0.9–4.5	0.053	P^1 0.002 P^2 <0.001 P^3 0.031
VI _{эндометрия} , % VI _{endometrium} , %	0.2 0–1.5	0.3 0–1.8	0.892	0.8 0–7.4	1.2 0–9.4	0.013	2.6 0.1–8.7	1.1 0–3.7	0.003	P^1 0.019 P^2 <0.001 P^3 0.310
FI _{эндометрия} FI _{endometrium}	2.1 0–7.8	3.0 0–7.2	0.901	5.3 0–9.2	5.7 0–10.3	0.383	6.5 3.1–9.5	5.7 0–9.6	0.816	P^1 0.025 P^2 <0.001 P^3 0.335
VFI _{эндометрия} VFI _{endometrium}	0 0–0.1	0 0–0.1	0.920	0 0–0.5	0.1 0–1.0	0.022	0.2 0–0.9	0.1 0–0.3	0.056	P^1 0.017 P^2 <0.001 P^3 0.050

Примечание. Данные представлены в формате Ме (медиана, первая строка); вторая строка – 5–95-й процентиль.

p – сравнение до и после лечения;

p^1 – сравнение между гипопластическим и смешанным морфотипами после лечения;

p^2 – сравнение между гипопластическим и гиперпластическим морфотипами после лечения ;

p^3 – сравнение между смешанным и гиперпластическим морфотипами после лечения.

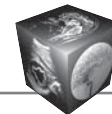
Note. Data are presented in the format Me (median, first row); second row – 5–95 percentile.

p – comparison before and after treatment;

p^1 – comparison between hypoplastic and mixed morphotypes after treatment;

p^2 – comparison between hypoplastic and hyperplastic morphotypes after treatment;

p^3 – comparison between mixed and hyperplastic morphotypes after treatment.



Обсуждение

Проведенное исследование ставило целью оценить изменения гемодинамики матки, в том числе слизистой оболочки ее полости, после лечения ХЭ, который остается сложной темой в отношении диагностики и лечения [14].

Патологические механизмы, посредством которых ХЭ оказывает негативное влияние на нарушение регуляции ангиогенеза эндометрия, неясны. В настоящее время существует два основных метода исследования васкуляризации эндометрия: один – это традиционный метод с использованием ИГХ-анализа при биопсии эндометрия для оценки плотности микрососудов (MVD), а другой – ультразвуковой метод с применением цветовой и спектральной доплерографии, а также использование 3D-ангиографии. Гистологические морфометрические данные не коррелируют с данными ультразвукового исследования [15]. Вероятно, это связано с тем, что при ИГХ-определении MVD оценивается микроциркуляторное русло, тогда как при ультразвуковом исследовании можно обнаружить только макрососудистую сеть [16].

Традиционные скоростные и углозависимые доплерометрические параметры МА свидетельствуют об отсутствии влияния лечения на эти показатели артериального кровотока.

С появлением трехмерного ультразвукового исследования стало возможным выполнять объективную оценку васкуляризации матки и эндометрия [17]. Было доказано, что скоростные показатели и углозависимые индексы менее надежны в диагностике гинекологических заболеваний, чем применение VI, FI и VFI [18]. Так, J.L. Alcázar

и D. Rodriguez (2009) провели сравнение исследования кровотока в доброкачественных и злокачественных опухолях яичников с использованием 2D- и 3D-доплерографии [19]. Авторы получили достоверно более высокие показатели объемных индексов в злокачественных неоплазиях, в то время как никаких различий по PI, RI, $V_{\max}$ обнаружено не было.

Многочисленные исследования, проведенные за последнюю четверть века, доказали значимость адекватной васкуляризации для наступления беременности у женщин, страдающих бесплодием, однако не встречено ни одной работы, где бы рассматривалось влияние лечения ХЭ на гемодинамику матки, в том числе эндометрия, с помощью 3D-ангиографии.

Вследствие проведенной терапии васкуляризация матки, выражающаяся VI (%), при всех морфотипах ХЭ снизилась, в то время как FI, зависящий от скорости кровотока миометрия, достоверно повышался, что можно объяснить восстановлением венозного оттока в матке, связанного с расширением аркуатного сплетения при ХЭ [20]. Вместе с тем показатели VI при гипопластическом морфотипе после лечения оказались достоверно ниже, чем при смешанном и гиперпластическом, в то время как между двумя последними существенной разницы не зарегистрировано (рис. 4).

После проведенного лечения $VI_{\text{эндометрия}}$ при гипопластическом морфотипе практически не изменился, при смешанном – достоверно повысился, а при гиперпластическом – значимо снизился (рис. 5); FI ни в одной из этих групп существенных изменений не претерпел. Вероятно, спиральные

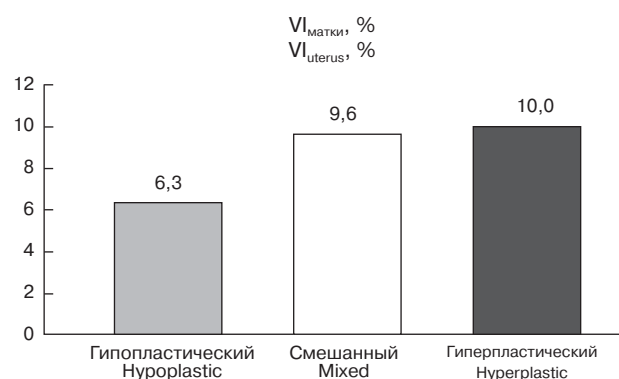


Рис. 4. Сравнение $VI_{\text{матки}}$ между морфологическими типами хронического эндометрита после лечения.

Fig. 4. Comparison of the vascularization index (VI) of the uterus between morphological types of chronic endometritis after treatment.

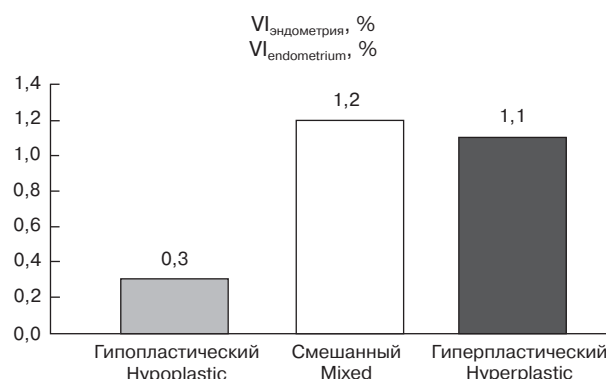


Рис. 5. Сравнение $VI_{\text{эндометрия}}$ между морфологическими типами хронического эндометрита после лечения.

Fig. 5. Comparison of the vascularization index (VI) of the endometrium between morphological types of chronic endometritis after treatment.

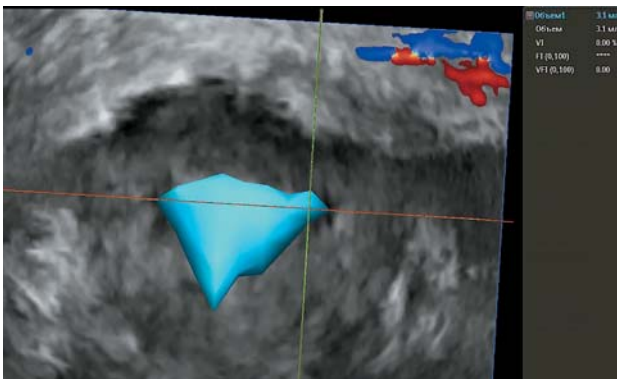


Рис. 6. Аvascularизация эндометрия объемом 3,1 см³, выявленная с помощью программы QLAB, VI 0,0%, FI 0,0, VFI 0,0.

Fig. 6. Endometrial avascularization, volume 3.1 cm³, detected using the QLAB program, VI 0.0%, FI 0.0, VFI 0.0.

сосуды капиллярного типа по-разному реагируют на купирование воспалительного процесса на фоне терапии.

При гиперпластическом морфотипе отек стромы эндометрия [21] приводит к нарушению венозного оттока с расширением спиральных вен, что проявляется гиперваскуляризацией эндометриальной ткани, которая снижается по мере уменьшения отека вследствие лечения. При проведении гистероскопии наблюдаются отек стромы и очаговая или диффузная гиперемия как надежные признаки ХЭ [22]. О том, что гиперваскуляризация связана именно с нарушением венозного оттока с последующим восстановлением, а не с артериальными сосудами, свидетельствует стабильный показатель ИАП матки как до, так и после лечения.

Отчасти гиперваскуляризация в группах 2 и 3 до лечения может быть связана с наличием полиповидных разрастаний, в которых сосуды имеют больший просвет [4]. Исчезновение этих изменений слизистой оболочки полости матки, сопутствующих ХЭ, на фоне лечения приводит к снижению васкуляризации.

При гипопластическом морфотипе преобладает фиброз стромы с нарушением роста железистого компонента, вследствие этого формируется так называемый тонкий эндометрий [23, 24]. Отсутствие достаточного объема железистых клеток в эндометриальной ткани приводит к снижению фактора роста эндотелия сосудов А (VEGFA), являющегося основным стимулятором ангиогенеза [1], что проявляется гипо- или аваскуляризацией. Так, если после лечения аваскуляризация эндометрия, т.е. показатели VI = 0%, при гиперпла-

Индекс артериальной перфузии матки, %
Arterial perfusion index of the uterus, %

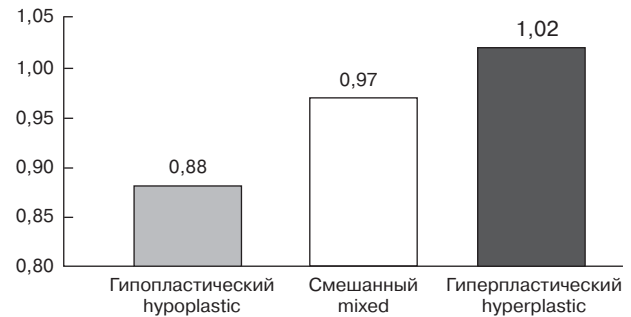


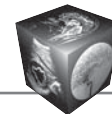
Рис. 7. Сравнение ИАП_{матки} между морфологическими типами хронического эндометрита после лечения.

Fig. 7. Comparison of the uterine arterial perfusion index (API) between morphological types of chronic endometritis after treatment.

стическом морфотипе встречалась у 8,8% пациенток, то при гипопластическом – у 46,7% (рис. 6). Регистрация нулевых значений VI свидетельствует о разных возможностях выявления сосудов ИГХ и ультразвуковым методом, т.е. микро- или макрососудистую сеть. Снижению кровоснабжения тонкого эндометрия сопутствует нарушение артериального притока к матке по МА, что наглядно демонстрирует достоверное снижение ИАП матки по сравнению со смешанным и гиперпластическим морфотипами (рис. 7).

Возможно, на показатели гемодинамики оказывает влияние степень тяжести ХЭ, которая определяется на основании ИГХ-анализа CD138 и CD56 и делится на легкую и тяжелую [25] или слабовыраженную, умеренно выраженную и выраженную [26].

На основании проведенного исследования можно предположить, что ХЭ имеет стадийность течения, которая, учитывая отсутствие выраженной клинической картины и порой запоздалую диагностику, проявляется различными морфотипами и, соответственно, разным эффектом от проводимого лечения. Вероятно, венозное полнокровие и отек эндометрия обуславливают гиперпластический морфотип; затем возникают пролиферация стромального компонента и фиброз, приводящие к истончению слизистой оболочки и невыраженному сосудистому рисунку, что характерно для гипопластического типа [13]. Косвенно это подтверждает возраст пациенток: при гипопластическом морфотипе он составил $37,9 \pm 4,9$ года, что оказалось достоверно больше, чем при смешанном ($34,1 \pm 6,8$ года) и гиперпластическом ($32,8 \pm 6,2$ года).



Заключение

Результаты проведенного исследования свидетельствуют об изменении гемодинамики матки у женщин, страдающих ХЭ, на фоне противовоспалительной терапии. В связи с тем что артериальный кровоток практически не меняется, а статистически значимые отличия получены в показателях артериовенозного кровотока, можно сделать вывод, что патологическое кровоснабжение матки и эндометрия связано со степенью выраженности нарушения венозного оттока и репаративной способностью эндометрия.

При гипопластическом морфологическом типе ХЭ отмечается стойкое снижение артериального кровоснабжения матки, что сочетается с гиповаскуляризацией эндометрия как до, так и после лечения.

При гиперпластическом морфологическом типе ХЭ артериальное кровоснабжение не нарушено, но в эндометрии гиперваскуляризация, выявленная до терапии, достоверно снижается вследствие исчезновения венозного стаза на фоне лечения.

При смешанном морфологическом типе ХЭ, имеющем характеристики как гипо-, так и гиперпластического типа, выраженных нарушений артериальной гемодинамики нет. Кровоснабжение эндометрия после противовоспалительной терапии значительно повышается, что свидетельствует об отсутствии нарушения венозного оттока и восстановлении макрососудистой сети слизистой оболочки полости матки.

В связи с тем что в настоящее время продолжается поиск диагностических критериев ХЭ, в том числе и для оценки эффективности лечения, данную работу можно отнести к одной из первых в этом направлении. Не вызывает сомнений необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на выяснение особенностей состояния кровоснабжения эндометрия при использовании различных схем и продолжительности лечения.

Участие авторов

Озерская И.А. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Порховатый С.Я. – проведение исследования, сбор и обработка данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Казарян Г.Г. – сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, участие в научном ди-

зайне, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Ожогина Е.В. – обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Ozerskaya I.A. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Porkhovaty S.Ya. – conducting research, collection and analysis of data, approval of the final version of the article.

Kazaryan G.G. – collection and analysis of data, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

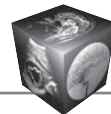
Ozhogina E.V. – review of publications statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Liu Z., Liu X., Li F. et al. Overexpression of hypoxia-inducible factor 1 α and excessive vascularization in the peri-implantation endometrium of infertile women with chronic endometritis. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2022; 13: 1001437. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1001437>
2. Оразов М.Р., Михалева Л.М., Семенов П.А. Хронический эндометрит: патогенез, диагностика, лечение и его связь с бесплодием. *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2020; 9 (2): 16–25. <https://doi.org/10.31088/CEM2020.9.2.16-25>
Orazov M.R., Mikhaleva L.M., Semenov P.A. Chronic endometritis: pathogenesis, diagnosis, treatment and its relationship with infertility. *Clinical and Experimental Morphology*. 2020; 9 (2): 16–25. <https://doi.org/10.31088/CEM2020.9.2.16-25> (In Russian)
3. Оразов М.Р., Михалева Л.М., Исмаиладзе С.Я. Факторы риска реализаций внутриматочных адгезий у женщин репродуктивного возраста. *Медицинский вестник Юга России*. 2022; 13 (2): 86–90. <https://doi.org/10.21886/2219-8075-2022-13-2-86-9031>
Orazov M.R., Mikhaleva L.M., Ismailzade S.Ya. Risk factors for the implementation of intrauterine adhesions in women of reproductive age. *Medical Herald of the South of Russia*. 2022; 13 (2): 86–90. <https://doi.org/10.21886/2219-8075-2022-13-2-86-9031> (In Russian)
4. Carvalho F.M., Aguiar F.N., Tomioka R. et al. Functional endometrial polyps in infertile asymptomatic patients: a possible evolution of vascular changes secondary to endometritis. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.* 2013; 170 (1): 152–156. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2013.05.012>
5. Alonso L., Carugno J. Chronic Endometritis: Three-dimensional Ultrasound and Hysteroscopy Correlation.



- J. Minim. Invasive Gynecol.* 2020; 27 (5): 993–994. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2019.08.028>
6. Yang J.H., Wu M.Y., Chen C.D. et al. Association of endometrial blood flow as determined by a modified colour Doppler technique with subsequent outcome of in-vitro fertilization. *Hum. Reprod.* 1999; 14 (6): 1606–1610. <https://doi.org/10.1093/humrep/14.6.1606>
 7. Salle B., Bied-Damon V., Benchaib M. et al. Preliminary report of an ultrasonography and colour Doppler uterine score to predict uterine receptivity in an in-vitro fertilization programme. *Hum Reprod.* 1998; 13 (6): 1669–1673. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.6.1669>
 8. Zhang C.H., Chen C., Wang J.R. et al. An endometrial receptivity scoring system basing on the endometrial thickness, volume, echo, peristalsis, and blood flow evaluated by ultrasonography. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2022; 13: 907874. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.907874>
 9. Leone F.P.G., Timmerman D., Bourne T. et al. Terms, definitions and measurements to describe the sonographic features of the endometrium and intrauterine lesions: a consensus opinion from the International Endometrial Tumor Analysis (IETA) group. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2010; 35: 103–112. <https://doi.org/10.1002/uog.7487>
 10. Pandey D., Bajaj B., Kapoor G., Bharti R. Intrauterine instillation of autologous platelet-rich plasma in infertile females with thin endometrium undergoing intrauterine insemination: an open-label randomized controlled trial. *AJOG Glob. Rep.* 2023; 3 (2): 100172. <https://doi.org/10.1016/j.xagr.2023.100172>
 11. Соломатина А.А., Коноплинников А.Г., Хамзин И.З., Братчикова О.В., Чабиева Л.Б., Степанян Э.С. 3D-УЗИ в оценке имплантационных свойств эндометрия после органосохраняющих операций по поводу эндометриоидных кист яичников. *Доктор.Ру.* 2020; 19 (8): 66–70. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2020-19-8-66-70>
Solomatina A.A., Konoplyannikov A.G., Khamzin I.Z. et al. 3D ultrasound in assessing the implantation properties of the endometrium after organ-preserving surgeries for endometrioid ovarian cysts. *Doctor.Ru.* 2020; 19 (8): 66–70. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2020-19-8-66-70> (In Russian)
 12. Цаллагова Л.В., Кабулова И.В., Золоева И.А. Роль хронического эндометрита в генезе бесплодия. *Кубанский научный медицинский вестник.* 2014; 4: 131–136.
Tsallagova L.V., Kabulova I.V., Zoloeva I.A. The role of chronic endometritis in the genesis of infertility. *Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2014; 4: 131–136. (In Russian)
 13. Калинина Н.С., Петров Ю.А. Хронический эндометрит: современные принципы лечения, направленные на снижение репродуктивных потерь. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2019; 9: 51–55.
Kalinina N.S., Petrov Yu.A. Chronic endometritis: modern principles of treatment aimed at reducing reproductive losses. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy.* 2019; 9: 51–55. (In Russian)
 14. Luncan M., Huniadi A., Bimbo-Szuhai E. et al. The effectiveness of intrauterine antibiotic infusion versus oral antibiotic therapy in the treatment of chronic endometritis in patients during IVF (in vitro fertilization) procedures. *BMC Womens Health.* 2022; 22 (1): 529. <https://doi.org/10.1186/s12905-022-02128-8>
 15. Chen X., Saravelos S.H., Liu Y. et al. Correlation between three-dimensional power Doppler and morphometric measurement of endometrial vascularity at the time of embryo implantation in women with unexplained recurrent miscarriage. *J. Mol. Hist.* 2017; 48: 235–242. <https://doi.org/10.1007/s10735-017-9722-7>
 16. Qi R., Zhang T., Zhang Y. et al. Association of angiotensin II and receptors in peri-implantation endometrium with microvessel density and pregnancy outcomes of women with recurrent implantation failure after embryo transfer. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2023; 14: 1206326. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1206326>
 17. Alcázar J.L. Three-dimensional ultrasound assessment of endometrial receptivity: a review. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2006; 4: 56. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-4-56>
 18. Martins W.P., Welsh A.W., Lima J.C. et al. The “volumetric” pulsatility index as evaluated by spatiotemporal imaging correlation (STIC): a preliminary description of a novel technique, its application to the endometrium and an evaluation of its reproducibility. *Ultrasound Med. Biol.* 2011; 37 (12): 2160–2168. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2011.08.014>
 19. Alcázar J.L., Rodriguez D. Three-dimensional power Doppler vascular sonographic sampling for predicting ovarian cancer in cystic-solid and solid vascularized masses. *J. Ultrasound Med.* 2009; 28 (3): 275–281. <https://doi.org/10.7863/jum.2009.28.3.275>
 20. Буланов М.Н. Ультразвуковая гинекология: Курс лекций в двух частях. 3-е изд., доп. Ч. I, гл. 1–13. М.: Издательский дом Видар-М, 2014. 568 с.
Bulanov M.N. Ultrasound gynecology: course lecture in two parts. 3rd ed., add. Part I, ch. 1–13. M.: Vidar-M, 2014. 568 p. (In Russian)
 21. Drizi A., Djokovic D., Laganà A.S., van Herendael B. Impaired inflammatory state of the endometrium: a multifaceted approach to endometrial inflammation. Current insights and future directions. *Prz. Menopauzalny.* 2020; 19 (2): 90–100. <https://doi.org/10.5114/pm.2020.97863>
 22. Cicinelli E., Matteo M., Tinelli R. et al. Prevalence of chronic endometritis in repeated unexplained implantation failure and the IVF success rate after antibiotic therapy. *Hum. Reprod.* 2015; 30 (2): 323–330. <https://doi.org/10.1093/humrep/deu292>
 23. Краснополянская К.В., Оразов М.Р., Ершова И.Ю., Федоров А.А. Тонкий эндометрий и бесплодие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. 208 с.
Krasnopolskaya K.V., Orazov M.R., Ershova I.Yu., Fedorov A.A. Thin endometrium and infertility. 2nd ed., revised. and additional M.: GEOTAR-Media, 2022. 208 p. (In Russian)
 24. Толибова Г.Х., Траль Т.Г., Коган И.Ю., Олина А.А. Эндометрий. Атлас. М.: Редакция журнала Status Praesens, 2022. 184 с.
Tolibova G.Kh., Tral T.G., Kogan I.Yu., Olina A.A. Endometrium. Atlas. M.: Editorial office of the magazine StatusPraesens, 2022. 184 p. (In Russian)
 25. Vitagliano A., Laganà A.S., De Ziegler D. et al. Chronic Endometritis in Infertile Women: Impact of Untreated Disease, Plasma Cell Count and Antibiotic Therapy on IVF Outcome-A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12 (9): 2250. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12092250>



26. Оразов М.Р., Михалева Л.М., Силантьева Е.С., Семёнов П.А., Орехов Р.Е., Лагутина Е.В. Способ определения степени выраженности хронического эндометрита у женщин с маточным фактором бесплодия после неудачного экстракорпорального оплодотворения в анамнезе (варианты). <https://patents.google.com/patent/RU2748191C1/ru>

Orazov M.R., Mikhaleva L.M., Silantyeva E.S. et al. Method for determining the severity of chronic endometritis in women with uterine factor infertility after unsuccessful in vitro fertilization in anamnesis (variants). <https://patents.google.com/patent/RU2748191C1/ru> (In Russian)

Для корреспонденции*: Озерская Ирина Аркадиевна – e-mail: ozerskaya_usd@mail.ru

Озерская Ирина Аркадиевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры ультразвуковой диагностики факультета непрерывного медицинского образования медицинского института ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Порховатый Сергей Яковлевич – канд. мед. наук, врач ультразвуковой диагностики ООО “Асклепий”, Москва. <https://orcid.org/0009-0002-7263-1568>

Казарян Гаяне Геворковна – канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики ООО “Медскан”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>

Ожогина Екатерина Викторовна – канд. мед. наук, ведущий репродуктолог Центра репродукции и генетики “Нова Клиник” ООО “МедИнСервис”, Москва. <https://orcid.org/0009-0007-5205-2901>

Contact*: Irina A. Ozerskaya – e-mail: ozerskaya_usd@mail.ru

Irina A. Ozerskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics of the Faculty of Continuing Medical Education of the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8929-6001>

Sergey Ya. Porkhovaty – Cand. of Sci. (Med.), Ultrasound Diagnostic Doctor, LLC “Asklepion”, Moscow. <https://orcid.org/0009-0002-7263-1568>

Gayane G. Kazaryan – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of ultrasound, LLC “Medskan”, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1198-8187>

Ekaterina V. Ozhogina – Cand. of Sci. (Med.), lead reproductive specialist of Center for Reproduction and Genetics “Nova Clinic” LLC “MedInService”, Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-5205-2901>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1382>

Современные методы визуализации подагрических тофусов

© Ким Т.В.*, Завадовская В.Д., Дегтярев И.Ю., Замышевская М.А.,
Удодов В.Д., Зоркальцев М.А., Траудт А.К.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
634050 Томск, Московский тракт, д. 2, Российская Федерация

Цель исследования: представить роль обзорной рентгенографии, ультразвукового исследования (УЗИ), магнитно-резонансной томографии (МРТ), рутинной и двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ), а также остеосцинтиграфии в диагностике подагрического артрита.

Материал и методы. Анализ литературных источников выполнялся в информационно-аналитических системах PubMed и Google Scholar за 2012–2023 гг. с использованием следующих ключевых слов: подагрический артрит, подагрический тофус, imaging of gout, X-ray study, ultrasound, CT, dual-energy CT, MRI, bone scintigraphy, PET/CT.

Результаты. Проанализировано 894 статьи, 39 из которых использованы для составления обзора. Дополнительно использованы 42 статьи за 2018–2023 гг. и клинические рекомендации. Результаты поиска: статьи сгруппированы в блоки на основании лучевых модальностей, систематизирована визуальная картина и роль каждой модальности в ранней диагностике подагрического артрита.

Заключение. Несмотря на то что «золотым стандартом» диагностики подагрического артрита является исследование синовиальной жидкости, основная роль в выявлении данного заболевания отводится лучевой диагностике.

Современные диагностические модальности – УЗИ, МРТ и ДЭКТ открывают новые возможности в выявлении подагры без необходимости инвазивной процедуры пункции сустава. Наибольшей диагностической информативностью обладают УЗИ и ДЭКТ, включенные в классификационные критерии ACR и EULAR.

ДЭКТ опережает в сравнительном аспекте другие лучевые модальности, при этом обеспечивает визуализацию кристаллов моноурата натрия и их количественную оценку.

Результаты исследований, оценивающих чувствительность и специфичность современных методов визуализации, позволяют говорить о возможности адекватной и своевременной диагностике подагры. В то же время необходимо учитывать проблемы и ограничения используемых диагностических модальностей, что создает основу для дальнейших исследований в этом направлении.

Ключевые слова: подагрический артрит; подагрический тофус; imaging of gout; X-ray study; ultrasound; CT; dual-energy CT; MRI, bone scintigraphy; PET/CT

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Ким Т.В., Завадовская В.Д., Дегтярев И.Ю., Замышевская М.А., Удодов В.Д., Зоркальцев М.А., Траудт А.К. Современные методы визуализации подагрических тофусов. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 112–132. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1382>

Поступила в редакцию: 16.07.2023.

Принята к печати: 06.08.2024.

Опубликована online: 05.11.2024.

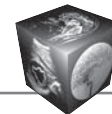
Modern methods of visualization of gouty tophi

© Tkhe Van Kim*, Vera D. Zavadovskaya, Ilia Yu. Degtyarev, Maria A. Zamyshenskaya,
Vladimir D. Udodov, Maxim A. Zorkaltsev, Alina K. Traudt

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

Objective: to present the role of plain radiography, ultrasound, magnetic resonance imaging, routine and dual-energy CT, as well as bone scintigraphy in the diagnosis of gouty arthritis

Materials and methods. The analysis of literature sources was carried out in the information and analytical



systems PubMed and Google Scholar for 2013–2023, using the following keywords: gouty arthritis, gouty tophi, imaging of gout, X-ray study, ultrasound, CT, dual-energy CT, MRI, bone scintigraphy, PET/CT.

Results. 894 articles were analyzed, 39 of which were used to compile the review. Additionally, 42 articles from 2018–2023 were used, and clinical guidelines. Searching results. The articles are grouped into blocks based on radiation modalities, the visual picture and the role of each modality in the early diagnosis of gouty arthritis are systematized.

Conclusion. Despite the fact that the gold standard for diagnosing gouty arthritis is the study of synovial fluid, the main role in identifying this disease is given to radiation diagnostics.

Modern diagnostic modalities – ultrasound (US), magnetic resonance imaging (MRI) and dual-energy tomography (DECT) open up new opportunities in identifying gout without the need for an invasive joint puncture procedure. Ultrasound and DECT, included in the ACR and EULAR classification criteria, have the greatest diagnostic information.

DECT is comparatively ahead of other radiation modalities, while providing visualization of EOR crystals and their quantitative assessment.

The results of studies assessing the sensitivity and specificity of modern imaging methods suggest the possibility of adequate and timely diagnosis of gout. At the same time, it is necessary to take into account the problems and limitations of the diagnostic modalities used, which create the basis for further research in this direction.

Keywords: gouty arthritis; gouty tophi; imaging of gout; X-ray study; ultrasound; CT; dual-energy CT; MRI; bone scintigraphy; PET/CT

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

For citation: Kim T.V., Zavadovskaya V.D., Degtyarev I.Yu., Zamishevskaya V.A., Udodov V.D., Zorkalcev M.S., Traudt A.K. Modern methods of visualization of gouty tophi. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 112–132. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1382>

Received: 16.07.2023.

Accepted for publication: 06.08.2024.

Published online: 05.11.2024.

Введение

Подагра – системное тофусное заболевание, характеризующееся отложением в различных тканях кристаллов моноурата натрия (МУН) и развивающимся в связи с этим воспалением у лиц с гиперурикемией, обусловленной внешнесредовыми и/или генетическими факторами [1].

Цель исследования: представить роль обзорной рентгенографии, ультразвукового исследования (УЗИ), магнитно-резонансной томографии (МРТ), рутинной и двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ), а также остеосцинтиграфии в диагностике подагрического артрита.

Материал и методы

Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитических системах PubMed и Google Scholar за 2012–2023 гг. по следующим словам: diagnosis of gout, X-ray gout, gout ultrasound, gout CT, gout DECT, gout MRI, gout scintigraphy. Проведен анализ списков литературы для обнаружения статей, соответствующих критериям поиска. Критерии включения: доступ к полному тексту статьи; исследования и клинические наблюдения подагрического артрита перечисленными методами лучевой диагностики; исследование специфических лучевых признаков. Критерии исключения: исследования на животных.

Результаты исследования

Проанализированы 894 статьи в соответствии со сформированными запросами за 2012–2023 гг.; из них 39 работ использовали при составлении данного обзора. Дополнительно использованы 43 статьи за 2018–2023 гг. и клинические рекомендации. Результаты поиска: статьи сгруппированы в блоки на основании лучевых модальностей, систематизирована визуальная картина и роль каждой модальности в ранней диагностике подагрического артрита.

Обсуждение

В большинстве стран мира подагра является актуальной медико-социальной проблемой в связи с широкой распространенностью, прогрессирующим характером течения заболевания, высокой частотой осложнений. Последние данные показывают, что распространенность подагры колеблется примерно от <1% до 6,8% в странах Запада до 3–6% у мужчин и до 1–2% у женщин, в Европе около 0,1% и в Китае подагрой страдает около 1,1% населения, а в некоторых странах заболеваемость достигает 10% [2, 3].

Подагра рассматривается как первично хроническая системная патология, характеризующаяся нарушением пуринового обмена и протекающая с постоянным образованием и накоплением микротофусных депозитов в различных органах



и тканях организма [4, 5]. Особенностью подагры является частое сочетание с такими заболеваниями, как артериальная гипертензия, метаболический синдром, сахарный диабет 2 типа, для которых характерен высокий риск сердечно-сосудистых осложнений.

Кристаллы МУН, формирующиеся в синовиальной жидкости и близлежащих тканях, выступают в качестве триггера острого подагрического артрита, запуская каскад иммунных реакций с синтезом широкого спектра провоспалительных цитокинов, хемокинов [6].

Подагрические тофусы имеют фиброваскулярный матрикс с наличием в центре кристаллов МУН, окруженных грануляционной тканью [7].

Кристаллы в тофусах откладываются и имеют упорядоченную, лучистую направленность. Формирование кристаллов МУН в поверхностном слое суставного хряща происходит на комплементарной органической структуре и они располагаются вдоль коллагеновых волокон [8].

Локализация тофусов разнообразная – их можно обнаружить в подкожных, внутрисуставных или периартикулярных мягких тканях, сухожилиях, связках и синовиальных сумках [5, 7]. В результате длительного воздействия тофусов на подлежащие структуры возникают поражения мягкотканых элементов сустава, подлежащей костной ткани, что приводит к эрозивному процессу различной степени выраженности [2, 9].

Различают четыре фазы подагры: бессимптомную гиперурикемию, острую, интеркритическую и хроническую подагру. Острая подагрическая артропатия, как правило, одноставная и чаще всего поражает нижнюю конечность, особенно первый плюснефаланговый сустав [10].

При острой подагре у пациентов быстро появляются сильные боли, отек и эритема параартикулярных мягких тканей пораженного сустава с имитацией в ряде случаев инфекции, которые обычно разрешаются в течение нескольких дней или 1–2 нед [11]. Мочевая кислота при биохимическом анализе крови может быть нормальной во время острого приступа подагры, тогда как воспалительные параметры крови могут быть повышены [9]. Интеркритическая подагра – это бессимптомный промежуток между эпизодами острых подагрических приступов [2]. Повторяющиеся приступы острой подагры приводят к хроническому синовиту с образованием тофусов, эрозий и разрушением суставов [11].

Анализ зарубежной и отечественной литературы последнего десятилетия свидетельствует об актуальности проблемы диагностики подагриче-

ского артрита, в том числе на ранних стадиях заболевания [1–5, 7, 12, 13].

В соответствии с клиническими рекомендациями диагноз подагрического артрита ставится на основании подагрических атак, гиперурикемии, обнаружения кристаллов МУН в синовиальной жидкости или наличии тофусов (пункты А и Б клинических рекомендаций) [6].

Повышение уровня уратов в сыворотке крови является одним из подтверждающих показателей заболевания, однако у многих людей с гиперурикемией не развивается подагра, а во время острого приступа подагрического артрита уровень мочевой кислоты в крови может быть нормальным. В то же время однократно полученное нормальное значение уровня мочевой кислоты в крови не позволяет отвергнуть диагноз подагры [6].

Анализ аспирированной синовиальной жидкости имеет чрезвычайно важное значение в диагностике подагры. Синовиальная жидкость при подагре обычно имеет воспалительный характер с количеством лейкоцитов не менее 2000 на мм³. Повышение данного показателя сопровождается наличием кристаллов МУН в синовиальной жидкости, которые выявляются при микроскопии с компенсированным поляризованным светом. Кристаллы МУН имеют отрицательное двойное лучепреломление и характеризуются игольчатой формой. Чувствительность лабораторного анализа на кристаллы МУН колеблется в пределах 63–78%, а специфичность – в пределах 93–100%. Хотя аспирация суставов является “золотым стандартом” диагностики, данный метод является относительно инвазивной процедурой с риском осложнений в виде бактериального конкремирования и развития воспалительного процесса, повреждением внутрисуставных структур, кровоизлиянием в суставную полость. Кроме того, аспирация внутрисуставной жидкости может быть недоступной в условиях небольшого объема суставного выпота [5, 14, 15].

Таким образом, становится очевидным, что в определенных случаях лабораторные методы не всегда могут подтвердить диагноз подагры в связи как с их недостаточной диагностической эффективностью, так и с техническими сложностями. Поэтому существенную роль в диагностике подагрического артрита играют неинвазивные инструментальные методы исследования, включающие все модальности лучевой диагностики – рентгенографию, УЗИ, КТ и МРТ [6, 16].

Библиографические данные последнего десятилетия, посвященные лучевой диагностике подагрического артрита, свидетельствуют о том, что

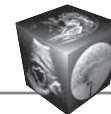


Рис. 1. Рентгенограммы кистей с эрозивными изменениями у пациентов с анкилозирующим спондилитом (а), псориатическим (б) и подагрическим (в) артритами.

Fig. 1. Radiographs of hands with erosive changes in patients with ankylosing spondylitis (a), psoriatic (б) and gouty (в) arthritis.

рентгенография остается основополагающим методом диагностики при всех заболеваниях опорно-двигательной системы, включая подагру [4, 6, 7, 11, 14].

Классическими рентгенологическими признаками подагры являются костные эрозии округлой или овальной формы различных размеров с резко очерченными “изъеденными” краями, которые при больших размерах тофусов и длительном течении заболевания могут приводить к обширной по протяженности костной деструкции [17]. При хронической подагре большие тофусы создают картину мягкотканых узловых периартикулярных уплотнений. Характерным для подагрических эрозий является наличие тонкого костного ободка, отходящего от кости и окружающего полностью или частично мягкотканый компонент тофуса. Подобная картина отражает периостальную реакцию как результат длительной параоссальной локализации тофуса и носит название “нависающих краев”.

При небольших размерах костные дефекты могут напоминать эрозии при ревматоидном артрите, псориатическом артрите или кисты, не имеющие специфических проявлений применительно к определенной нозологической форме суставной патологии (рис. 1).

Однако на ранних стадиях подагры рентгенография, как правило, не информативна, и в анатомических зонах с клиническими проявлениями

заболевания отсутствуют типичные рентгенологические признаки костных структурных нарушений.

Диапазон рентгенонегативного периода при идентификации эрозий колеблется, по данным различных авторов, от 3 до 12 лет, даже при наличии рецидивирующего артрита [7, 8, 17, 18]. S.J. Newberry и соавт. (2017) приводят данные о том, что околоуставные эрозии с периостальной реакцией выявляются не менее чем через 6–12 лет после первого острого приступа подагры [17]. Согласно рекомендациям ACR/EULAR (2015), подагра может диагностироваться рентгенологически через 5–10 лет от начала дебюта на стадии хронического подагрического артрита и множественных системных проявлений [18]. Рентгенологическая визуализация эрозий невозможна при размерах тофусов менее 5–10 мм. Кроме того, общеизвестны проблемы дифференциальной диагностики заболеваний, входящих в группу эрозивных артропатий, а также дифференциальной диагностики подагры с другими кристаллическими артропатиями по данным рентгенографии. При этом сообщается, что рентгенография имеет чувствительность 31% и специфичность 93% при диагностике подагрического артрита [7, 14].

В последнее десятилетие для исследования пациентов с подагрическим артритом активно используются другие лучевые модальности (см. таблицу).



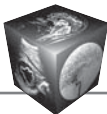
Таблица. Диагностическая эффективность лучевых модальностей в выявлении подагрического артрита
Table. Diagnostic effectiveness of radiation modalities in identifying gouty arthritis

Авторы, год публикации Authors, year of publication	Вид исследования Type of study	Количество и группы пациентов Quantity (n) and patient groups	Метод исследования Research method	Диагностическая эффективность Diagnostic performance	Основной вывод Main conclusion
Choi H.K. et al. (2012)	Оригинальное исследование Original research	n = 40, средняя продолжительность подагры 13 лет n = 40, average duration of gout 13 years	ДЭКТ DECT	Sp 93%, Se 78%	Снижение чувствительности ДЭКТ объяснялось предположительно уратоснижающей терапией Reduced sensitivity of DECT was presumably explained by urate-lowering therapy
McQueen F.M. et al. (2014)	Оригинальное исследование Original research	n = 40	MPT MRI	Sp 98%, Se 63%	Результаты показали высокую специфичность в выявлении тофусов, однако требуются дальнейшие исследования в связи с выявлением эрозий только у 63% The results showed high specificity in identifying tophi, however, further research is required in connection with the detection of erosions in only 63%
Bongartz T. et al. (2015)	Оригинальное исследование Original research	n = 40 подагра, n = 41 другие заболевания суставов n = 40 gout, n = 41 other joint diseases	ДЭКТ DECT	Sp 90%, Se 83%	ДЭКТ обеспечивает высокую диагностическую точность в выявлении тофусов при снижении чувствительности у пациентов с малой продолжительностью заболевания DECT provides high diagnostic accuracy in detecting tophi with reduced sensitivity in patients with short disease duration
Lee Y.H. et al. (2018)	Метаанализ Meta-analysis	n = 938 подагрический артрит n = 788 другие заболевания суставов n = 938 gouty arthritis n = 788 other joint diseases	УЗИ Ultrasound	Sp 89,0%, Se 65,1%	УЗИ показало высокую диагностическую точность с высокой специфичностью в диагностике подагры Ultrasound has shown high diagnostic accuracy with high specificity in the diagnosis of gout
Klauser A.S. et al. (2018)	Оригинальное исследование Original research	n = 180 подозрение на подагру n = 180 suspected gout	УЗИ Ultrasound ДЭКТ DECT	Sp 51%, Se 70,1% Sp 79–93%, Se 75,2–100%	ДЭКТ превосходит УЗИ в выявлении тофусов и имеет большее значение для диагностики и динамического наблюдения при уратоснижающей терапии. УЗИ – первый этап DECT is superior to ultrasound in detecting tophi and is of great importance for diagnosis and follow-up during urate-lowering therapy. Ultrasound – the first stage
Zhang Q. et al. (2018)	Метаанализ Meta-analysis	n = 1686 (13 исследований) n = 1686 (13 studies)	УЗИ Ultrasound	Sp 83%, Se 80%	Признак “двойного контура” менее информативен для диагностики подагры. Однако с учетом всех специфических ультразвуковых признаков можно повысить чувствительность УЗИ The “double circuit” sign is less informative for the diagnosis of gout. However, taking into account all the specific ultrasound features, it is possible to increase the sensitivity of ultrasound



Таблица (продолжение).
Table (continuation).

Авторы, год публикации Authors, year of publication	Вид исследования Type of study	Количество (n) и группы пациентов Quantity (n) and patient groups	Метод исследования Research method	Диагностическая эффективность Diagnostic performance	Основной вывод Main conclusion
Lee S.K. et al. (2019)	Оригинальное исследование Original research	n = 180 208 симптоматических суставов, из них 115 суставов с подагрой: 72 – проявления ранней подагры, 43 – без подагры 208 symptomatic joints, of which 115 joints with gout: 72 – manifestations of early gout, 43 – without gout	ДЭКТ DECT	Sp 100%, Se 51,4–52,8%	При совместном использовании рутинной КТ и ДЭКТ повышаются диагностические возможности исследования симптоматической ранней подагры When routine CT and DECT are used together, the diagnostic capabilities of the study of symptomatic early gout increase
			ДЭКТ+КТ DECT+CT	Sp 93–95,2%, Se 79,2%	
Namas R. et al. (2019)	Обзор литературы Literature Review	7 литературных источников 7 literary sources	ДЭКТ DECT	Sp 79–89%, Se 100%. При идентификации кристаллов МУН размером >3 мм точность составила 87–94% When identifying MSU crystals >3 mm in size, the accuracy was 87–94%	ДЭКТ позволяет дифференцировать подагрический артрит, спондилоартропатии и инфекционные артриты DECT allows differentiation of gouty arthritis, spondyloarthropathy and infectious arthritis
Wang J.X. et al. (2020)	Обзор литературы Literature Review	15 литературных источников 15 literary sources	ДЭКТ DECT	Sp 89–100%, Se 78–100%	ДЭКТ обеспечивает выявление тофусов в позвоночнике и является информативным неинвазивным методом диагностики подагры DECT provides identification of tophi in the spine and is an informative non-invasive method for diagnosing gout
Khanna I. et al. (2021)	Обзор литературы Literature Review	64 литературных источника 64 literary sources	ДЭКТ DECT	Sp и Se более 80% Sp and Se more than 80%	ДЭКТ превышает диагностическую информативность УЗИ в выявлении внесуставных тофусов в периферическом и аксиальном скелете и в сосудах DECT exceeds the diagnostic information value of ultrasound in identifying extra-articular tophi in the peripheral and axial skeleton and in blood vessels

Таблица (продолжение).
Table (continuation).

Авторы, год публикации Authors, year of publication	Вид исследования Type of study	Количество (n) и группы пациентов Quantity (n) and patient groups	Метод исследования Research method	Диагностическая эффективность Diagnostic performance	Основной вывод Main conclusion
Kravchenko D. et al. (2021)	Оригинальное исследование Original research	n = 36	ДЭКТ DECT	Подагра: Sp 92%, Se 63%. Псевдоподагра: Sp 92%, Se 55% Gout: Sp 92%, Se 63%. CPPD: Sp 92%, Se 55%	ДЭКТ показала более низкую диагностическую информативность по сравнению с УЗИ в диагностике острого подагрического артрита и острого псевдоподагрического артрита DECT showed lower diagnostic yield compared to ultrasound in the diagnosis of acute gouty arthritis and acute pseudo-gouty arthritis
			УЗИ Ultrasound	Подагра: Sp 83%, Se 92% Псевдоподагра: Sp 92%, Se 91% Gout: Sp 83%, Se 92% CPPD: Sp 92%, Se 91%	
Shang J. et al. (2021)	Оригинальное исследование Original research	n = 196	ДЭКТ DECT	При стаже менее 1 года: Sp 96,43%, Se 38,1% При стаже от 1 года до 3 лет: Sp 100%, Se 62,96% При стаже более 3 лет: Sp 87,5%, Se 77,55% With less than 1 year of experience: Sp 96.43%, Se 38.1% With experience from 1 to 3 years: Sp 100%, Se 62.96% With more than 3 years of experience: Sp 87.5%, Se 77.55%	В более поздние сроки заболевания повышается чувствительность ДЭКТ In later stages of the disease, the sensitivity of DECT increases
Christiansen S. N. et al. (2021)	Оригинальное исследование Original research	n = 82	УЗИ Ultrasound	Sp 88–95%, Se 77–95%	УЗИ имеет высокую диагностическую эффективность в диагностике подагры Ultrasound has high diagnostic efficiency in the diagnosis of gout

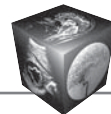


Таблица (продолжение).
Table (continuation).

Авторы, год публикации Authors, year of publication	Вид исследования Type of study	Количество (n) и группы пациентов Quantity (n) and patient groups	Метод исследования Research method	Диагностическая эффективность Diagnostic performance	Основной вывод Main conclusion
Sivera F. et al. (2022)	Обзор литературы Literature Review	162 литературных источника 162 literary sources	УЗИ Ultrasound	Sp и Se знака "двойного контура" 76–88%, 74–83% соответственно; Se в обнаружении тофусов 65% Sp and Se of the "double contour" sign 76–88%, 74–83%, respectively; Se in detection of tophi 65%	Выбор диагностической модальности определяется конкретной клинической картиной у пациентов с подозрением на подагру The choice of diagnostic modality is determined by the specific clinical picture in patients with suspected gout
			ДЭКТ DECT	Sp 80%, Se 74–90%	
Sotniczuk M. et al. (2022)	Оригинальное исследование Original research	n = 120 пациентов с подозрением на подагру n = 120 patients with suspected gout	ДЭКТ DECT	Sp 74,5%, Se 90,4%	ДЭКТ значительно повышает чувствительность критериев ACR/EULAR при диагностике подагры DECT significantly improves the sensitivity of ACR/EULAR criteria for the diagnosis of gout
			ДЭКТ + критерии ACR/EULAR DECT + ACR/EULAR criteria	Sp 76,6%, Se 100%	
Baffour F.I. et al. (2022)	Оригинальное исследование Original research	n = 100 пациентов с подозрением на подагру в разные годы n = 100 patients with suspected gout in different years	ДЭКТ DECT (2013)	44,0% исследований положительные, 23,0% как отрицательные и 33,0% как сомнительные 44,0% of studies are positive, 23,0% are negative and 33,0% are questionable	Показано возрастание роли ДЭКТ в диагностике подагры по мере расширенного внедрения данного метода в диагностический процесс. При этом снизился процент сомнительных результатов The increasing role of DECT in the diagnosis of gout is shown as this method is increasingly introduced into the diagnostic process. At the same time, the percentage of questionable results has decreased
			ДЭКТ DECT (2019)	37,0% положительные, 47,0% как отрицательные и 16,0% – как сомнительные 37,0% positive, 47,0% as negative and 16,0% as doubtful	

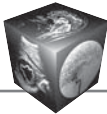
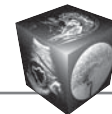


Таблица (окончание).
Table (end).

Авторы, год публикации Authors, year of publication	Вид исследования Type of study	Количество (n) и группы пациентов Quantity (n) and patient groups	Метод исследования Research method	Диагностическая эффективность Diagnostic performance	Основной вывод Main conclusion
Shang J. et al (2022)	Метаанализ Meta-analysis	28 исследований 28 studies	УЗИ Ultrasound	При стаже более 2 лет: Sp 84%, Se 84% При стаже менее 2 лет: Sp 93%, Se 80% With more than 2 years of experience: Sp 84%, Se 84% With less than 2 years of experience: Sp 93%, Se 80%	ДЭКТ имеет большую диагностическую эффективность при диагностике подагры, чем УЗИ, однако меньшую чувствительность при стаже заболевания менее 2 лет DECT has greater diagnostic efficiency in diagnosing gout than ultrasound, but less sensitivity for patients with less than 2 years of disease history
			ДЭКТ DECT	При стаже более 2 лет: Sp 89%, Se 91% При стаже менее 2 лет: Sp 93%, Se 75% With more than 2 years of experience: Sp 89%, Se 91% With less than 2 years of experience: Sp 93%, Se 75%	
Sanghavi N. et al. (2023)	Обзор литературы Literature Review	18 литературных источников 18 literary sources	Исследование синовиальной жидкости Synovial fluid examination	Sp 97,2%, Se 84,4%	Несмотря на более низкую эффективность, ДЭКТ помогает идентифицировать кристаллы МУН во внесуставных тканях, к которым трудно получить доступ при артроцентезе Despite its lower efficiency, DECT helps identify MUN crystals in extra-articular tissues that are difficult to access with arthrocentesis
			ДЭКТ DECT	Sp 91%, Se 81%	

Примечание. Se – чувствительность, Sp – специфичность.
Note. Se – sensitivity, Sp – specificity.



Ультразвуковое исследование

По данным преимущественно зарубежных источников УЗИ показало более высокие результаты в диагностике подагры, чем рентгенография [2, 7, 12, 19–21]. Так, по данным M.S. Taljanovic и соавт. (2015), УЗИ выявляет эрозии при подагре раньше и при меньших размерах, чем рентгенография [19]. При этом данные метаанализа, опубликованные в статье Y.H. Lee и G.G. Song (2018), показали, что УЗИ имеет совокупную чувствительность 65,1% и специфичность 89% в диагностике подагры [22]. Анализ диагностической точности УЗИ в зависимости от конкретных субстратов – тофус, эрозии – показал низкую чувствительность (54,3 и 51,6%), но высокую специфичность (93,2 и 93,3%), что позволяет говорить о важной роли метода в диагностике подагры.

Бесспорным преимуществом УЗИ является возможность визуализации трех основных компонентов тофуса. Яркие эхогенные кристаллы уратов визуализируются в центре тофуса на фоне гипэхогенных фрагментов фиброзной ткани. Окружающая тофус грануляционная ткань выглядит как гипэхогенный ореол с признаками васкуляризации по данным цветового доплеровского картирования [20]. Из-за неоднородности кристаллов уратов ультразвуковые волны могут распространяться через тофус в более глубоко расположенные структуры, что отличается от ультразвуковой картины других кристаллических структур с высоким акустическим сопротивлением, формирующих акустическую тень (рис. 2).

Гиперэхогенные отложения кристаллов уратов на поверхности гиалинового хряща в сочетании с эхогенным контуром подлежащей субхондральной кости образуют симптом “двойного контура”. Согласно данным F. Sivera и соавт. (2022), исследования по оценке признака “двойного контура” показали совокупную чувствительность и специфичность 74–83% и 76–88% соответственно, что превышает показатели чувствительности в сравнении с вышеприведенными данными Y.H. Lee. При этом меньшей диагностической точностью при УЗИ обладали тофусы (чувствительность 65%, специфичность 80%) [23] (рис. 3).

Данный симптом следует дифференцировать от гиперэхогенных очаговых включений внутри хряща, как это имеет место при отложении пирофосфата кальция [24]. Стоит также отметить, что кристаллы пирофосфата кальция имеют свои “излюбленные” места, например мениски коленных суставов, треугольный фиброзно-хрящевой комплекс запястья [25].

Костные эрозии при ультразвуковой диагностике определяются как минимум в двух перпен-



Рис. 2. Сонограмма плюснефалангового сустава I пальца левой стопы. Гетерогенное образование с четкими неровными контурами (тофус), с гиперэхогенными включениями (кристаллы МУН). По периферии определяется анэхогенная прослойка однородной жидкости и гипэхогенная синовиальная оболочка.

Fig. 2. Sonogram of the metatarsophalangeal joint of the 1st toe of the left foot. Heterogeneous formation with clear, uneven contours (tophus), with hyperechoic inclusions (MUN crystals). Along the periphery, an anechoic layer of homogeneous fluid and a hypoechoic synovial membrane are determined.

дикулярных плоскостях, часто идентифицируются вместе с прилежащим к ним тофусом [7]. Однако костные эрозии не являются специфическим признаком подагры. Так, С.М. Pastor и соавт. (2022) отмечают, что костные эрозии при подагре визуализируются аналогичным образом, как и эрозии при ревматоидном артрите [24]. При этом посттравматические изменения, дегенеративные изменения и нормальные варианты могут имитировать эрозии. В подобном случае, как указывают J.S. Weaver и соавт. (2021), прилежащие тофусы, синовит и гиперемия позволяют предположить наличие эрозий [2].

Суставной выпот при подагре может варьировать от простой анэхогенной жидкости до гетерогенного/гиперэхогенного субстрата в виде плавающих эхогенных очагов по типу “снежной бури” за счет кристаллов МУН в сочетании с утолщенной синовиальной оболочкой [2, 13].

Интерес представляют данные эластографии у больных подагрической артропатией. M.S. Taljanovic и соавт. (2017), применяя эластографию сдвиговой волной, показали, что данный метод способен количественно дифференцировать подагрическую артропатию от неподагрической артропатии за счет физических особенностей метода [26]. Позднее Y. Tang и соавт. (2017) уста-

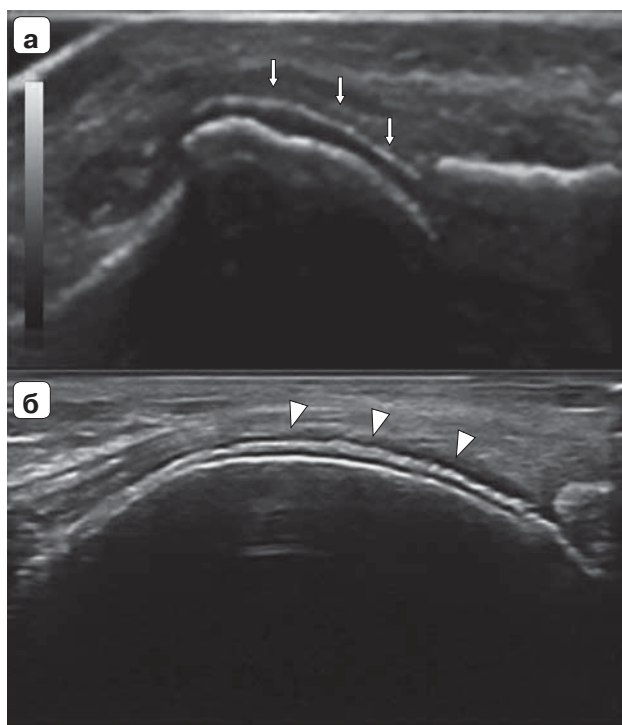


Рис. 3. Знак “двойного контура” в плюснефаланговом суставе у больного подагрой (а). Отложения кристаллов пирофосфата в гиалиновом хряще коленного сустава (стрелки). Гиперэхогенный сигнал (похожий на сигнал от кортикальной кости) без акустической тени, локализованный в пределах гиалинового слоя хряща (б) (F. Sivera и соавт.).

Fig. 3. Double contour sign in the metatarsophalangeal joint in a patient with gout (a). Deposits of pyrophosphate crystals in the hyaline cartilage of the knee joint (arrows). Hyperechoic signal (similar to the signal from cortical bone) without an acoustic shadow, localized within the hyaline layer of cartilage (b) (F. Sivera et al.).

новили, что жесткость синовиальной оболочки выше в интеркритическую фазу подагры, чем в острую фазу, и, таким образом, по сравнению с рутинным УЗИ повышается диагностическая эффективность при дифференциации острой подагры от не подагры [12].

В систематизированном обзоре, посвященном оценке информативности УЗИ у больных подагрой, Q. Zhang и соавт. (2018) сообщают о высокой диагностической эффективности метода. Симптом “двойного контура”, “снежная буря” и наличие тофуса при УЗИ имеют высокую специфичность, но умеренную или низкую чувствительность [22, 27]. Повышению чувствительности способствует одновременное рассмотрение специфических ультразвуковых признаков подагры.

Таким образом, УЗИ может быть полезно для дифференцировки кристаллической артропатии от некристаллической. Однако, по мнению F. Sivera

и соавт. (2022), данный метод значительно уступает в дифференциальной диагностике между кристаллическими артропатиями в сравнении с ДЭКТ, которая может различать отложения кристаллов МУН и кальция [23]. Еще одним ограничением УЗИ, по мнению J. Davies и соавт. (2019), является невозможность идентифицировать истинные внутрисуставные тофусы [7]. В свою очередь, A.S. Klausner и соавт. (2018), приводя результаты сравнения информативности УЗИ и ДЭКТ, показали, что чувствительность УЗИ при диагностике подагрического артрита в таких анатомических структурах, как кисти и запястья, ограничена, особенно при внесуставной локализации тофусов (внесуставные тофусы – 70,1%, внутрисуставные тофусы – 80,3%) при возрастании чувствительности в выявлении тофуса по данным ДЭКТ до 75,2–100%. Наибольшей чувствительностью при УЗИ обладал симптом “двойного контура” (был обнаружен у 58 из 61 пациента с внутрисуставной подагрой по данным УЗИ) [28]. Однако, несмотря на ограничения чувствительности УЗИ в выявлении подагрических тофусов кисти и запястья, данный метод может быть использован в качестве первого этапа в выявлении подагрических тофусов, тем более что в более поздних источниках, например в исследовании S.N. Christiansen и соавт. (2021), говорится о высокой эффективности УЗИ, демонстрируется высокая специфичность, положительная прогностическая ценность и точность при диагностике подагры [29].

Магнитно-резонансная томография

МРТ представляет собой высокоинформативную лучевую модальность, широко востребованную в ревматологии [2, 30]. МР-картина подагрических поражений характеризуется наличием эрозий от небольших размеров до распространенной околосуставной и внутрисуставной деструкции, ассоциированной с прилежащими четко очерченными – тофусами. Тофусы в МР-изображении имеют вид узловой структуры с низкоинтенсивным сигналом в T1- и в T2ВИ и низко/слабоинтенсивным в FSat. В отдельных случаях может наблюдаться неоднородное повышение сигнала на протяжении тофуса за счет гетерогенных компонентов. При контрастном усилении может наблюдаться интенсивное накопление контрастного вещества по периферии тофуса за счет окружающей его фиброваскулярной ткани [7, 31, 32] (рис. 4, 5).

В острую стадию болезни дефекты кортикального слоя сочетаются с утолщением синовиальной оболочки, в то время как при хроническом варианте контур эрозий склерозирован, а признаки синовиита, как правило, отсутствуют [2]. В то же время

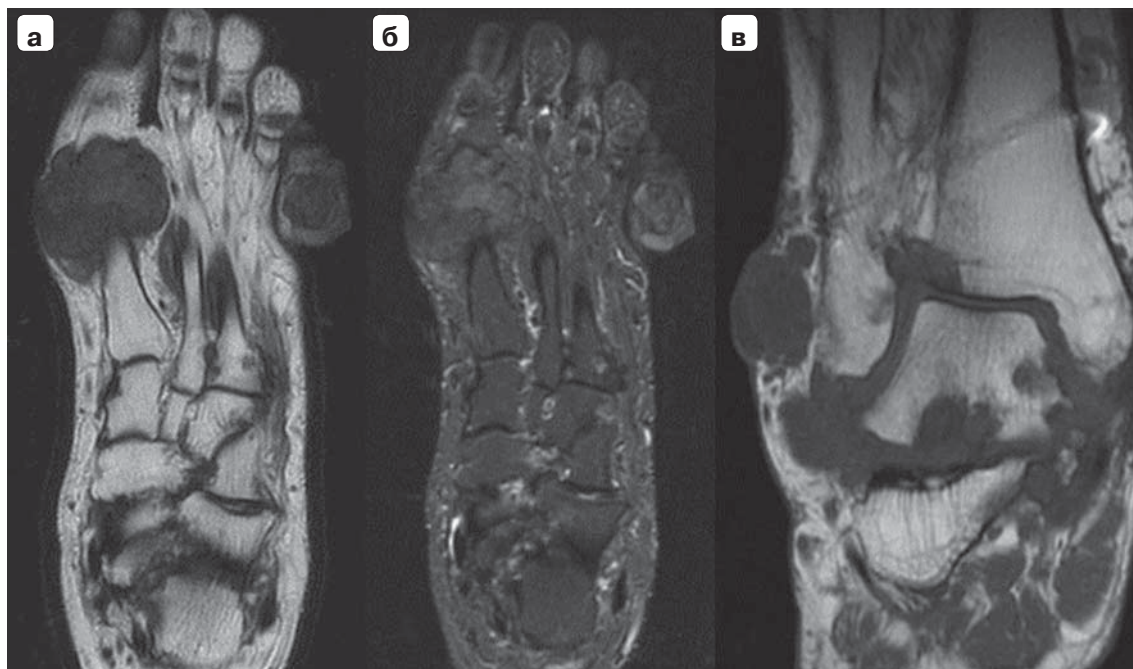
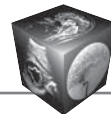


Рис. 4. МРТ стопы (**а** – T1ВИ, **б** – FSat) и голеностопного сустава (**в** – T1ВИ) больного подагрическим артритом. Множественные разнокалиберные низкоинтенсивные паравнутриартикулярные узловые образования – тофусы, сопровождающиеся различными по протяженности эрозиями.

Fig. 4. MRI of the foot (**a** – T1WI, **б** – FSat) and ankle joint (**в** – T1WI) of a patient with gouty arthritis. Multiple different-sized low-intensity para-intra-articular nodular formations – tophi, accompanied by erosions of varying length.

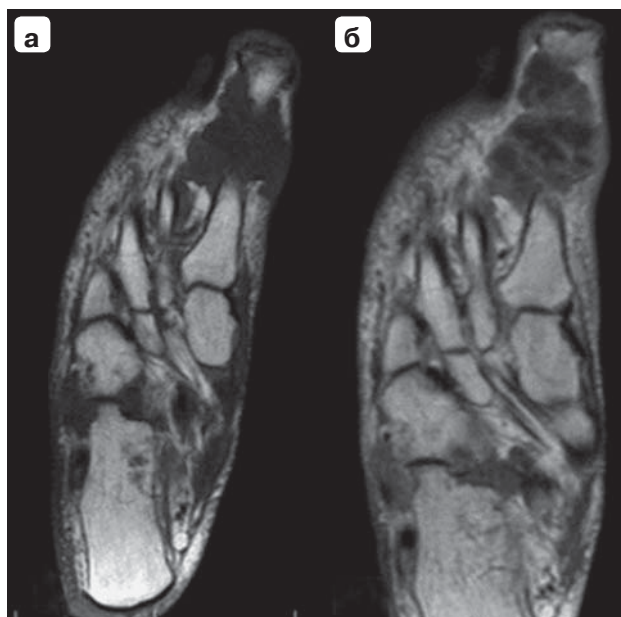


Рис. 5. Нативная (**а**) и после контрастного усиления (**б**) коронарные МР-томограммы стопы больного подагрическим артритом. Эрозии, распространенные узловые параартикулярные и внутриартикулярные низкоинтенсивные тофусы (**а**). Фиброваскулярная ткань, окружающая низкоинтенсивный тофус, накапливает контрастный препарат (**б**).

Fig. 5. Native (**a**) and after contrast enhancement (**б**) coronal MRI of the foot of a patient with gouty arthritis. Erosions, widespread nodular paraarticular and intraarticular low-intensity tophi (**a**). Fibrovascular tissue surrounding low-intensity tophi accumulates contrast agent (**б**).



до поздней стадии заболевания вокруг эрозий визуализируется перифокальный отек костного мозга [7].

В то же время F.M. McQueen (2014) и J. Teh (2018) в независимых друг от друга исследованиях отметили, что наличие отека костного мозга и синовита не дает гарантию формирования эрозий, в то время как наличие тофусов указывает на возможность формирования деструктивных изменений. Однако при высокой специфичности (93%) метода в визуализации тофусов низкая чувствительность (63%) в визуализации эрозий предполагает дальнейшие исследования в этом направлении [32, 33].

Между тем в литературе имеется большое количество источников, подчеркивающих сложность МР-диагностики острой полиартикулярной подагры при небольших размерах тофусов и их атипичной локализации, при необычных клинических проявлениях подагры, включая теносиновит, паникулит, а также сложность в дифференциальной диагностике с новообразованиями [34–40]. Следует отметить серьезную проблему диагностики подагры при локализации тофусов в осевом скелете, когда диагноз подтверждался только при исследовании операционного биоматериала [41–44].

Так, в наблюдении X. Chen и соавт. (2020) МР-картина грыжи диска $L_{IV}-L_V$ и стеноз корешкового канала были обусловлены подагрическими тофусами, установленными по данным морфологического исследования операционного материала [41].

В публикации D. Martins и соавт. (2021) приводятся данные об ошибочной трактовке МР-картины узлового образования на уровне $L_{IV}-L_V$, расцененного как менигиома, который представлял собой аморфный кристаллический материал, окруженный воспалительным инфильтратом [42].

Аналогичные клинические случаи об имитации МР-картины новообразований в поясничной области (остеохондрома, экстрадуральное новообразование) за счет кристаллических артропатий приводят G. Shen и соавт. (2019) и Z. Wu и соавт. (2022) [45, 46].

Еще одной нетипичной локализацией подагрических тофусов, ошибочно расцененных при МРТ в качестве новообразований, являются анатомические структуры коленного сустава – надколенник [47] и крестообразные связки [48]. Диагностические проблемы описаны при МР-трактовке тофусов при их локализации в крестцово-подвздошных сочленениях [49] и в височно-нижнечелюстных суставах [50]. При этом авторами отмечается несостоятельность МРТ как самостоятельного метода диагностики подагры [48]. В исследо-

ваниях Y. Yang и соавт. (2022) наблюдались случаи ложноотрицательных результатов в диагностике подагры, так как при МР-исследовании были выявлены признаки синовита, но не был выявлен тофус из-за его небольшого размера [34].

J. Davies и соавт. (2019) в своем обзоре, ссылаясь на данные, полученные при использовании МРТ и ДЭКТ для сравнительного исследования 40 пациентов с верифицированной подагрой, сообщили, что чувствительность МРТ в обнаружении тофусов может достигать только 63%, а специфичность 98% [7].

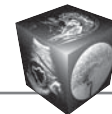
Приведенные данные свидетельствуют о том, что МР-признаки не всегда могут достоверно идентифицировать подагрический тофус, и часто диагноз может быть поставлен только путем корреляции с клинико-лабораторными данными. Особое место занимает абсолютное противопоказание к проведению МРТ при наличии водителя ритма. Таким образом, вышеуказанные факторы повлияли на то, что результаты МРТ не включены в диагностические критерии, опубликованные ACR/EULAR [16].

Ядерная медицина

В литературе имеются ограниченные данные о диагностической информативности методов ядерной медицины при подагре, остеосцинтиграфия не включена в клинические рекомендации по данному заболеванию, а большинство библиографических данных – это описание частных случаев из практики [51, 52].

В опубликованных литературных источниках имеются описания клинических наблюдений, в которых повышенная аккумуляция радиофармпрепаратов (РФП) у пациента с подагрой была результатом воспаления, послужившего причиной усиления кровоснабжения в исследуемой области [53, 54]. В клиническом случае, представленном J.S. Vicente и соавт. (2018), при проведении ОФЭКТ с ^{67}Ga -цитратом было выявлено накопление РФП в реберно-позвоночных и межпозвоноковых сочленениях, которые были расценены как очаги воспаления, ассоциированные с выявленными при гистологическом исследовании кристаллами МУН [55].

О дифференциально-диагностических проблемах в диагностике подагры свидетельствует наблюдение B. Jiao и соавт. (2023), в котором при подозрении на новообразование в области L_V-S_I для определения стадийности процесса была проведена ПЭТ/КТ и выявлена локальная аккумуляция РФП, обусловленная реактивным повышением костного метаболизма в зоне подагрическим тофуса, верифицированного результатами гистологического исследования (рис. 6) [56].



Схожая ситуация была опубликована В. Emsen и соавт. (2020). При проведении ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ у пациентки с онкологическим анамнезом были выявлены множественные гиперметаболические, остеолитические поражения позвонков C_{III} – T_I , которые при гистологическом исследовании оказались подагрическими тофусами [57].

В целом литературные источники последнего пятилетия, свидетельствуют о том, что признаки локальной аккумуляции РФП являются общими признаками воспалительной реакции, они неспецифичны и могут возникать у пациентов с инфекциями, опухолевыми поражениями или другими артропатиями [7, 34, 51].

Таким образом, в настоящее время информативность методов ядерной медицины уступает другим лучевым модальностям в визуализации структурных морфологических изменений при подагрическом артрите. В то же время результаты остеосцинтиграфии могут дополнять диагностическую картину других модальностей, особенно когда тофусы развиваются в нетипичных местах, например в осевом скелете.



Рис. 6. При ПЭТ (а, б) и ПЭТ/КТ (в, г) поясничного отдела позвоночника в сагиттальной и аксиальной плоскостях визуализируется аномальное накопление РФП (стрелки) (В. Jiao и соавт.).

Fig. 6. PET (а, б) and PET/CT (в, г) of the lumbar spine in the sagittal and axial planes shows abnormal accumulation of radiopharmaceuticals (arrows) (B. Jiao et al.).

Компьютерная томография: рутинная и двухэнергетическая

Основным показанием к проведению рутинной КТ у пациентов с подозрением на подагру является определение наличия и протяженности костных эрозий. Визуализация тофусов возможна на основании оценки плотности структур, которая может достигать примерно +170 ед.Н как в острый, так и в неактивный период заболевания [58, 59]. При внутрикостной локализации тофусов последние создают картину остеолитических образований с четкими контурами, не имеющих специфического характера (рис. 7).

В литературе приводятся примеры остеолитической деструкции у больных подагрой различной локализации – в остистом отростке VII шейного позвонка [40], в височно-нижнечелюстном суставе [60], подагрический тофус в которых был установлен только после исследования хирургического биоптата (рис. 8).

По сравнению с рутинной КТ ДЭКТ на основании использования двух разных энергий (80 и 140 кВт) для определения химического



Рис. 7. Компьютерная томограмма стопы. Внутрикостная остеолитическая деструкция в основной фаланге I пальца вследствие внутрикостных тофусов.

Fig. 7. CT scan of the foot. Intraosseous osteolytic destruction in the main phalanx of the 1st finger due to intraosseous tophi.

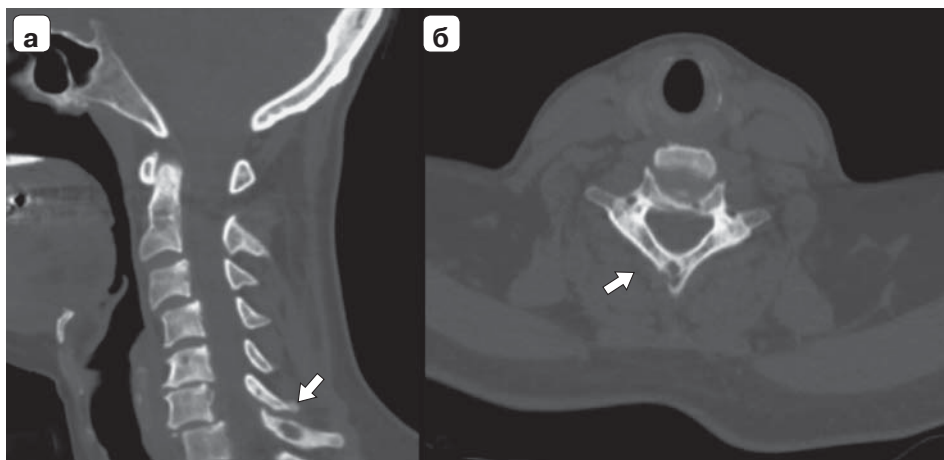


Рис. 8. Компьютерные томограммы шейного отдела позвоночника в сагиттальной (а) и аксиальной (б) плоскостях: литическое образование остистого отростка C_{VII} (стрелки) (T.D. Matos et al.).

Fig. 8. CT scan of the cervical spine in the sagittal (a) and axial (б) planes: lytic formation of the C_{VII} spinous process (arrows) (T.D. Matos et al.).

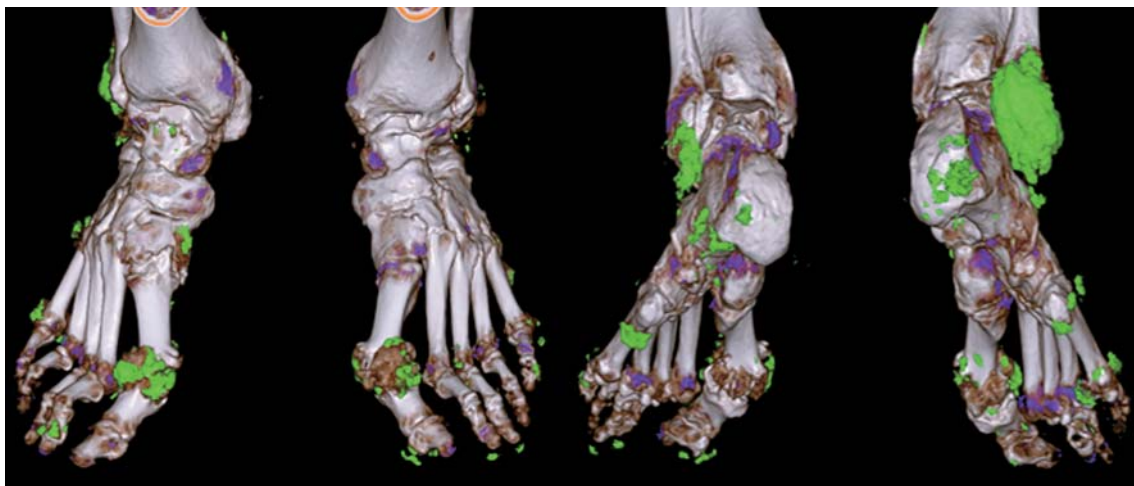


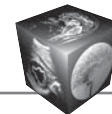
Рис. 9. Двухэнергетическая КТ стоп больного с тыльной и подошвенной поверхностей. Множественные тофусы и депозиты кристаллов МУН (кодированные зеленым цветом) в обеих стопах.

Fig. 9. Dual-energy CT scan of the patient's feet from the dorsal and plantar surfaces. Multiple tophi and MUN crystal deposits (coded green) in both feet.

состава того или иного образования в рамках кристаллических артропатий предлагает уникальную возможность неинвазивного обнаружения кристаллов МУН на ранних стадиях заболевания путем цветного кодирования [5, 61] (рис. 9).

T. Bongartz и соавт. (2015) и H.K. Choi и соавт. (2017) показали, что высокая чувствительность и специфичность ДЭКТ обосновывает высокую информативность метода для решения проблемы неинвазивной диагностики подагры со многими потенциальными клиническими применениями [62, 63].

Сравнивая возможности рутинной КТ и ДЭКТ, S. Alqatari и соавт. (2018) пришли к выводу, что ДЭКТ является предпочтительным методом дифференциации и идентификации подагрических тофусов в аксиальном скелете [64]. Об эффективности метода ДЭКТ в диагностике подагры в осевом скелете свидетельствуют и другие библиографические данные, в частности работа R. Namas и соавт. (2019), в которой также говорится о высокой эффективности ДЭКТ, показав, что чувствительность и специфичность составила 100% и 79–89% соответственно [49]. Еще одним



примером служит исследование S. Ayoub и соавт., в котором подтверждаются вышеупомянутые выводы [65].

Большую чувствительность ДЭКТ в сравнении с рутинной КТ в выявлении подагрического артрита отмечают F.E. Walstra и соавт. (2019) [61], а также другие авторы [66–68].

При этом S.K. Lee и соавт. показали, что сочетание рутинной КТ и ДЭКТ дает более точные данные в диагностике ранних проявлений подагры. Так, при ДЭКТ специфичность и чувствительность составили 100% и 51,4–52,8% соответственно, тогда как совместное применение ДЭКТ и рутинной КТ повысило специфичность и чувствительность до 93–95,2% и 79,2% соответственно [59].

В случае, изложенном K. Hussain и соавт. (2019), ДЭКТ при исследовании коленных суставов показала отложение кристаллов МУН в менисках, коллатеральных связках и препателлярной области, хотя ранее была проведена рентгенография, не выявившая никаких изменений, а кроме того, был выполнен диагностический артроцентез, который также оказался неинформативен [69].

Несмотря на большие возможности МРТ в выявлении структурных изменений костно-суставной системы, ДЭКТ превосходит МРТ в идентификации депонирования кристаллов МУН. Так, в исследовании J.X. Wang и соавт. (2020) описывается случай, при котором пациенту с помощью МРТ был выставлен диагноз септического артрита дуготросчатого сустава L_{IV} – L_V с образованием абсцесса, а по данным ДЭКТ были обнаружены отложения кристаллов МУН и на основании анализа 15 наблюдений приведены данные о высокой диагностической эффективности в выявлении подагрического артрита в аксиальном скелете (специфичность 89–100%, чувствительность 78–100%) [70].

Схожие результаты получили в своем исследовании W. Xue и соавт. (2020), в котором пациенту на основании КТ и МРТ грудного отдела позвоночника ошибочно был выставлен диагноз анкилозирующего спондилоартрита, однако при проведении ДЭКТ в зонах интереса были обнаружены кристаллы МУН и в совокупности с клинико-лабораторными данными окончательным диагнозом явилась подагра [67].

Как указывалось ранее, УЗИ придает большое значение в диагностике подагрического артрита. Однако, по мнению Z. Zou и соавт. (2021), при исследовании пациентов с поражением голеностопного сустава и стопы методом выбора при остром подагрическом артрите вышеуказанных суставов должна быть ДЭКТ, так как общий положительный результат обнаружения кристаллов МУН был выше, чем при УЗИ [71]. Об этом же свидетельствуют

и I. Khanna и соавт. (2021), отмечая более высокую точность ДЭКТ по сравнению с УЗИ в обнаружении внесуставных отложений МУН в мягких тканях, при этом указывая на то, что специфичность и чувствительность ДЭКТ составляли более 80% [72]. Также о высокой диагностической эффективности ДЭКТ в сравнении с УЗИ свидетельствует мета-анализ J. Shang и соавт. (2022), однако авторы подмечают, что чувствительность ДЭКТ ниже, чем при учете всех специфических признаков подагры при УЗИ, когда стаж заболевания составлял менее 2 лет: специфичность и чувствительность УЗИ составили 93 и 80% соответственно против специфичности и чувствительности ДЭКТ 93 и 75% соответственно [73].

ДЭКТ обладает высокой эффективностью не только в идентификации кристаллов МУН, но и в дифференциальной диагностике артритов другой этиологии благодаря цветовому кодированию [74]. Например, в работе N. Sanghavi и соавт. (2023) были приведены сведения о расхождении между клинико-лабораторными данными, указывающими на наличие подагры, и рентгенологическими данными, интерпретированными как изменения в рамках ревматоидного артрита. Выполненная в связи с этим ДЭКТ выявила в исследованных суставах отложения кристаллов МУН [75].

В исследованиях A. Marty-Ané и соавт. (2021) была выявлена связь между объемом кристаллов МУН, обнаруженных с помощью ДЭКТ, с повышенным риском обострения заболевания, а также с риском развития новых сердечно-сосудистых и метаболических заболеваний [76].

О высокой диагностической информативности ДЭКТ свидетельствуют работы последних лет. Например, в работе P. Brahmbhatt и соавт. (2022) подтверждаются ранее опубликованные данные об эффективности выявления подагры с помощью ДЭКТ по сравнению с рутинной КТ на основании идентификации отложений кристаллов МУН и отличия их от окружающего кальция [66]. В работе F.I. Baffour и соавт. (2022) сообщается о повышении эффективности ДЭКТ при сравнении эффективности ДЭКТ в 2013 и в 2019 гг., при этом для подтверждения диагноза в 2019 г. снизилось количество использования аспирации суставной жидкости, это говорит о том, что ДЭКТ совершенствуется в техническом направлении, об этом же свидетельствуют и показатели сомнительных исследований, которые снизились с 33 до 16% [77].

Поскольку ДЭКТ высокоэффективна в измерении даже самых незначительных структур, то, помимо диагностики, метод может использоваться для мониторинга хода лечения.



Так, при анализе оценки роли ДЭКТ в лечении подагры S. Li и соавт. (2022) отметили, что увеличение объема отложений кристаллов МУН увеличивает риск обострения приступов подагры, и эти данные подтвердили роль ДЭКТ в мониторинговании заболевания [78].

М. Sotniczuk и соавт. (2022), отмечая высокую информативность ДЭКТ в выявлении подагры, считают, что ДЭКТ следует использовать совместно с критериями классификации подагры ACR/EULAR, так как при подобном сочетании была достигнута наибольшая диагностическая точность, при этом чувствительность и специфичность составили 100 и 76,6% соответственно [79].

Наряду с данными о высоких показателях диагностической эффективности ДЭКТ при исследовании пациентов с подагрой были опубликованы и альтернативные мнения по поводу эффективности метода. Так, по наблюдениям D. Kravchenko и соавт. (2022) чувствительность метода составила 63%, и авторы обосновали такой результат малым количеством пациентов с подагрой, а также маленьким стажем (менее 6 мес) заболевания у определенного количества больных [80]. Упоминая о небольшом стаже заболевания, нельзя не отметить исследование J. Shang и соавт. (2021), в котором говорится о высокой диагностической точности ДЭКТ при обнаружении кристаллов МУН, но ограниченную чувствительность при подагре на ранних стадиях заболевания, когда при стаже до 1 года чувствительность составляла 38,1%, при стаже от 1 года до 3 лет 62,96%, а при стаже более 3 лет – 77,55% [81].

Заключение

“Золотым стандартом” диагностики подагры является обнаружение в синовиальной жидкости кристаллов МУН, однако процедура аспирации необходимого количества внутрисуставной жидкости не всегда выполнима.

Поэтому основная роль в выявлении депозитов кристаллов МУН и эрозий в дифференциальной диагностике подагрического артрита с другими эрозивными артропатиями отводится лучевой диагностике. В данном обзоре представлена основная информация об особенностях визуализации и диагностической эффективности современных лучевых модальностей при исследовании пациентов с подозрением на подагру.

Рутинная рентгенография остается первоначальным методом лучевой диагностики с характерной рентгенологической картиной подагрических эрозий в хроническую стадию подагры и низкой чувствительностью на ранних этапах заболевания.

Современные диагностические модальности – УЗИ, МРТ и ДЭКТ – открывают новые возможности в выявлении подагры без необходимости инвазивной процедуры пункции сустава.

Высокие показатели диагностической эффективности УЗИ обосновывают использование данного метода в качестве первого этапа в выявлении подагрических тофусов.

МРТ, обладая широкой востребованностью в ревматологии, тем не менее не всегда специфична в идентификации подагрического тофуса.

Результаты радионуклидных методов исследования и рутинной КТ могут способствовать постановке правильного диагноза, но они малоспецифичны.

Наибольшей информативностью обладает ДЭКТ, опережая в сравнительном аспекте другие методы визуализации, производя по сути революцию в выявлении и количественной оценке подагрических тофусов.

Высокая диагностическая ценность УЗИ и ДЭКТ нашла применение в клинической практике путем включения этих модальностей в последние классификационные критерии ACR и EULAR [29].

Таким образом, результаты исследований, оценивающих чувствительность и специфичность современных методов визуализации, позволяющих говорить о возможности адекватной и своевременной диагностики подагры. В то же время необходимо учитывать проблемы и ограничения используемых диагностических модальностей, что создает основу для дальнейших исследований в этом направлении.

Участие авторов

Ким Т.В. – написание текста, обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста.

Завадовская В.Д. – написание текста, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Дегтярев И.Ю. – сбор и обработка данных.

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

Удодов В.Д. – сбор и обработка данных.

Зоркальцев М.А. – ответственность за целостность всех частей статьи.

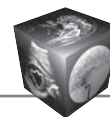
Траудт А.К. – подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Kim T.V. – writing text, review of publications, text preparation and editing.

Zavadovskaya V.D. – writing text, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Degtyarev I.Yu. – collection and analysis of data.



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

Udodov V.D. – collection and analysis of data

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

Traudt A.K. – preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

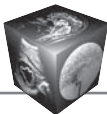
- Chen-Xu M., Yokose C., Rai S.K. et al. Contemporary Prevalence of Gout and Hyperuricemia in the United States and Decadal Trends: The National Health and Nutrition Examination Survey, 2007-2016. *Arthr. Rheumatol.* 2019; 71 (6): 991–999. <http://doi.org/10.1002/art.40807>
- Weaver J.S., Vina E.R., Munk P.L. et al. Gouty Arthropathy: Review of Clinical Manifestations and Treatment, with Emphasis on Imaging. *Am. J. Clin. Med.* 2021; 11 (1): 166. <http://doi.org/10.3390/jcm11010166>
- Dehlin M., Jacobsson L., Roddy E. Global epidemiology of gout: prevalence, incidence, treatment patterns and risk factors. *Nat. Rev. Rheumatol.* 2020; 16 (7): 380–390. <http://doi.org/10.1038/s41584-020-0441-1>
- Girish G., Glazebrook K.N., Jacobson J.A. Advanced imaging in gout. *Am. J. Roentgenol.* 2013; 201 (3): 515–525. <http://doi.org/10.2214/AJR.13.10776>
- Abdellatif W., Ding J., Khorshed D. et al. Unravelling the mysteries of gout by multimodality imaging. *Semin. Arthritis. Rheum.* 2020; 50 (3S): S17–S23. <http://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2020.04.009>
- Министерство здравоохранения РФ, клинические рекомендации “Подагра” МКБ10:M10.0/M10.1/M10.2/M10.3/M10.4/M10.9. Год утверждения (частота пересмотра): 2018 (1 раз в 3 года) ID: KP251 URL Профессиональные ассоциации: Ассоциация ревматологов России.
Ministry of Health of the Russian Federation, respected recommendations “Gout” ICD10: M10.0/M10.1/M10.2/M10.3/M10.4/M10.9. Year of approval (frequency of revision): 2018 (once every 3 years) ID: KR251 URL Professional associations: Association of Rheumatologists of Russia. (In Russian)
- Davies J., Riede P., van Langevelde K., Teh J. Recent developments in advanced imaging in gout. *Ther. Adv. Musculoskelet. Dis.* 2019; 11: 1759720X19844429. <http://doi.org/10.1177/1759720X19844429>
- Lipsky A. Gout, 2019. Chapter 4 – Tophi: Clinical and Biological Features: 37–46.
- Abhishek A., Roddy E., Doherty M. Gout – a guide for the general and acute physicians. *Clin. Med. (Lond.)*. 2017; 17(1):54–59. <http://doi.org/10.7861/clinmedicine.17-1-54>
- Schwabl C., Taljanovic M., Widmann G. et al. Ultrasonography and dual-energy computed tomography: impact for the detection of gouty deposits. *Ultrasonography*. 2021; 40 (2): 197–206. <http://doi.org/10.14366/usg.20063>
- Towiat P., Chhana A., Dalbeth N. The anatomical pathology of gout: a systematic literature review. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2019; 20 (1): 140. <http://doi.org/10.1186/s12891-019-2519-y>
- Tang Y., Yan F., Yang Y. et al. Value of Shear Wave Elastography in the Diagnosis of Gouty and Non-Gouty Arthritis. *Ultrasound Med. Biol.* 2017; 43 (5): 884–892. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.12.012>
- Pattamapaspong N., Vuthiwong W., Kanthawang T., Louthrenoo W. Value of ultrasonography in the diagnosis of gout in patients presenting with acute arthritis. *Skeletal. Radiol.* 2017; 46 (6): 759–767. <http://doi.org/10.1007/s00256-017-2611-z>
- Low E., Ouellette H., Munk P.L. Tophaceous Gout. *Ann. Acad. Med. Singap.* 2020; 49 (11): 931–933. <http://doi.org/10.47102/annals-acadmedsg.2020125>
- Christiansen S.N., Østergaard M., Terslev L. Ultrasonography in gout: utility in diagnosis and monitoring. *Clin. Exp. Rheumatol.* 2018; 36, Suppl. 114 (5): 61–67. PMID: 30296983
- Neogi T., Jansen T.L., Dalbeth N. et al. 2015 Gout classification criteria: an American College of Rheumatology/European League Against Rheumatism collaborative initiative. *Ann. Rheum. Dis.* 2015; 74 (10): 1789–1798. <http://doi.org/10.1136/annrheumdis-2015-208237>. Erratum in: *Ann. Rheum. Dis.* 2016; 75 (2): 473. <http://doi.org/10.1136/annrheumdis-2015-208237corr1>
- Newberry S.J., FitzGerald J.D., Motala A. et al. Diagnosis of Gout: A Systematic Review in Support of an American College of Physicians Clinical Practice Guideline. *Ann. Intern. Med.* 2017; 166 (1): 27–36. <http://doi.org/10.7326/M16-0462>
- Елисеев М.С. Классификационные критерии подагры (рекомендации ACR/EULAR). *Научно-практическая ревматология*. 2015; 53 (6): 581–585. <https://doi.org/10.14412/1995-4484-2015-581-585>
Eliseev M.S. Gout classification criteria (ACR/EULAR guidelines). *Rheumatology Science and Practice*. 2015; 53 (6): 581–585. <https://doi.org/10.14412/1995-4484-2015-581-585> (In Russian)
- Taljanovic M.S., Melville D.M., Gimber L.H. et al. High-Resolution US of Rheumatologic Diseases. *Radiographics*. 2015; 35 (7): 2026–2048. <http://doi.org/10.1148/rg.2015140250>
- Araujo E.G., Manger B., Perez-Ruiz F., Thiele R.G. Imaging of gout: New tools and biomarkers? *Best. Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 2016; 30 (4): 638–652. <http://doi.org/10.1016/j.berh.2016.10.010>
- Taljanovic M.S., Gimber L.H., Becker G.W. et al. Shear-Wave Elastography: Basic Physics and Musculoskeletal Applications. *Radiographics*. 2017; 37 (3): 855–870. <http://doi.org/10.1148/rg.2017160116>
- Lee Y.H., Song G.G. Diagnostic accuracy of ultrasound in patients with gout: A meta-analysis. *Semin. Arthr. Rheum.* 2018; 47 (5): 703–709. <http://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2017.09.012>
- Sivera F., Andres M., Dalbeth N. A glance into the future of gout. *Ther. Adv. Musculoskelet. Dis.* 2022; 14: 1759720X221114098. <http://doi.org/10.1177/1759720X221114098>
- Pastor C.M., Perez E.A., Casares E.G. Usefulness of ultrasound in the diagnosis of crystal deposition diseases. *Eur. J. Rheumatol.* 2022. <http://doi.org/10.5152/eurjrheum.2022.20129>
- Cowley S., McCarthy G. Diagnosis and Treatment of Calcium Pyrophosphate Deposition (CPPD) Disease: A Review. *Open. Access. Rheumatol.* 2023; 15: 33–41. <http://doi.org/10.2147/OARRR.S389664>
- Taljanovic M.S., Gimber L.H., Becker G.W. et al. Shear-Wave Elastography: Basic Physics and Musculoskeletal Applications. *Radiographics*. 2017; 37 (3): 855–870. <http://doi.org/10.1148/rg.2017160116>



27. Zhang Q., Gao F., Sun W. et al. The diagnostic performance of musculoskeletal ultrasound in gout: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018; 13 (7): e0199672. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0199672>
28. Klauser A.S., Halpern E.J., Strobl S. et al. Gout of hand and wrist: the value of US as compared with DECT. *Eur. Radiol.* 2018; 28(10): 4174–4181. <http://doi.org/10.1007/s00330-018-5363-9>
29. Christiansen S.N., Østergaard M., Slot O. et al. Ultrasound for the diagnosis of gout-the value of gout lesions as defined by the Outcome Measures in Rheumatology ultrasound group. *Rheumatology (Oxford)*. 2021; 60 (1): 239–249. <http://doi.org/10.1093/rheumatology/keaa366>
30. Weaver J.S., Omar I., Mar W. et al. Magnetic resonance imaging of rheumatological diseases. *Pol. J. Radiol.* 2022; 87: e93–e112. <http://doi.org/10.5114/pjr.2022.113390>
31. Bayat S., Baraf H.S.B., Rech J. Update on imaging in gout: contrasting and comparing the role of dual-energy computed tomography to traditional diagnostic and monitoring techniques. *Clin. Exp. Rheumatol.* 2018; 36, Suppl. 114 (5): 53–60. PMID: 30296979
32. Teh J., McQueen F., Eshed I. et al. Advanced Imaging in the Diagnosis of Gout and Other Crystal Arthropathies. *Semin. Musculoskelet. Radiol.* 2018; 22 (2): 225–236. <http://doi.org/10.1055/s-0038-1639484>
33. McQueen F.M., Doyle A., Reeves Q. et al. Bone erosions in patients with chronic gouty arthropathy are associated with tophi but not bone oedema or synovitis: new insights from a 3 T MRI study. *Rheumatology (Oxford)*. 2014; 53 (1): 95–103. <http://doi.org/10.1093/rheumatology/ket329>
34. Yang Y., Guo Y., Yu S., Zou B. Computed tomography and magnetic resonance imaging findings in gouty arthritis involving large joints of the upper extremities. *BMC Med. Imaging*. 2022; 22 (1): 167. <http://doi.org/10.1186/s12880-022-00894-3>
35. Goel N., Khanna V., Jain D.K., Gupta V. Gouty tophi presenting as multinodular lateral inguinal swelling: A case report. *Diagn. Cytopathol.* 2018; 46 (9): 801–803. <http://doi.org/10.1002/dc.23972>
36. Kester C., Wallace M.T., Jelinek J., Aboulafia A. Gouty involvement of the patella and extensor mechanism of the knee mimicking aggressive neoplasm. A case series. *Skeletal Radiol.* 2018; 47 (6): 865–869. <http://doi.org/10.1007/s00256-017-2871-7>
37. Udongwo N.E., Odak M., AlBayati A. et al. Unusual Subacute Interphalangeal Tophaceous Gouty Arthritis. *Cureus*. 2021; 13 (3): e13732. <http://doi.org/10.7759/cureus.13732>
38. Ohnishi J., Ishimaru N., Seto H. et al. Gout in the Flexor Hallucis Longus Tendon Mimicking Cellulitis: A Case Report. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2020; 110 (1): Article 8. <http://doi.org/10.7547/18-161>
39. Menkü Özdemir F.D., Kafa B., Özdemir E. et al. Gout tophus in transferred tendons after 33 years: A case report. *Jt. Dis. Relat. Surg.* 2021; 32 (3): 771–774. <http://doi.org/10.52312/jdrs.2021.30>
40. Matos T.D., Teixeira K.O., Fleury R.B.C. et al. Cervical Myelopathy Secondary to Gout: Case Report. *Rev. Bras. Ortop. (Sao Paulo)*. 2020; 55 (6): 796–799. <http://doi.org/10.1055/s-0040-1708514>
41. Chen X., Xu G., Hu Q. et al. Percutaneous transforaminal endoscopic decompression for the treatment of intraspinal tophaceous gout: A case report. *Medicine (Baltimore)*. 2020; 99 (21): e20125. <http://doi.org/10.1097/MD.00000000000020125>
42. Martins D., Tonon C.R., Pacca R.L. et al. Gout Storm. *Am. J. Case Rep.* 2021; 22: e932683. <http://doi.org/10.12659/AJCR.932683>
43. Koro L., Khanna R., Richards D., Karahalios D.G. Gout in the thoracic spine causing acute paraplegia: illustrative case. *J. Neurosurg. Case Lessons*. 2021; 2 (9): CASE21308. <http://doi.org/10.3171/CASE21308>
44. Duarte-Salazar C., Marín-Arriaga N., Ventura-Ríos L. et al. Tophaceous Gout in the Lumbar Spine Causing Radiculopathy. *Reumatol. Clin. (Engl. Ed)*. 2020; 16 (5 Pt 2): 410–412. <http://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.08.005> (English, Spanish)
45. Wu Z., Liu C., Dai K., Zheng C. Intraspinal extradural gout tophus in the lumbar vertebral canal: Case reports. *Medicine (Baltimore)*. 2022; 101 (1): e28418. <http://doi.org/10.1097/MD.00000000000028418>
46. Shen G., Su M., Liu B., Kuang A. A Case of Tophaceous Pseudogout on 18F-FDG PET/CT Imaging. *Clin. Nucl. Med.* 2019; 44 (2): e98–e100. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002308>
47. Chiu M.K., Lewis N.A. Intraosseous gout mimicking giant cell tumor of the patella. *Skeletal Radiol.* 2020; 49 (8): 1325–1328. <http://doi.org/10.1007/s00256-020-03422-y>
48. Curd E.D., Ravichandiran K., Abouali J. Gouty tophus presenting as an anterior cruciate ligament mass in the knee: Case report and brief review of relevant literature. *Int. J. Surg. Case Rep.* 2021; 82: 105920. <http://doi.org/10.1016/j.ijscr.2021.105920>
49. Namas R., Hegazin S.B., Memişoğlu E., Joshi A. Lower back pain as a manifestation of acute gouty sacroiliitis: Utilization of dual-energy computed tomography (DECT) in establishing a diagnosis. *Eur. J. Rheumatol.* 2019; 6 (4): 216–218. <http://doi.org/10.5152/eurjrheum.2019.18097>
50. Hng J., Manchella S., Lekgabe E. Gout of the temporomandibular joint and review of the literature. *BJR Case Rep.* 2022; 9 (1): 20220046. <http://doi.org/10.1259/bjrcr.20220046>
51. Wang Y., Zha Y., She R. et al. ^{99m}Tc-methylene diphosphonate SPECT/CT imaging of gout spondylitis: a case report. *J. Int. Med. Res.* 2022; 50 (10): 3000605221129557. <http://doi.org/10.1177/03000605221129557>
52. Lee W.W.; K-SPECT Group. Clinical Applications of Technetium-99m Quantitative Single-Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography. *Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2019; 53 (3): 172–181. <http://doi.org/10.1007/s13139-019-00588-9>
53. Cardoso F.N., Omoumi P., Wieers G. et al. Spinal and sacroiliac gouty arthritis: report of a case and review of the literature. *Acta Radiol. Short. Rep.* 2014; 3 (8): 2047981614549269. <http://doi.org/10.1177/2047981614549269>
54. Liu T., Liu H., Zhu T. Thoracic spinal cord compression by extradural tophus: a case report and review of the literature. *Spinal Cord. Ser. Cases*. 2015; 1: 15015. <http://doi.org/10.1038/scsandc.2015.15>. Erratum in: *Spinal Cord. Ser. Cases*. 2016; 2: 16019. <http://doi.org/10.1038/scsandc.2016.19>
55. Vicente J.S., Gómez A.L., Moreno R.L. et al. Lumbar Gout Tophus Mimicking Epidural Abscess with Magnetic Resonance Imaging, Bone, and Gallium Scans. *Indian J. Nucl. Med.* 2018; 33 (2): 158–160. http://doi.org/10.4103/ijnm.IJNM_139_17



56. Jiao B., Liu S., Zhuang Y. et al. Lumbosacral Paravertebral Tophaceous Gout on an Adolescent Mimicking Malignant Neoplasm in ^{18}F -FDG PET/CT. *Clin. Nucl. Med.* 2024; 49 (1): 91–92. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000004962>
57. Emsen B., Fitoussi A., Chalaye J. et al. FDG PET/CT of Cervical Gout With Spinal Cord Compression. *Clin. Nucl. Med.* 2020; 45 (1): e29–e31. <http://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002772>
58. Girish G., Melville D.M., Kaeley G.S. et al. Imaging appearances in gout. *Arthritis.* 2013; 2013: 673401. <http://doi.org/10.1155/2013/673401>
59. Lee S.K., Jung J.Y., Jee W.H. et al. Combining non-contrast and dual-energy CT improves diagnosis of early gout. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (3): 1267–1275. <http://doi.org/10.1007/s00330-018-5716-4>
60. Birk A., Wörtler K., Mogler C., Storck K. Tophöse Gicht als Differenzialdiagnose eines präaurikulären Tumors [Tophaceous gout as a differential diagnosis of preauricular tumor]. *HNO.* 2023; 71 (2): 114–117. <http://doi.org/10.1007/s00106-022-01253-y>. Erratum in: *HNO.* 2023 Jan 17: PMID: 36449071; PMCID: PMC9894964. (German)
61. Walstra F.E., Hickie J., Duggan P. et al. Top-Ten Tips for Dual-Energy CT in MSK Radiology. *Semin. Musculoskelet. Radiol.* 2019; 23 (4): 392–404. <http://doi.org/10.1055/s-0039-1694756>
62. Choi H.K., Burns L.C., Shojania K. et al. Dual energy CT in gout: a prospective validation study. *Ann. Rheum. Dis.* 2012; 71 (9): 1466–1471. <http://doi.org/10.1136/annrheumdis-2011-200976>
63. Bongartz T., Glazebrook K.N., Kavros S.J. et al. Dual-energy CT for the diagnosis of gout: an accuracy and diagnostic yield study. *Ann. Rheum. Dis.* 2015; 74 (6): 1072–1077. <http://doi.org/10.1136/annrheumdis-2013-205095>
64. Alqatari S., Visevic R., Marshall N. et al. An unexpected cause of sacroiliitis in a patient with gout and chronic psoriasis with inflammatory arthritis: a case report. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2018; 19 (1): 126. <http://doi.org/10.1186/s12891-018-2044-4>
65. Ayoub S., Rajamohan A.G., Acharya J. et al. Chronic tophaceous gout causing lumbar spinal stenosis. *Radiol. Case Rep.* 2020; 16 (2): 237–240. <http://doi.org/10.1016/j.radcr.2020.11.017>
66. Brahmabhatt P., Vibhute P., Gupta V. et al. Spinal gout diagnosed by dual-energy CT: A case report. *Radiol. Case Rep.* 2022; 17 (11): 4135–4138. <http://doi.org/10.1016/j.radcr.2022.08.009>
67. Xue W., Zhang S., Wang Q. et al. Gout in the Chest Misdiagnosed as Ankylosing Spondylitis. *Front. Med. (Lausanne).* 2020; 7: 582444. <http://doi.org/10.3389/fmed.2020.582444>
68. Thompson J.W., Srinivasan S., Makkuni D. Chronic tophaceous gout mimicking widespread metastasis. *BMJ Case Rep.* 2021; 14 (5): e236166. <http://doi.org/10.1136/bcr-2020-236166>
69. Hussain K., Shahid S., Chang W. Role of DECT in a patient with atypical gout flare. *BMJ Case Rep.* 2019; 12 (10): e231850. <http://doi.org/10.1136/bcr-2019-231850>
70. Wang J.X., Ng B., Bak H. et al. The utility of dual energy computed tomography in the management of axial gout: case reports and literature review. *BMC Rheumatol.* 2020; 4: 22. <http://doi.org/10.1186/s41927-020-00119-6>
71. Zou Z., Yang M., Wang Y., Zhang B. Gout of ankle and foot: DECT versus US for crystal detection. *Clin. Rheumatol.* 2021; 40 (4): 1533–1537. <http://doi.org/10.1007/s10067-020-05378-9>
72. Khanna L., Pietro R., Ali Y. What Has Dual Energy CT Taught Us About Gout? *Curr. Rheumatol. Rep.* 2021; 23 (9): 71. <http://doi.org/10.1007/s11926-021-01035-5>
73. Shang J., Zhou L.P., Wang H., Liu B. Diagnostic Performance of Dual-energy CT Versus Ultrasonography in Gout: A Meta-analysis. *Acad. Radiol.* 2022; 29 (1): 56–68. <http://doi.org/10.1016/j.acra.2020.08.030>
74. Dössing A., Müller F.C., Becce F. et al. Dual-Energy Computed Tomography for Detection and Characterization of Monosodium Urate, Calcium Pyrophosphate, and Hydroxyapatite: A Phantom Study on Diagnostic Performance. *Invest. Radiol.* 2021; 56 (7): 417–424. <http://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000756>
75. Sanghavi N., Korem S., Dey S. et al. Dual-Energy Computed Tomography (DECT) Resolves the Diagnostic Dilemma in an Atypically Presenting Case of Gout. *Cureus.* 2023; 15 (4): e38247. <http://doi.org/10.7759/cureus.38247>
76. Marty-Ané A., Norberciak L., Andrès M. et al. Crystal deposition measured with dual-energy computed tomography: association with mortality and cardiovascular risks in gout. *Rheumatology (Oxford).* 2021; 60 (10): 4855–4860. <http://doi.org/10.1093/rheumatology/keaa920>
77. Baffour F.I., Ferrero A., Aird G.A. et al. Evolving Role of Dual-Energy CT in the Clinical Workup of Gout: A Retrospective Study. *Am. J. Roentgenol.* 2022; 218 (6): 1041–1050. <http://doi.org/10.2214/AJR.21.27139>
78. Li S., Xu G., Liang J. et al. The Role of Advanced Imaging in Gout Management. *Front. Immunol.* 2022; 12: 811323. <http://doi.org/10.3389/fimmu.2021.811323>
79. Sotniczuk M., Nowakowska-Plaza A., Wroński J. et al. The Clinical Utility of Dual-Energy Computed Tomography in the Diagnosis of Gout-A Cross-Sectional Study. *J. Clin. Med.* 2022; 11 (17): 5249. <http://doi.org/10.3390/jcm11175249>
80. Kravchenko D., Karakostas P., Kuetting D. et al. The role of dual energy computed tomography in the differentiation of acute gout flares and acute calcium pyrophosphate crystal arthritis. *Clin. Rheumatol.* 2022; 41 (1): 223–233. <http://doi.org/10.1007/s10067-021-05949-4>
81. Shang J., Li X.H., Lu S.Q. et al. Gout of feet and ankles in different disease durations: diagnostic value of single-source DECT and evaluation of urate deposition with a novel semi-quantitative DECT scoring system. *Adv. Rheumatol.* 2021; 61 (1): 36. <http://doi.org/10.1186/s42358-021-00194-4>



Для корреспонденции*: Ким Тхе Ван – e-mail: Pavel.kim.08@mail.ru

Ким Тхе Ван – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0009-0002-9766-6986>. E-mail: Pavel.kim.08@mail.ru

Завадовская Вера Дмитриевна – доктор мед. наук, профессор, и.о. заведующей кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>. E-mail: Wdzav@mail.ru

Дегтярев Илья Юрьевич – ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-8812-4168>. E-mail: ilya.degtyarev.4201@mail.ru

Замышевская Мария Александровна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7582-3843>. E-mail: Zamyshetskayamari@mail.ru

Удодов Владимир Дмитриевич – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-1321-7861>. E-mail: Udodov.vd@ssmu.ru

Зоркальцев Максим Александрович – доктор мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>. E-mail: Zorkaltsev@mail.ru

Траудт Алина Константиновна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0009-0001-8681-7892>. E-mail: alina.traudt@yandex.ru

Contact*: Kim Tkhe Van – e-mail: Pavel.kim.08@mail.ru

Tkhe Van Kim – Postgraduate of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0009-0002-9766-6986>. E-mail: Pavel.kim.08@mail.ru

Vera D. Zavadovskaya – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>. E-mail: Wdzav@mail.ru

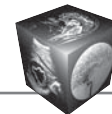
Ilya Yu. Degtyarev – Assistant of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-8812-4168>. E-mail: ilya.degtyarev.4201@mail.ru

Maria A. Zamyshetskaya – MD, Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-7582-3843>. E-mail: Zamyshetskayamari@mail.ru

Vladimir D. Udodov – MD, Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-1321-7861>. E-mail: Udodov.vd@ssmu.ru

Maxim A. Zorkaltsev – MD, Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>. E-mail: Zorkaltsev@mail.ru

Alina K. Traudt – MD, Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0009-0001-8681-7892>. E-mail: alina.traudt@yandex.ru



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>

Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа

© Фомина С.В.*, Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; 634050 Томск, Московский тракт, д. 2, Российская Федерация

Диабетическая полинейропатия относится к осложнениям сахарного диабета, требующим особого внимания в детском возрасте. Поиск новых методов оценки периферических нервов является актуальной задачей. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной открывает дополнительные возможности оценки изменений периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа.

Цель исследования: оценка параметров ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа.

Материал и методы. В исследование были включены данные 213 детей в возрасте 7–18 лет. Из них 159 детей с установленным диагнозом сахарный диабет 1 типа разной длительности и контрольная группа – 54 ребенка.

Ультразвуковое исследование периферических нервов нижних конечностей всем пациентам было выполнено с использованием В-режима, режима эластографии сдвиговой волной.

Заключение. Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о возможном использовании ультразвуковой эластографии для динамического наблюдения состояния периферических нервов у пациентов с сахарным диабетом 1 типа в детском и подростковом возрасте. Периферические нервы у данной категории пациентов характеризуются более высокими значениями параметров жесткости при ультразвуковой эластографии.

Ключевые слова: сахарный диабет; диабетическая полинейропатия; ультразвуковое исследование; площадь поперечного сечения; ультразвуковая эластография; электронейромиография; дети; подростки

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 133–141. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>

Поступила в редакцию: 25.01.2024. Принята к печати: 09.07.2024. Опубликовано online: 25.07.2024.

Possibilities of ultrasound elastography of peripheral nerves in children with type 1 diabetes mellitus

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

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

Diabetic polyneuropathy (DPN) is a complication of diabetes mellitus (DM) that requires special attention in childhood. The search for new methods for assessing peripheral nerves is an urgent task. Shear wave ultrasound elastography offers additional opportunities for assessing peripheral nerve changes in children with type 1 diabetes.



The purpose of the study is to evaluate the parameters of ultrasound elastography of peripheral nerves in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus.

Material and methods. The study included data from 213 children aged 7–18 years. Of these, 159 children were diagnosed with type 1 diabetes mellitus of varying duration and the control group included 54 children.

Ultrasound examination of the peripheral nerves of the lower extremities was performed in all patients using B-mode, shear wave elastography mode.

Results. The data obtained during the study indicate the possible use of ultrasound elastography for dynamic monitoring of the condition of peripheral nerves in patients with type 1 diabetes in childhood and adolescence. Peripheral nerves in this category of patients are characterized by higher values of stiffness parameters in ultrasound elastography.

Keywords: diabetes mellitus; diabetic polyneuropathy; ultrasound; cross-sectional area; ultrasound elastography; electroneuromyography; children; teenagers

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

For citation: Fomina S.V., Zavadovskaya V.D., Samoilova Iu.G., Koshmeleva M.V., Kachanov D.A., Trifonova E.I., Zorkaltsev M.A., Yun V.E. Possibilities of ultrasound elastography of peripheral nerves in children with type 1 diabetes mellitus. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 133–141. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>

Received: 25.01.2024.

Accepted for publication: 09.07.2024.

Published online: 25.07.2024.

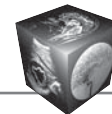
Введение

Диабетическая полинейропатия (ДПН) является сосудистым осложнением сахарного диабета (СД) с высокой значимостью и актуальностью, особенно в детском возрасте [1]. Ежегодный рост количества пациентов с СД требует дополнительного внимания к вопросу повышения качества жизни пациентов, снижению рисков развития осложнений в отсроченной перспективе и уменьшению случаев инвалидизации [2]. Хроническая гипергликемия способствует развитию ишемии периферических нервов и служит запуском каскада патологических изменений, приводящих к развитию демиелинизации и аксональным нарушениям. Снижение функции периферических нервов, в первую очередь нижних конечностей, сопровождается снижением чувствительности, появлением болей, трофических изменений кожных покровов, ростом рисков инвалидизации. Особенностью течения ДПН является длительный бессимптомный период, пациенты долгое время не обращаются за медицинской помощью, что ухудшает отсроченный прогноз течения заболевания, особенно в детском возрасте [3, 4].

Ультразвуковая эластография сдвиговой волной относится к современным возможностям количественной оценки жесткости исследуемых тканей и органов. Появление данного метода связано с техническим развитием ультразвуковых сканеров и биологическим свойством тканей менять свою жесткость при воспалительных и неопластических процессах. Ультразвуковая регистрация изменений жесткости ткани успешно используется в диагностических алгоритмах при определении стадии фиброза печени, новообразований грудных желез, новообразований щитовидной железы,

оценки структуры лимфатических узлов [5]. Актуальным направлением использования ультразвуковой эластографии является оценка жесткости периферических нервов у пациентов с СД. Регистрация повышения жесткости периферических нервов, по данным литературы, характерна для ДПН [6–8]. Учитывая сложный патоморфологический механизм развития ДПН с длительным периодом отсутствия клинических проявлений и особенности диагностики, включающие операторозависимые и аппаратозависимые методы, такие как стимуляционная электронейромиография (ЭНМГ) и игольчатая электромиография, поиск безболезненного и безопасного диагностического инструмента является актуальной задачей, особенно в детской практике [3, 9].

Анализ литературных данных создает предпосылки для клинического использования ультразвуковой эластографии периферических нервов при диагностике ДПН [6, 8, 10]. Ученые предполагают, что повышение жесткости нервов связано с ростом внутринервного давления в результате отека нерва при его ишемии, что может быть использовано в диагностическом наблюдении изменений периферических нервов [8, 10]. Обращают на себя внимание малое количество научных исследований и разрозненность результатов ультразвуковых исследований с эластографией в диагностике ДПН у детей и подростков с СД 1 типа. Отмечаются методические расхождения при ультразвуковой эластографии периферических нервов, ученые исследуют разные периферические нервы, их комбинации, проводят измерение жесткости разных локализаций нервов, включая физиологически жесткие участки, такие как карпальный канал, канал Гюйона, кубитальный



канал, фибулярный канал, тарзальный канал, что приводит к увеличению артефактов и снижению точности исследования [6]. Исследователи указывают на необходимость стандартизации ультразвукового протокола для оценки жесткости периферических нервов с установкой зон сканирования, определением вида сканирования (поперечное или продольное) [8, 10].

Настоящее исследование было предпринято для изучения возможностей применения в клинической практике ультразвуковой эластографии периферических нервов у пациентов с СД 1 типа в детском и подростковом возрасте.

Цель исследования: оценить параметры ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей и подростков с СД 1 типа.

Материал и методы

Исследование было выполнено на базе клиник ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (заключение № 9518 от 28.08.2023).

В исследование были включены данные 213 детей в возрасте 7–18 лет. Из них 159 детей с установленным диагнозом СД 1 типа, с уровнем гликированного гемоглобина от 7,6 до 10,4%. Контрольная группа включала данные 54 детей без СД. С учетом возраста пациенты с СД были разделены на 2 группы: 1-я группа (7–12 лет) включала 63 ребенка, 2-я группа (13–17 лет) – 96 детей.

Всем пациентам выполнялось ультразвуковое исследование (УЗИ) периферических нервов нижних конечностей в положении пациента лежа на животе. УЗИ проводились на аппарате экспертного класса Canon Aplio i 700 линейным датчиком 9–17 МГц одним врачом ультразвуковой диагностики и включали: В-режим, режим цветового доплеровского картирования (ЦДК), недоплеровской микроваскуляризации (SMI), режим эластографии сдвиговой волной. При нативном УЗИ в поперечном и продольном сечении оценивали целостность нерва, однородность структуры, эхогенность, отсутствие патологических образований в структуре, дифференцировку на фасцикулы. Оценка размеров исследуемых нервов проводилась путем измерения площади поперечного сечения (ППС) на следующих участках: седалищный нерв – средняя треть бедра; большеберцовый нерв – нижняя треть бедра, на 1–2 см ниже бифуркации седалищного нерва; малоберцовый нерв – нижняя треть бедра, на 1–2 см ниже бифуркации седалищного нерва. Васкуляризация оценивалась с использованием ЦДК и SMI в поперечном срезе на каждом участке измерения размеров нервов,

в случае регистрации локуса васкуляризации кровотока считался усиленным. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной с измерением жесткости нерва проводилось строго в поперечных срезах, в зонах измерения ППС, согласно методике проведения эластографии сдвиговой волной поверхностно-расположенных органов [6]. Датчик относительно зоны измерения располагали под прямым углом, без оказания давления во время исследования, использовали малое количество геля, с длительностью исследования не менее 4 с для равномерного распространения сдвиговых волн, с измерением каждого участка не менее 3 раз, с автоматическим вычислением медианы (рис. 1а, б). С целью снижения аппаратозависимых факторов при измерении жесткости нервов старались избегать артефактов, возникающих от передаточной пульсации близкорасположенных артерий, близости костных структур, большой глубины зон исследования (более 80 мм) [6].

Статистический анализ был выполнен с помощью программного обеспечения Statistica версия 13.3. Для описания количественных данных использованы медиана и 25–75-й процентиль. Для сравнения двух независимых групп был использован непараметрический критерий Манна–Уитни. Оценка корреляционной зависимости между показателями проведена непараметрическим критерием Спирмена. Уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

С целью анализа полученных результатов было выделено 2 группы пациентов на основании различной ППС периферических нервов. Количественные данные о ППС были получены нами на предыдущем этапе исследования [6]. В 1-ю группу с увеличением размеров периферических нервов вошло 70 детей, 2-ю группу с неизменными размерами составили 89 детей. При определении группы учитывался возраст ребенка, за нормативные ультразвуковые значения размеров нервов принимались общепринятые данные [11].

При нативном УЗИ периферические нервы нижних конечностей характеризовались типичной структурой. Патологические изменения, нарушения целостности, кистозные и солидные образования не выявлены. В режимах ЦДК и SMI васкуляризация не изменена.

Для оценки вариабельности ультразвуковой “жесткости” периферических нервов нижних конечностей у детей и подростков с СД 1 типа было проведено сравнение данного показателя в группах “увеличенный размер нервов” и “нормальный размер нервов”, результаты представлены графически на рис. 2.

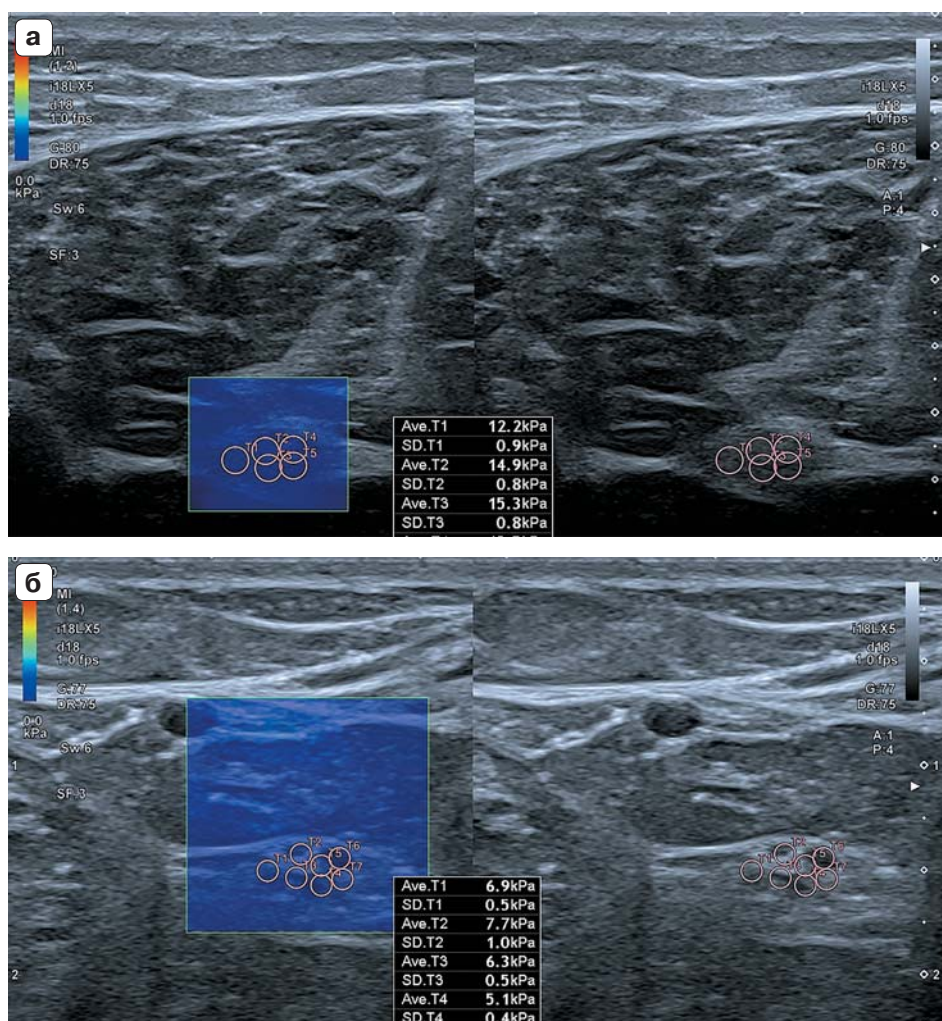
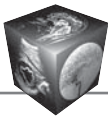


Рис. 1. Эластография сдвиговой волной. **а** – седалищного нерва; **б** – большеберцового нерва.

Fig. 1. Shear wave elastography. **a** – of the sciatic nerve; **b** – of the tibial nerve.

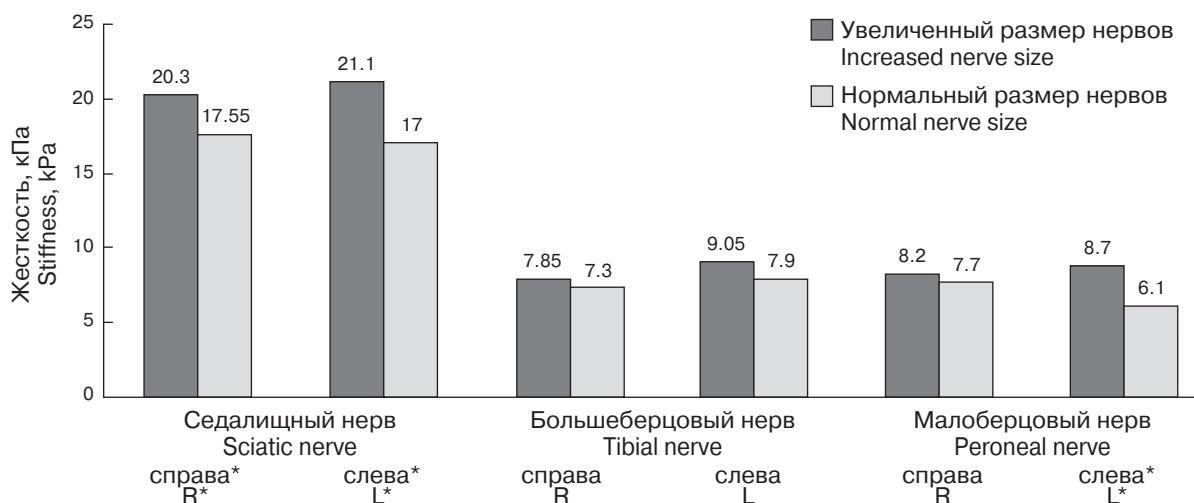


Рис. 2. Диаграмма “жесткости” (медиана) периферических нервов у пациентов с “увеличенным размером нервов” и “нормальным размером нервов” (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0.05$).

Fig. 2. Diagram of “Stiffness” (median) of peripheral nerves in patients with “increased nerve size” and “normal nerve size” (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$).

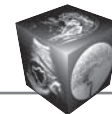


Таблица 1. Зависимость “жесткости” периферических нервов от размеров нервов (ППС) и антропометрических показателей у детей и подростков с СД 1 типа (критерий Спирмена, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 1. Dependence of “stiffness” of peripheral nerves on nerve size (CSA) and anthropometric parameters in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus (Spearman test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Жесткость, седалищный нерв, кПа Stiffness, sciatic nerve, kPa		Жесткость, большеберцовый нерв, кПа Stiffness, tibial nerve, on the thigh, kPa		Жесткость, малоберцовый нерв, кПа Stiffness, peroneal nerve, kPa	
	R	L	R	L	R	L
Взаимосвязь возраста, роста, массы тела с жесткостью периферических нервов Relationship between age, height, weight and peripheral nerve stiffness						
Возраст Age	0.36*	0.52*	0.40*	0.39*	0.23*	0.26*
Рост Height	0.43*	0.53*	0.39*	0.31*	0.24	0.16
Масса тела Weight	0.46*	0.55*	0.43*	0.43*	0.27*	0.18
Взаимосвязь размеров (ППС) с жесткостью периферических нервов Relationship between size (cross-sectional area) and peripheral nerve stiffness						
ППС, седалищный нерв (R), мм ² CSA, sciatic nerve (R), mm ²	0.47*	–	–	–	–	–
ППС, седалищный нерв (L), мм ² CSA, sciatic nerve (L), mm ²	–	0.53*	–	–	–	–
ППС, большеберцовый нерв (R), мм ² CSA, tibial nerve, on the thigh (R), mm ²	–	–	0.33*	–	–	–
ППС, большеберцовый нерв (L), мм ² CSA, tibial nerve, on the thigh (L), mm ²	–	–	–	0.29*	–	–
ППС, малоберцовый нерв (R), мм ² CSA, peroneal nerve (R), mm ²	–	–	–	–	0.09	–
ППС, малоберцовый нерв (L), мм ² CSA, peroneal nerve (L), mm ²	–	–	–	–	–	0.25

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: R – справа, L – слева. * – взаимосвязи показателей с уровнем значимости $p < 0,05$.
Note. R – right, L – left.

Результат сравнения демонстрирует повышение “жесткости” практически всех нервов в группе “увеличенный размер нервов”, статистически значимое увеличение показателя было зарегистрировано по седалищным и малоберцовому нервам.

Принимая во внимание литературные данные о влиянии возраста, антропометрических данных на размеры периферических нервов (ППС), было принято решение на следующем этапе оценить наличие взаимосвязи этих параметров с показателем ультразвуковой эластографии “жесткость” периферических нервов с использованием корреляционного анализа, данные представлены в табл. 1.

Результаты анализа, представленные в табл. 1, показывают наличие прямо пропорциональной связи между возрастом, ростом, массой тела, размерами нервов (ППС) и ультразвуковым пока-

зателем “жесткость” периферических нервов. Наибольшая сила связи определяется с “жесткостью” более крупных периферических нервов, а именно, седалищного и большеберцового.

Различия и тенденции повышения жесткости при увеличении размеров периферических нервов (см. рис. 2), а также установленные корреляционные взаимосвязи между ППС и “жесткостью” нервов (см. табл. 1) позволили предположить наличие возможности введения коэффициента “ультразвуковой оценки периферического нерва” (УПН), как отношение “жесткость” нерва / размер нерва (ППС), отражающих структурные особенности периферических нервов.

Была выдвинута гипотеза, что данный коэффициент может быть использован для динамической оценки состояния периферических нервов у детей



Таблица 2. Сравнение коэффициента УПН у пациентов с СД 1 типа в группах “возраст 7–12 лет” и “возраст 13–17 лет” (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 2. Comparison of the coefficient of “Ultrasound assessment of peripheral nerve” (UPN) in patients with type 1 diabetes mellitus in the groups “age 7–12 years” and “age 13–17 years” (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Возраст 7–12 лет Ages 7–12 years			Возраст 13–17 лет Ages 13–17 years			p
	медиана median	процентили percentiles		медиана median	процентили percentiles		
		25-й	75-й		25-й	75-й	
УПН, седалищный нерв (R) UPN, sciatic nerve (R)	0.73	0.55	1.02	0.74	0.52	0.91	0.87
УПН, седалищный нерв (L) UPN, sciatic nerve (L)	0.73	0.60	0.86	0.76	0.54	0.94	0.59
УПН, большеберцовый нерв (R) UPN, tibial nerve (R)	0.57	0.40	0.73	0.56	0.40	0.73	0.87
УПН, большеберцовый нерв (L) UPN, tibial nerve (L)	0.62	0.45	0.81	0.62	0.47	0.82	0.49
УПН, малоберцовый нерв (R) UPN, peroneal nerve (R)	1.66	0.97	2.36	1.51	1.05	2.22	0.72
УПН, малоберцовый нерв (L) UPN, peroneal nerve (L)	1.27	0.91	1.72	1.48	0.90	2.13	0.17

Таблица 3. Сравнение коэффициента УПН у пациентов с СД 1 типа и контрольной группы (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 3. Comparison of the UPN coefficient in patients with type 1 diabetes mellitus and the control group (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Сахарный диабет 1 типа Diabetes mellitus type 1			Контрольная группа Control group			p
	медиана median	процентили percentiles		медиана median	процентили percentiles		
		25-й	75-й		25-й	75-й	
УПН, седалищный нерв (R) UPN, sciatic nerve (R)	0.75	0.55	0.95	0.63	0.48	0.84	0.02
УПН, седалищный нерв (L) UPN, sciatic nerve (L)	0.74	0.57	0.91	0.69	0.48	0.97	0.36
УПН, большеберцовый нерв (R) UPN, tibial nerve (R)	0.60	0.44	0.73	0.54	0.35	0.80	0.26
УПН, большеберцовый нерв (L) UPN, tibial nerve (L)	0.67	0.48	0.86	0.55	0.44	0.74	0.02
УПН, малоберцовый нерв (R) UPN, peroneal nerve (R)	1.52	1.06	2.26	1.54	0.91	2.27	0.27
УПН, малоберцовый нерв (L) UPN, peroneal nerve (L)	1.37	0.90	2.02	1.32	0.81	1.84	0.12

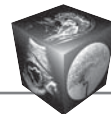
и подростков с СД 1 типа. Для проверки влияния возраста на коэффициент УПН было проведено сравнение в группах детей и подростков разного возраста критерием Манна–Уитни с уровнем значимости $p < 0,05$, результаты представлены в табл. 2.

Полученное отсутствие статистически значимых различий в группах “возраст 7–12 лет” и “воз-

раст 13–17 лет” по коэффициенту УПН позволяет делать вывод, что возраст не оказывает значимого влияния на данный коэффициент.

Для оценки вариабельности коэффициента УПН было проведено сравнение данного параметра в группах с СД 1 типа и контроль (табл. 3).

Результаты сравнения, представленные в табл. 3, демонстрируют статистически значимое



повышение значений коэффициента УПН седалищного и большеберцового нервов в группе с СД 1 типа. Обращают на себя внимание более высокие значения коэффициента УПН практически всех исследуемых нервов в группе пациентов с СД 1 типа.

Обсуждение

Зарегистрированное в исследовании повышение жесткости нервов у детей и подростков с СД 1 типа при увеличении размеров нервов свидетельствует об изменениях, сочетающих дегенеративные изменения аксонов и демиелинизацию, с повышением внутринеурального давления, отеком, развитием ишемии в ответ на хроническую гипергликемию. Наши результаты согласуются с литературными данными [1, 2, 4, 8, 9, 11, 12].

Наличие взаимозависимости между возрастом, ростом, массой тела, размерами нервов (ППС) и ультразвуковым показателем “жесткость” периферических нервов свидетельствует о необходимости учитывать возрастные и антропометрические данные при анализе ультразвуковых показателей периферических нервов. Данный факт значительно затрудняет ультразвуковое динамическое наблюдение пациентов данной группы.

Принимая во внимание сложность совместной интерпретации данных УЗИ нервов, а именно: размер (ППС) и “жесткость”, наличие коэффициента УПН, включающего соотношение этих характеристик, расширит и упростит возможности ультразвуковой оценки изменений периферических нервов в динамике. Полученное отсутствие влияния возраста на показатель УПН открывает перспективу к его использованию в клинической практике при мониторинге изменений периферических нервов у детей и подростков с СД 1 типа.

Зарегистрированное повышение показателя УПН у детей с СД 1 типа при сравнении с контрольной группой является прямым следствием повышения жесткости исследуемых нервов, отражающих каскад изменений структуры нервов в ответ на гипергликемию.

Увеличение выборки исследуемых пациентов, сопоставление данных коэффициента УПН с данными ЭНМГ позволит лучше понять механизм и взаимосвязь повышения жесткости периферических нервов с процессами демиелинизации и аксональными нарушениями. Полученные результаты создают предпосылки к продолжению исследования, изучению возможностей ультразвуковой эластографии, включая использование коэффициента УПН, для клинического мониторинга периферических нервов у детей и подростков с СД 1 типа.

Выводы

1. Периферические нервы у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа характеризуются более высокой “жесткостью”, более высоким уровнем коэффициента “ультразвуковой оценки периферического нерва” при ультразвуковой эластографии.

2. Жесткость периферических нервов увеличивается с возрастом, ростом, массой тела, площадью поперечного сечения нервов у пациентов детского и подросткового возраста с сахарным диабетом 1 типа.

3. Коэффициент “ультразвуковой оценки периферического нерва” можно использовать для динамического наблюдения изменений периферических нервов без учета возраста у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа.

Участие авторов

Фомина С.В. – написание статьи, сбор данных, анализ и интерпретация данных, оформление рукописи.

Самойлова Ю.Г., Завадовская В.Д. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Кошмелева М.В., Трифонова Е.И., Качанов Д.А., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. – сбор данных, поиск литературы, проверка интеллектуального содержания.

Authors' participation

Fomina S.V. – article writing, data collection, data analysis and interpretation, manuscript preparation.

Samoilova Ju.G., Zavadovskaya V.D. – development of the concept and design of the publication, verification of intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Koshmeleva M.V., Trifonova E.I., Kachanov D.A., Zorkaltsev M.A., Yun V.E. – data collection, literature search, intellectual content check.

Список литературы

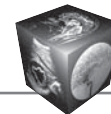
1. Kallinikou D., Soldatou A., Tsentidis C. et al. Diabetic neuropathy in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus: Diagnosis, pathogenesis, and associated genetic markers. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2019; 35 (7): e3178. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3178>
2. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В., Исаков М.А. Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в Российской Федерации: клинко-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021. *Сахарный диабет.* 2021; 24 (3): 204–221. <https://doi.org/10.14341/DM12759>
3. Sloan G., Selvarajah D., Tesfaye S. Pathogenesis, diagnosis and clinical management of diabetic sensorimotor peripheral neuropathy. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2021; 17: 400–420. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00496-z>



4. Borire A.A., Issar T., Kwai N.C. et al. Correlation between markers of peripheral nerve function and structure in type 1 diabetes. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2018; 34 (7): e3028. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3028>.
5. Эластография сдвиговых волн. Анализ клинических примеров (практическое руководство для последипломной профессиональной переподготовки врачей): Учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по специальности 31.08.11 Ультразвуковая диагностика (уровень ординатуры). 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.В. Борсукова. СИМК, 2022. 468 с. ISBN 978-5-91894-102
6. Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кудлай Д.А., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. Ультразвуковая оценка периферических нервов у пациентов с сахарным диабетом типа 1 различной длительности в детском и подростковом возрасте. *Врач.* 2023; 34 (12): 17–24. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-12-04>
7. Zakrzewski J., Zakrzewska K., Pluta K. et al. Ultrasound elastography in the evaluation of peripheral neuropathies: a systematic review of the literature. *Pol. J. Radiol.* 2019; 84: e581–e591. <https://doi.org/10.5114/pjr.2019.91439>
8. Wang C., Wang H., Zhou Y. et al. Evaluation of the clinical value of shear wave elastography for early detection and diagnosis of diabetic peripheral neuropathy: a controlled preliminary prospective clinical study. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022; 23 (1): 1120. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06085-z>
9. Никитин С.С., Муртазина А.Ф., Дружинин Д.С. Блок проведения возбуждения по периферическому нерву как электрофизиологический феномен: обзор литературы. *Нервно-мышечные болезни.* 2019; 9 (1): 12–23. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-1-12-23>
10. Aslan M., Aslan A., Emeksiz H.C. et al. Assessment of Peripheral Nerves With Shear Wave Elastography in Type 1 Diabetic Adolescents Without Diabetic Peripheral Neuropathy. *J. Ultrasound Med.* 2019; 38 (6): 1583–1596. <https://doi.org/10.1002/jum.14848>
11. Данилова М.Г., Салтыкова В.Г., Усенко Е.Е. Нормальная эхографическая картина периферических нервов нижних конечностей у детей. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2018; 2: 59–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2018-2-59-74>
12. Goyal K., Aggarwal P., Gupta M. Ultrasound evaluation of peripheral nerves of the lower limb in diabetic peripheral neuropathy. *Eur. J. Radiol.* 2021; 145: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.110058>
2. Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. et al. Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinical and statistical analysis according to the diabetes mellitus register as of 01/01/2021. *Diabetes mellitus.* 2021; 24 (3): 204–221. <https://doi.org/10.14341/DM12759> (In Russian)
3. Sloan G., Selvarajah D., Tesfaye S. Pathogenesis, diagnosis and clinical management of diabetic sensorimotor peripheral neuropathy. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2021; 17: 400–420. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00496-z>
4. Borire A.A., Issar T., Kwai N.C. et al. Correlation between markers of peripheral nerve function and structure in type 1 diabetes. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2018; 34 (7): e3028. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3028>.
5. Shear wave elastography. Analysis of clinical examples (a practical guide for postgraduate professional retraining of doctors): a textbook for use in the educational process of educational institutions implementing higher education programs in the specialty 08/31/11 Ultrasound diagnostics (residency level). 2nd ed., revised. and additional / Ed. by A.V. Borsukov. СИМК, 2022. 468 p. ISBN 978-5-91894-102 (In Russian)
6. Fomina S.V., Zavadovskaya V.D., Samoilova Yu.G. et al. Ultrasound assessment of peripheral nerves in patients with type 1 diabetes mellitus of varying duration in childhood and adolescence. *Врач.* 2023; 34 (12): 17–24. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-12-04> (In Russian)
7. Zakrzewski J., Zakrzewska K., Pluta K. et al. Ultrasound elastography in the evaluation of peripheral neuropathies: a systematic review of the literature. *Pol. J. Radiol.* 2019; 84: e581–e591. <https://doi.org/10.5114/pjr.2019.91439>
8. Wang C., Wang H., Zhou Y. et al. Evaluation of the clinical value of shear wave elastography for early detection and diagnosis of diabetic peripheral neuropathy: a controlled preliminary prospective clinical study. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022; 23 (1): 1120. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06085-z>
9. Nikitin S.S., Murtazina A.F., Druzhinin D.S. Block of excitation conduction along the peripheral nerve as an electrophysiological phenomenon: review of the literature. *Neuromuscular Diseases.* 2019; 9 (1): 12–23. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-1-12-23>. (In Russian)
10. Aslan M., Aslan A., Emeksiz H.C. et al. Assessment of Peripheral Nerves With Shear Wave Elastography in Type 1 Diabetic Adolescents Without Diabetic Peripheral Neuropathy. *J. Ultrasound Med.* 2019; 38 (6): 1583–1596. <https://doi.org/10.1002/jum.14848>
11. Danilova M.G., Saltykova V.G., Usenko E.E. Normal echographic pattern of the lower extremities peripheral nerves in children. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2018; 2: 59–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2018-2-59-74> (In Russian)
12. Goyal K., Aggarwal P., Gupta M. Ultrasound evaluation of peripheral nerves of the lower limb in diabetic peripheral neuropathy. *Eur. J. Radiol.* 2021; 145: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.110058>

References

1. Kallinikou D., Soldatou A., Tsentidis C. et al. Diabetic neuropathy in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus: Diagnosis, pathogenesis, and associated genetic markers. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2019; 35 (7): e3178. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3178>



Для корреспонденции*: Фомина Светлана Викторовна – e-mail: statfom@mail.ru

Фомина Светлана Викторовна – канд. мед. наук, доцент, заведующая отделением, врач ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>

Завадовская Вера Дмитриевна – доктор мед. наук, профессор, и.о. зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>

Самойлова Юлия Геннадьевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Кошмелева Марина Владиславовна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

Качанов Дмитрий Андреевич – лаборант-исследователь кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Трифоновна Екатерина Ивановна – ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Зоркальцев Максим Александрович – доктор мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>

Юн Вера Эдуардовна – ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-9127-8619>

Contact*: Svetlana V. Fomina – e-mail: statfom@mail.ru

Svetlana V. Fomina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Head of the Department – Doctor of Ultrasound Diagnostics, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>

Vera D. Zavadovskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-6231-7650>

Iuliia G. Samoilova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Marina V. Koshmeleva – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

Dmitriy A. Kachanov – Laboratory researcher at the Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Ekaterina I. Trifonova – Assistant of the department of pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Maxim A. Zorkaltsev – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>

Vera E. Yun – Assistant of the department of pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-9127-8619>



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1462>

Диагностическая визуализация при олигометастатической болезни. Общие вопросы (краткий обзор литературы)

© Нуднов Н.В.^{1, 2, 3*}, Паньшин Г.А.¹

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

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

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

Введение. Визуализация олигометастатической болезни является сложной диагностической задачей, поскольку требуется определение точной локорегионарной стадии онкологического заболевания и оценки состояния всего тела пациента в плане возможного выявления полиметастатического состояния в виде обнаружения диссеминированных метастазов. Учитывая данное обстоятельство, довольно часто требуется сочетание методов визуализации.

Цель исследования: проанализировать возможности современных методов диагностической визуализации при олигометастатической болезни и определить дальнейшие направления их развития.

Заключение. Диагностическая визуализация крайне важна при реализации стандартных методов современного противоопухолевого лечения (оценка ответа на проведенное специальное лечение солидных опухолей с помощью компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии и сцинтиграфии костей), а также расширенных методов визуализации (функциональных, метаболических и радионуклидное таргетирование) для выявления и динамического наблюдения за пациентами с олигометастатической болезнью.

Ключевые слова: олигометастатическая болезнь; диагностическая визуализация; будущие направления развития

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Нуднов Н.В., Паньшин Г.А. Диагностическая визуализация при олигометастатической болезни. Общие вопросы (краткий обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 142–153. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1462>

Поступила в редакцию: 06.03.2024. **Принята к печати:** 25.09.2024. **Опубликована online:** 5.11.2024.

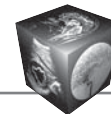
Diagnostic imaging for oligo metastatic disease. General questions (a brief review of the literature)

© Nikolay V. Nudnov^{1, 2, 3*}, Georgy A. Panshin¹

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

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

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



Brief Summary. Visualization of oligometastatic disease (OMD) is a complex diagnostic task, since it requires determining the exact loco-regional stage of cancer and assessing the condition of the patient's entire body in terms of possible detection of polymetastatic condition in the form of detection of disseminated metastases. Given this circumstance, quite often a combination of visualization methods is required.

Purpose of the study: to analyze the possibilities of modern diagnostic imaging methods for oligo metastatic disease and determine the further directions of their development.

Conclusion. Diagnostic imaging is extremely important in the implementation of standard methods of modern antitumor treatment (assessment of the response to special treatment of solid tumors using computed tomography, magnetic resonance imaging and bone scintigraphy), as well as advanced imaging methods (functional, metabolic and radionuclide targeting) to identify and dynamically monitor patients with oligometastatic disease.

Keywords: oligometastatic disease; diagnostic imaging; future directions of development

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

For citation: Nudnov N.V., Panshin G.A. Diagnostic imaging for oligo metastatic disease. General questions (a brief review of the literature). *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 142–153. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1462>

Received: 06.03.2024.

Accepted for publication: 25.09.2024.

Published online: 5.11.2024.

Введение

Визуализация является краеугольным камнем точной идентификации олигометастатической болезни (ОМБ). При этом достижения в области визуализации способствовали лучшему распознаванию этой подгруппы пациентов, у которых все еще возможно проведение специального противоопухолевого лечения [1, 2], включающего, в том числе, и периоды активного динамического наблюдения на фоне и реализации местной аблятивной терапии в дополнение к традиционному применению стандартной системной противораковой терапии [3, 4].

Следует подчеркнуть, что в настоящее время отсутствует общепринятое определение ОМБ, хотя признание того, что одиночные или “несколько” метастазов представляют собой лучшую прогностическую группу, чем если метастазы многочисленны и широко распространены, привело, в свое время, к определению ОМБ. При этом впервые в 1995 г. S. Hellman и R.R. Weichselbaum предложили концепцию ОМБ с ограниченным числом метастазов злокачественной опухоли, которая, по их мнению, представляет собой промежуточную стадию опухолевого процесса между местнорегионарно распространенным и полиметастатическим заболеванием и все еще поддается проведению специального лечения [5].

Вместе с тем до недавнего времени все еще не было сформировано единого мнения относительно окончательного определения ОМБ, хотя большинство протоколов клинических испытаний и сами клиницисты принимали это определение при наличии от одного до пяти метастатических очагов [6, 7].

Учитывая это обстоятельство, группа международных экспертов, представляющих Европейскую организацию по исследованию и лечению рака

(EORTC) и Европейское общество лучевой терапии и онкологии (ESTRO), опубликовала в 2020 г. консенсусные рекомендации по классификации и номенклатуре олигометастатических заболеваний, которая определяла четыре основных состояния ОМБ [8].

При этом термин “олигометастаз *de novo*” относится к первично диагностированному раку с несколькими метастазами, выявляемыми одновременно с обнаруживаемой первичной опухолью. Олигорецидив регистрируется у пациентов, которые уже лечились от метастатического заболевания и у которых выявляются специфические опухолевые очаги в нескольких новых анатомических областях. Олигопрогрессия относится к пациентам, у которых опухолевый процесс контролируется системной противоопухолевой терапией, но метастатический процесс все-таки прогрессирует в нескольких метастатических очагах, тогда как олигоперсистенция относится к пациентам, которые реагируют на системное противоопухолевое лечение, но все еще имеют несколько не прогрессирующих метастатических очагов.

Учитывая отсутствие на сегодняшний день специфических биомаркеров при ОМБ, ее статус в настоящее время определяется на основе различных клинических данных, но, в первую очередь, результатов диагностической визуализации.

Следует подчеркнуть, что в клинической практике необходимо принимать к сведению и тот факт, что именно время диагностики ОМБ может весьма значимо влиять на дальнейшее адекватное клиническое ведение пациентов, в том числе и на результаты проведенного специального лечения, поскольку ОМБ может возникать как уже непосредственно при первичной постановке диагноза (синхронно) или развиваться уже после проведенного специального лечения первичной



опухоли (т.е. в виде метакронного или олигосинхронного метастатического заболевания). При этом, например, опухолевые маркеры и патологические типовые особенности первичной опухоли часто предполагают необходимость проведения более обширных визуализирующих диагностических исследований.

В целом, несмотря на то что многочисленные инновации, достижения и разработки в области диагностической визуализации улучшили в настоящее время способность идентифицировать ОМБ, в современных стандартных методах проведения визуализации остаются существенные проблемы и ограничения. При этом эффективность того или иного способа визуализации при обнаружении ОМБ зависит от присущих ему сильных сторон и ограничений, связанных, в первую очередь, с анатомической локализацией первичного опухолевого очага и метастазов, а также природы опухолевого процесса и потенциальных возможностей самого применяемого диагностического метода. При этом национальные и международные общества и экспертные группы предоставили рекомендации по выбору времени визуализации для установления метастатического состояния каждого злокачественного новообразования, но подробное обсуждение этих рекомендаций выходит за рамки данной статьи, в которой мы стремимся предоставить обзор основных подходов к диагностической визуализации именно ОМБ, уделяя особое внимание сильным и слабым сторонам современных доступных методов визуализации, и конкретным соображениям по обнаружению метастазов в различных системах и органах, а также выбору метода диагностической визуализации в зависимости от локализации первичного опухолевого очага.

Основная часть

Методы диагностической визуализации

До тех пор пока диагностика ОМБ будет основана только на тяжести заболевания, количестве метастазов и вовлеченных органов, а не на биологии опухолевого роста, инструменты диагностической визуализации будут краеугольным камнем исследований и ведения ОМБ [9, 10].

В целом в клинической практике наиболее частыми местами метастазирования различных типов злокачественных опухолей являются легкие, печень, головной мозг, лимфатические узлы и скелет. При этом первые 3 анатомических региона требуют проведения специальной методики диагностической визуализации (КТ грудной клетки для диагностики метастазов в легких, КТ брюшной полости для диагностики метастазов в печень и МРТ



Рис. 1. Лимфогенные метастазы легких на компьютерной томограмме выглядят как множественные мелкие диссеминированные очаги, расположенные вдоль междольковых перегородок и плевры.

Fig. 1. Lymphogenic lung metastases on a CT scan look like multiple small disseminated foci located along the interlobular septa and pleura.

для диагностики метастазов в головной мозг). Последние же два лучше оцениваются при визуализации всего тела. При этом для диагностики всех потенциальных метастатических очагов часто используется комбинация диагностических методов, включающая диагностическую визуализацию всего тела. При этом рекомендации по прицельной диагностической визуализации для каждого типа злокачественной опухоли весьма важны для стандартизации и адекватного ведения пациентов с ОМБ. В этом плане более подробно познакомиться со стратегией и техническими проблемами визуализации при ОМБ можно в Рекомендациях группы визуализации Европейской организации по исследованию и лечению рака [11].

Компьютерная томография

КТ является наиболее часто используемым методом визуализации для определения стадии заболевания и наблюдения за метастатическими очагами, поскольку он широко доступен и обеспечивает быстрое получение изображений, а также высокое пространственное разрешение и многопланарную реконструкцию полученных изображений. При этом КТ, возможно, является методом с самой высокой чувствительностью, в частности для обнаружения узлов и метастазов в легких (рис. 1).

Однако дифференциация субсантиметровых метастазов в легкие от доброкачественных (инфекционных/воспалительных) узлов остается весьма сложной задачей, особенно в регионах мира с

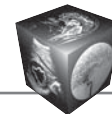


Рис. 2. Метастазы в кости позвоночника на компьютерной томограмме.

Fig. 2. Metastases in the bones of the spine on a CT scan.

высокой распространенностью гранулематозных и других форм инфекций, вызывающих образование легочных узелков. В то же время обнаружение метастазов в солидных органах (например, в печени) требует внутривенного введения йодсодержащего контраста и часто многофазной визуализации брюшной полости при определенных типах злокачественных опухолей [12–16]. И хотя метод КТ весьма эффективен при склеротических костных метастазах [17, 18] (рис. 2), он отличается достаточно низкой чувствительностью при обнаружении остеопластических костных поражений при целом ряде злокачественных опухолей, что особенно важно при установлении ОМБ [19]. Другие недостатки и ограничения КТ включают использование ионизирующего излучения (т.е. нежелательно применение метода у детей и молодых людей) и частую необходимость использования йодсодержащего контраста, который, в частности, потенциально нефротоксичен у пациентов с хронической болезнью почек. Кроме того, без контраста чувствительность КТ ограничена из-за плохого контрастирования мягких тканей брюшной полости и таза. Тем не менее, поскольку одной из основных ролей диагностической визуализации при обследовании потенциально олигометастатического пациента является оценка полной картины наличия возможных метастатических очагов, КТ с контрастированием по-прежнему широко используется в качестве метода первоначальной визуализации опухолевого процесса. В этом контексте торако-абдомино-тазовая КТ с контрастным усилением (КТКУ) является быстрым, доступным и широко используемым в клинической практике методом визуализации ОМБ (рис. 3).

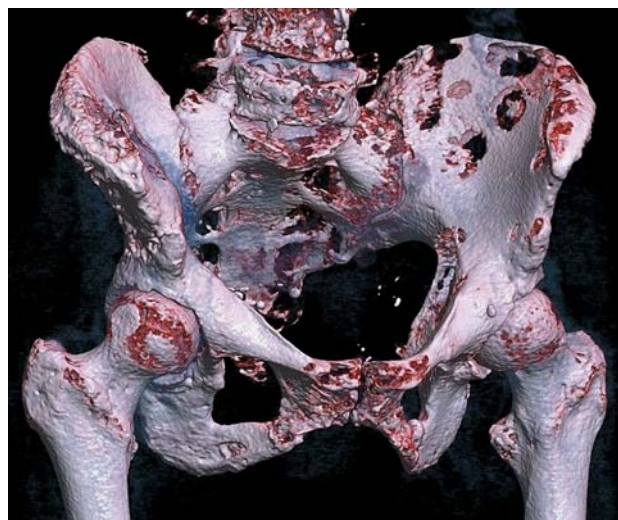


Рис. 3. 3D-визуализированная компьютерная томография костных метастазов в тазовой кости.

Fig. 3. 3D-visualized computed tomography of bone metastases in the pelvic bone.

Однако его эффективность для диагностики, в частности, метастатических лимфатических узлов и поражений костей достаточно ограничена (чувствительность 57% при оценке лимфатических узлов и 72% при костных метастазах) [20, 21]. Более того, его чувствительность также весьма ограничена при диагностике опухолей таза. Таким образом, КТКУ не эффективна при выявлении опухолей половых органов, для которых предпочтение отдается МРТ и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Кроме того, применение КТКУ также ограничено нефротоксичностью йодсодержащих контрастных веществ и радиационным воздействием.

Магнитно-резонансная томография

В то же время МРТ обеспечивает гораздо более достоверную характеристику мягких тканей, чем другие методы визуализации, не использует ионизирующее излучение, а контрастные вещества на основе гадолиния имеют отличный профиль безопасности [22, 23]. При этом такая последовательность МРТ, как диффузионно-взвешенная визуализация, оптимизирует контраст между опухолевой и нормальной тканью, улучшая обнаружение специфических поражений, которые потенциально не могут быть легко выявляемы при других методах диагностических исследований [24]. И хотя более длительное время сканирования является определенным недостатком МРТ, достижения в области получения изображений с помощью сверхбыстрых методов и постобработки изображений постепенно сокращают время сканирования [25].

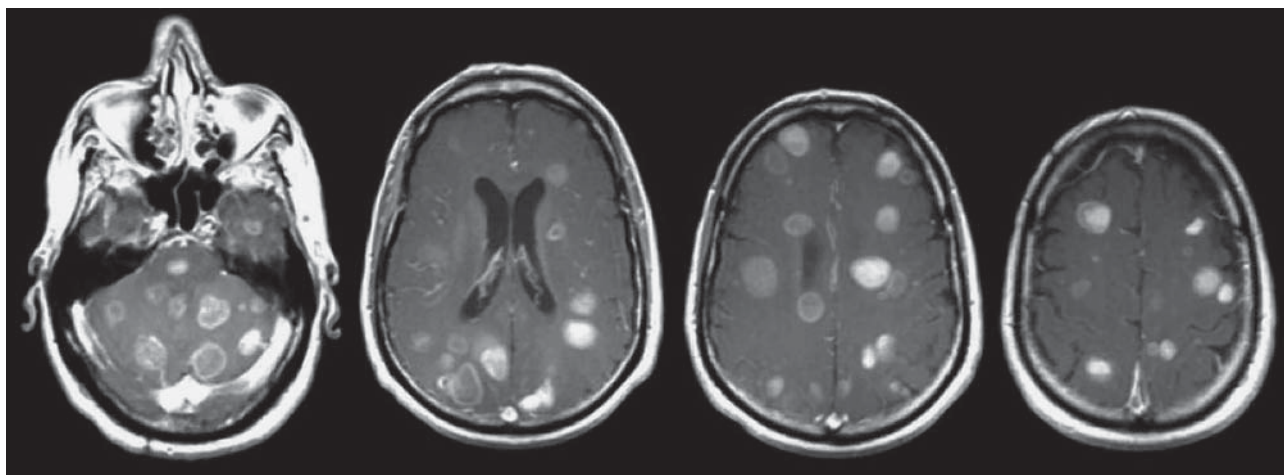


Рис. 4. МРТ-диагностика метастазов в головной мозг.

Fig. 4. MRI diagnosis of brain metastases.



Рис. 5. МРТ-диагностика метастазов в головной мозг с контрастным усилением.

Fig. 5. MRI diagnosis of brain metastases with contrast enhancement.

Однако следует подчеркнуть, что МРТ все же достаточно плохо справляется с обнаружением метастатических узлов в легких, тогда как КТ остается при этом в целом лучшим диагностическим методом. В то же время МРТ исключительно эффективна для оценки результатов проведенного специального противоопухолевого лечения при метастатическом поражении печени, костного скелета и центральной нервной системы.

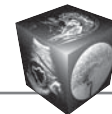
В целом МРТ обеспечивает высокую чувствительность при обнаружении метастатических поражений благодаря высокому контрасту мягких тканей и используется для определения местной стадии опухолевого процесса, особенно для оценки инвазии в соседние органы. Она также рекомендуется при рутинном клиническом обследовании больных раком половых органов, прямой кишки, головы и шеи, молочной железы и является

предпочтительным методом диагностической визуализации для оценки метастазов в головной мозг (рис. 4, 5), а также показана в случае метастазов в костях, затрагивающих позвоночник на предмет его возможной потенциальной компрессии [26, 27].

МРТ также используется для оценки поражения местных лимфатических узлов. Однако общее правило 10 мм по короткой оси не является точным для оценки состояния местных лимфатических узлов, поскольку ему не хватает специфичности, особенно при диффузионно-взвешенной визуализации [28, 29]. Применение МРТ лимитировано также относительно ограниченной доступностью и продолжительностью времени, необходимого для обследования, которое некоторые пациенты могут плохо переносить. В целом в настоящее время зарегистрированная чувствительность МРТ колеблется от 84 до 95%, а специфичность от 87 до 95%. При этом использование МРТ всего тела в настоящее время все еще ограничено доступностью, но постепенно она включается в клинические рекомендации как метод, который следует рассматривать в диагностическом плане, когда это возможно.

Метаболическая и рецептор-специфическая диагностическая визуализация

Эти методы включают сцинтиграфию костей и ПЭТ/КТ. В контексте ОМД эти очень чувствительные методы часто необходимы для исключения так называемых скрытых метастазов. При этом сцинтиграфия костей является чувствительным методом выявления поражений костей, поскольку



она основана на поиске в кости радиофармацевтических препаратов, которые накапливаются в ремоделирующейся кости (рис. 6).

В настоящее время он широко используется для определения стадии заболевания и оценки ответа на проводимое специальное лечение у пациентов с раком предстательной железы среднего и высокого риска прогрессирования основного заболевания, поскольку известно, что сцинтиграфия костей весьма чувствительна к обнаружению остеобластических поражений [30].

Следует подчеркнуть, что ПЭТ/КТ можно проводить с применением различных радиофармпрепаратов. При этом наиболее широко используемым ПЭТ-радиофармпрепаратом является фторированный аналог глюкозы ^{18}F -фтордезоксиглюкоза (^{18}F -ФДГ), который накапливается в очагах поражения с высокой метаболической активностью (рис. 7).

К тому же ПЭТ/КТ позволяет проводить функциональную визуализацию всего тела (рис. 8), что очень важно для оценки состояния, в частности, лимфатических узлов (рис. 9) и отдаленных метастазов.

Кроме того, ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в значительной степени заменила сцинтиграфию костей для определения стадии рака молочной железы и легких (рис. 10), поскольку она более чувствительна к литическим поражениям и дает дополнительную информацию о поражении других органов [31].

В то же время широкое использование ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ несколько ограничено из-за его высокой стоимости, ограниченной доступности, радиа-

онного воздействия и ограниченного пространственного разрешения для специфических поражений размером менее 1 см. Чувствительность этого метода зависит от типа опухоли и локализации метастазов. Например, ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ является рекомендуемым методом визуализации для обследования пациентов с меланомой и раком головы и шеи, хотя он не имеет большого значения при обследовании пациентов со светлоклеточным раком почки, например, из-за его низкой метаболической активности.

Следует отметить, что ПЭТ-специфическая визуализация рецепторов играет все большую роль в проведении адекватного противоопухолевого лечения некоторых злокачественных опухолей, таких, например, как рак предстательной железы (рис. 11) с визуализацией простатспецифического мембранного антигена – PSMA или нейроэндокринные опухоли (с визуализацией соматостатинных рецепторов).

При этом в этих опухолях ПЭТ-специфическая визуализация рецепторов становится стандартом лечения для оценки распространения опухолевого заболевания из-за ее очень высокой чувствительности и специфичности. В то же время его использование в основном ограничено высокой стоимостью, радиационным воздействием и пока еще ограниченной доступностью. Кроме того, отсутствие целевой экспрессии рецептора опухолью может, в ряде случаев привести к ложноотрицательным результатам.

В целом несомненным является тот факт, что ПЭТ произвела революцию в диагностической

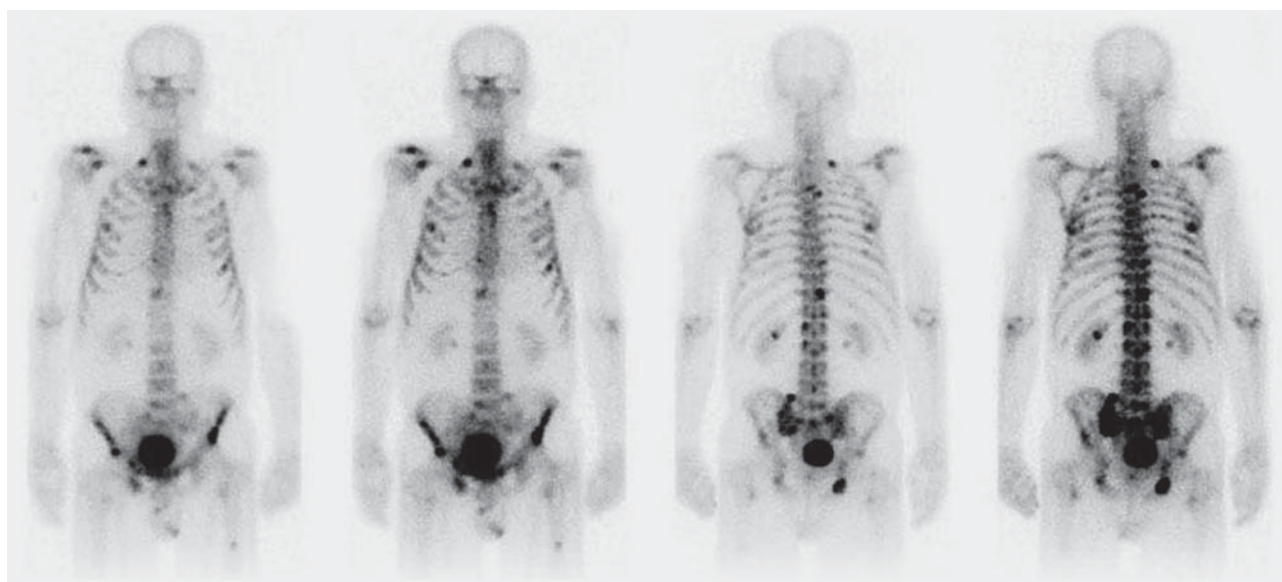


Рис. 6. Костные метастазы при раке простаты.

Fig. 6. Bone metastases in prostate cancer.

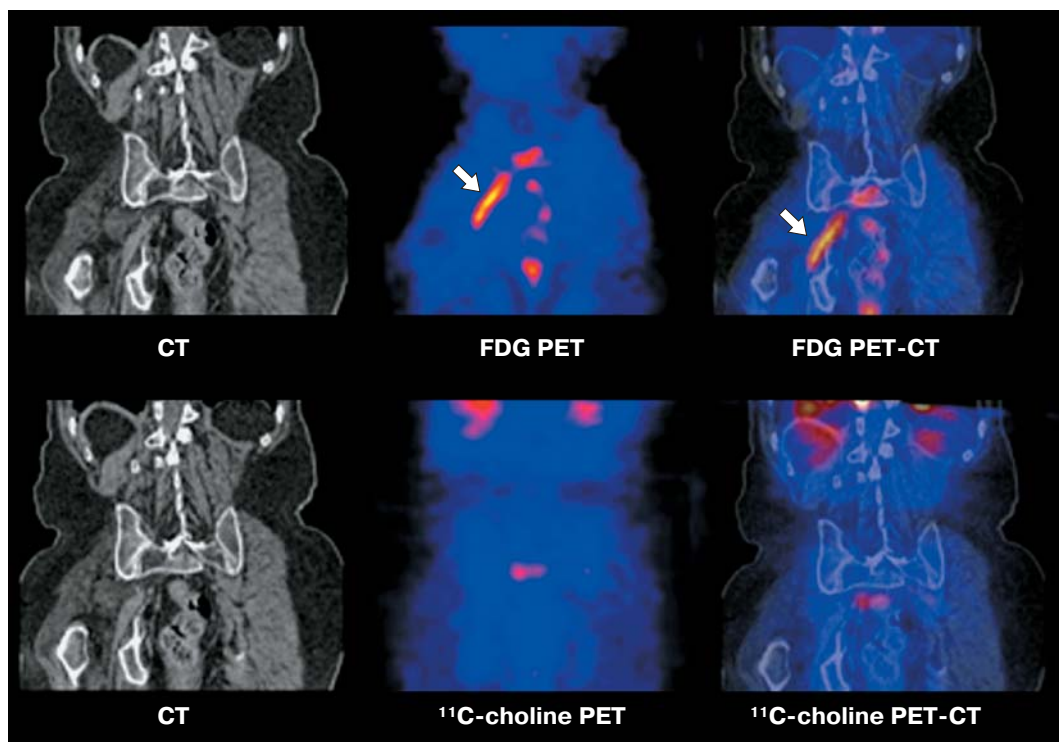


Рис. 7. ПЭТ/КТ-картина метаболически активных очагов.

Fig. 7. PET/CT picture of metabolically active foci.



Рис. 8. ПЭТ/КТ всего тела.

Fig. 8. PET/CT scan of the whole body.

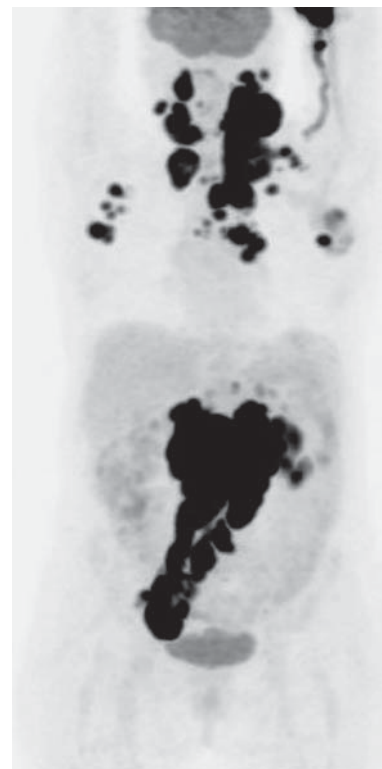


Рис. 9. Патологические очаги при лимфоме.

Fig. 9. Pathological foci in lymphoma.

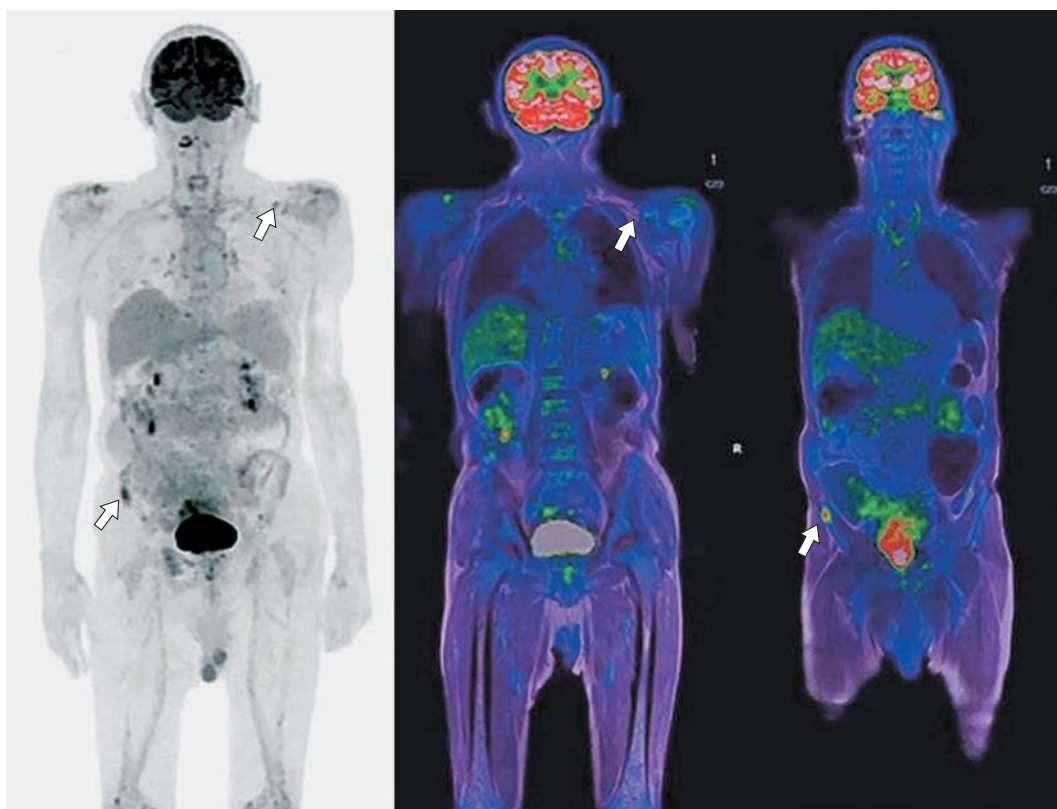
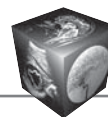


Рис. 10. Сцинтиграфия и ПЭТ/КТ-исследование костей.
Fig. 10. Scintigraphy and PET/CT examination of bones.

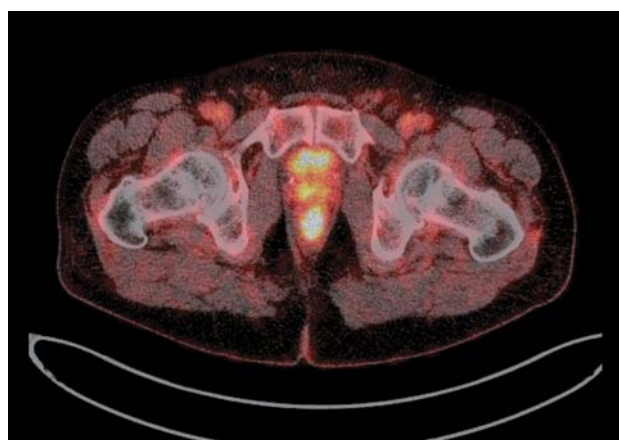
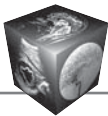


Рис. 11. Поражение предстательной железы при ПЭТ/КТ-исследовании.
Fig. 11. Prostate lesion in PET/CT examination.



визуализации злокачественных опухолей. При этом следует также отметить и то, что ПЭТ почти всегда сочетается с КТ или, реже, с МРТ в форме гибридного сканера ПЭТ/КТ или ПЭТ/МРТ, что позволяет проводить многопараметрическую оценку характеристик опухоли и ее реакции на проведенное специальное лечение (например, поглощение радиофармпрепарата опухолью, усиление, размер и т.д.). Учитывая практически безграничные возможности для разработки радиофармпрепаратов для ПЭТ-исследований, о чем свидетельствует растущее число этих агентов, данный гибридный подход к процедуре диагностической визуализации идеально подходит для обнаружения и определения стадии злокачественного процесса и, следовательно, для наиболее реального установления ОМБ.

Однако в то же время существуют и определенные ограничения, связанные с ПЭТ. Чувствительность обнаружения метастатического опухолевого очага, особенно в условиях наличия ОМБ, зависит как от его размера, так и от его биологической характеристики. При этом небольшие метастатические очаги часто не могут накопить достаточно радиофармпрепарата, чтобы его поглощение было заметно выше фонового. Кроме того, воспалительные процессы, которые также часто выявляются при ПЭТ, могут затруднить оценку ответа на проведенное специальное лечение в условиях синхронного ОМБ или при обнаружении развивающейся метастатической ОМБ непосредственно в анатомической области, уже ранее подвергавшейся облучению.

Будущие направления развития диагностических визуализационных методов

В плане будущих направлений в развитии визуализационных методов диагностики ОМБ наиболее реальной представляется разработка новых радиофармпрепаратов для онкологической диагностической визуализации [32]. При этом:

1. Для обнаружения поражений костей ПЭТ/КТ с ^{18}F -NaF является высокочувствительным индикатором для обнаружения скелетных аномалий, поскольку он имеет механизм поглощения, аналогичный дифосфонатам $^{99\text{m}}\text{Tc}$, с более быстрым выведением фоновой активности мягких тканей и превосходным пространственным распределением [33]. Хотя ПЭТ/КТ с ^{18}F -NaF является очень чувствительным методом, он все-таки остается неспецифичным. Еще одним ограничением является то, что этот довольно дорогостоящий метод позволяет выявить метастазы только в костях и не позволяет обнаружить метастазы в лимфатиче-

ских узлах или висцеральные метастазы, поэтому его использование до настоящего времени пока не получило широкого распространения в клинической практике.

2. ^{68}Ga -конъюгированный ингибитор белка активации фибробластов (^{68}Ga -FAP) ПЭТ/КТ представляет особый интерес, поскольку позволяет визуализировать ассоциированные с раком фибробласты (CAF) с высокой экспрессией FAP. FAP сверхэкспрессируется в широком спектре опухолей, некоторые из них имеют низкую avidность к ^{18}F -ФДГ (т.е. саркома). Поскольку FAP является потенциальной мишенью для лечения рака, ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -FAP является многообещающим инструментом не только для определения стадии, но и потенциальных методов лечения, нацеленных на FAP [34].

3. ^{18}F -флуцикловин – синтетическая аминокислота. Повышение регуляции трансмембранного транспорта аминокислот происходит в различных типах раковых клеток, например при раке простаты и молочной железы. ^{18}F -флуцикловин изучался при рецидиве рака простаты, хотя он менее точен, чем ПЭТ/КТ PSMA [35].

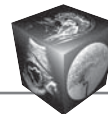
При раке молочной железы ПЭТ/КТ с ^{18}F -флуцикловин кажется многообещающим методом, хотя необходимы дальнейшие исследования в этом направлении [36].

4. Опухолевой ангиогенез играет важную роль в росте опухоли и развитии метастазов. Нацеливание радиоактивного индикатора на интегрин $\alpha\text{v}\beta3$ (^{68}Ga NODAGA-RGD) позволяет визуализировать опухолевый ангиогенез, что может привести к получению дополнительной информации о биологии опухоли, которая потенциально полезна для принятия решений о проведении специального лечения [37].

5. Недавно был разработан новый индикатор, нацеленный на CD^{8+} -лейкоциты онкологических больных. Этот радиофармпрепарат является многообещающим инструментом для прогнозирования раннего ответа на иммунотерапию [38].

6. Рецептор фолиевой кислоты сверхэкспрессируется при некоторых эпителиальных раках, таких как рак яичников, эндометрия, почек, молочной железы, легких, толстой кишки и простаты. Рецептор фолата стал многообещающей мишенью для лечения рака, и поэтому визуализация сверхэкспрессии рецепторов фолата в раковых клетках может помочь в выборе лечения [39, 40].

Недавно ПЭТ-индикатор рецептора фолиевой кислоты был впервые использован у пациентов с раком легких, и перспективы на будущее кажутся весьма обнадеживающими [41].



В целом будущее диагностической визуализации не ограничивается именно этим одним методом (разработка новых радиофармпрепаратов). Скорее всего, будущее заключается в интеграции нескольких методов визуализации для обеспечения целостного представления о состоянии олигометастатического пациента. При этом объединение данных из различных источников, таких как МРТ, КТ, ПЭТ и функциональная МРТ, дает в сумме всестороннее понимание структурных и функциональных аспектов организма при ОМБ.

Обсуждение

По мере того как в настоящее время страны улучшают результаты лечения инфекционных и сердечно-сосудистых заболеваний, рак, являющийся одним из основных неинфекционных заболеваний, продолжает становиться серьезной глобальной проблемой всемирного здравоохранения. По статистическим оценкам, в 2018 г. рак стал причиной 9,6 млн смертей, что сделало его второй ведущей причиной смерти в мире [42].

Если не принять определенные меры, то масштабы данной проблемы будут только увеличиваться и по экспертным анализам Международного агентства по изучению рака (IARC) в 2040 г. во всем мире уровень заболеваемости раком увеличится на 47% и будет зарегистрировано уже 27,5 млн новых случаев заболевания, в том числе 16,3 млн смертей от его прогрессирования [43]. При этом большинство смертей, связанных с раком, произойдет в результате прямого метастазирования злокачественных опухолей. Вместе с тем на сегодняшний день появляется новая доказательная база, позволяющая предположить, что подгруппа пациентов с метастатическими поражениями получает значительную пользу от местной резекции (хирургии) или абляции (дистанционное стереотаксическое абляционное облучение тела) непосредственно метастатических очагов. При этом эти пациенты находятся в так называемом олигометастатическом состоянии, т.е. в своего рода переходном окне между локальным и диссеминированным заболеванием, где местно-аблятивная терапия, направленная на очаги метастазирования, продлевает безрецидивную выживаемость больных и улучшает общую выживаемость, а иногда приводит к излечению. Соответствующий отбор тех, кто соответствует этому олигометастатическому фенотипу, при одновременной интеграции достижений в абляционных технологиях с современными системными методами специального противоопухолевого лечения является развивающейся задачей для клинической онкологии.

Заключение

Визуализация играет ключевую роль в дифференциации ОМБ от полиметастатического заболевания (ПМЗ) с наличием диссеминированных метастатических очагов и, следовательно, в выборе пациентов, которым потенциально может помочь радикальное лечение. Рентгенорадиологи должны знать об этом промежуточном состоянии между локальным распространением опухоли и ПМЗ, чтобы помочь клиницистам в диагностике и определении реальной стадии ОМБ. Адекватный метод визуализации для диагностики, определения стадии и последующего динамического наблюдения будет различаться в зависимости от типа опухоли, периода между временем диагностики и проведенным лечением, а также от местоположения метастазов и индивидуального риска метастазирования у пациента с определенным типом опухолевого процесса.

В целом визуализация ОМБ требует сочетания именно целенаправленной визуализации для точного локорегионарного определения очагов метастазирования, а также и общей оценки состояния всего тела в плане обнаружения возможных отдаленных метастазов. С этой целью мультимодальная визуализация часто имеет решающее значение для реальной конечной оценки степени распространенности опухолевого процесса и анатомического определения (локализации) метастатических очагов у онкологических больных с потенциальным риском развития метастатического заболевания.

Участие авторов

Нуднов Н.В. – концепция и дизайн исследования, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Паньшин Г.А. – сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Nudnov N.V. – concept and design of the study, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Panshin G.A. – collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

1. Паньшин Г.А. Роль дистанционной стереотаксической абляционной радиотерапии тела при олигометастатической болезни (общие вопросы). *Вопросы онкологии*. 2023; 69 (4): 599–604. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2023-69-4-599-604>



- Panshin G.A. The Role of Remote Stereotactic Body Radiation Therapy in Oligometastatic Disease (General Issues). *Voprosy Onkologii*. 2023; 69 (4): 599–604. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2023-69-4-599-604> (In Russian)
2. Джабаров Ф.Р., Альникин А.Б., Толмачев В.Г. Олигометастатический рак предстательной железы: диагностика и предварительные результаты лучевого лечения. *Вестник урологии*. 2020; 8 (2): 55–66. <https://doi.org/10.21886/2308-6424-2020-8-2-55-66> Dzhabarov F.R., Alnikin A.B., Tolmachev V.G. Oligometastatic prostate cancer: diagnosis and preliminary results of radiation therapy. *Urology Herald*. 2020; 8 (2): 55–66. <https://doi.org/10.21886/2308-6424-2020-8-2-55-66> (In Russian)
 3. Salama J.K., Hasselle M.D., Chmura S.J. et al. Stereotactic body radiotherapy for multisite extracranial oligometastases. *Cancer*. 2012; 118: 2962–2970. <https://doi.org/10.1002/cncr.26611>
 4. Rini B.I., Dorff T.B., Elson P. et al. Active surveillance in metastatic renal cell carcinoma: A prospective, phase 2 trial. *Lancet Oncol*. 2016; 17: 1317–1324. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(16\)30196-6](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(16)30196-6)
 5. Hellman S., Weichselbaum R.R. Oligometastases. *J. Clin. Oncol. Off. J. Am. Soc. Clin. Oncol*. 1995; 13: 8–10. <https://doi.org/10.1200/JCO.1995.13.1.8>
 6. De Ruysscher D., Wanders R., van Baardwijk A. et al. Radical treatment of non-small-cell lung cancer patients with synchronous oligometastases: long-term results of a prospective phase II trial (Nct01282450). *J. Thorac. Oncol*. 2012; 7 (10): 1547–1555. <https://doi.org/10.1097/JTO.0b013e318262caf6>
 7. Andrews D.W., Scott C.B., Sperduto P.W. et al. Whole brain radiation therapy with or without stereotactic radiosurgery boost for patients with one to three brain metastases: phase III results of the RTOG 9508 randomised trial. *Lancet*. 2004; 363 (9422): 1665–1672. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16250-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16250-8)
 8. Guckenberger M., Lievens Y., Bouma A.B. et al. Characterisation and classification of oligometastatic disease: a European Society for Radiotherapy and Oncology and European Organisation for Research and Treatment of Cancer consensus recommendation. *Lancet Oncol*. 2020; 21 (1): e18–e28. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30718-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30718-1)
 9. Алексеев Б.Я., Нюшко К.М., Крашенинников А.А., Сафронова Е.Ю., Сергиенко С.А., Калпинский А.С., Воробьев Н.В., Каприн А.Д. Методы диагностики и лечения олигометастазов у больных раком предстательной железы с прогрессированием заболевания после проведенного радикального лечения. *Онкоурология*. 2016; 12 (2): 64–73. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2016-12-2-64-73> Alekseev B.Ya., Nyushko K.M., Krashenninnikov A.A. et al. Methods for the diagnosis and treatment of oligometastases in patients with prostate cancer and progressive disease after radical treatment. *Cancer Urology*. 2016; 12 (2): 64–73. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2016-12-2-64-73> (In Russian)
 10. Гомболевский В.А., Харламов К.А., Масри А.Г., Ким С.Ю., Морозов С.П. Общие рекомендации по описанию первичных и повторных КТ, МРТ, рентгенологических исследований / Серия “Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики”. Вып. 2. М., 2017. 20 с.
 - Gombolevisky V.A., Kharlamov K.A., Masri A.G. et al. General recommendations for the description of primary and repeated CT, MRI, and X-ray studies / Series “Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics”. Issue 2. Moscow, 2027. 20 p. (In Russian)
 11. deSouza N.M., Liu Y., Chiti A. et al. Strategies and technical challenges for imaging oligometastatic disease: Recommendations from the European Organisation for Research and Treatment of Cancer imaging group. *Eur. J. Cancer*. 2018; 91: 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2017.12.012>
 12. Ruf J., Schiefer J., Furth C. et al. ⁶⁸Ga-DOTATOC PET/CT of neuroendocrine tumors: Spotlight on the CT phases of a triple-phase protocol. *J. Nucl. Med*. 2011; 52: 697–704. <https://doi.org/10.2967/jnumed.110.083741>
 13. Park H.J., Kim H.J., Kim K.W. et al. Comparison between neuroendocrine carcinomas and well-differentiated neuroendocrine tumors of the pancreas using dynamic enhanced CT. *Eur. Radiol*. 2020; 30: 4772–4782. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06867-w>
 14. Howe J.R., Cardona K., Fraker D.L. et al. The surgical management of small bowel neuroendocrine tumors: Consensus guidelines of the North American neuroendocrine tumor society. *Pancreas*. 2017; 46: 715–731. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000000846>
 15. Sundin A. Radiological and nuclear medicine imaging of gastroenteropancreatic neuroendocrine tumours. *Best Pract. Res. Clin. Gastroenterol*. 2012; 26: 803–818. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2012.12.004>
 16. Raptopoulos V.D., Blake S.P., Weisinger K. Multiphase contrast-enhanced helical CT of liver metastases from renal cell carcinoma. *Eur. Radiol*. 2001; 11: 2504–2509. <https://doi.org/10.1007/s003300100853>
 17. O’Sullivan G.J., Carty F.L., Cronin C.G. Imaging of bone metastasis: An update. *Wld J. Radiol*. 2015; 7: 202–211. <https://doi.org/10.4329/wjrv.7.i8.202>
 18. Talbot J.N., Paycha F., Balogova S. Diagnosis of bone metastasis: Recent comparative studies of imaging modalities. *Q. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2011; 55: 374–410. PMID: 21738113
 19. Yang H.-L., Liu T., Wang X.-M. Diagnosis of bone metastases: A metaanalysis comparing 18FDG PET, CT, MRI and bone scintigraphy. *Eur. Radiol*. 2011; 21: 2604–2617. <https://doi.org/10.1007/s00330-011-2221-4>
 20. O’Sullivan G.J., Carty F.L., Cronin C.G. Imaging of bone metastasis: An update. *Wld J. Radiol*. 2015; 7 (8): 202–211. <https://doi.org/10.4329/wjrv.7.i8.202>
 21. Liu B., Gao S., Li S. A Comprehensive Comparison of CT, MRI, Positron Emission Tomography or Positron Emission Tomography/CT, and Diffusion Weighted Imaging-MRI for Detecting the Lymph Nodes Metastases in Patients with Cervical Cancer: A Meta-Analysis Based on 67 Studies. *Gynecol. Obstet. Invest*. 2017; 82 (3): 209–222. <https://doi.org/10.1159/000456006>
 22. Ramalho J., Semelka R.C., Ramalho M. Gadolinium-based contrast agent accumulation and toxicity: An update. *Am. J. Neuroradiol*. 2016; 37: 1192–1198. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A4615>
 23. McDonald R.J., Levine D., Weinreb J. et al. Gadolinium retention: A research roadmap from the 2018 NIH/ACR/RSNA workshop on gadolinium chelates. *Radiology*. 2018; 289: 517–534.
 24. Padhani A.R., Liu G., Koh D.M. et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging as a cancer biomarker: Consensus and recommendations. *Neoplasia*. 2009; 11: 102–125. <https://doi.org/10.1593/neo.81328>



25. Tsao J. Ultrafast imaging: principles, pitfalls, solutions, and applications. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2010; 32: 252–266. <https://doi.org/10.1002/jmri.22239>
26. Expert Panel on Radiation Oncology-Brain Metastases / Lo S.S., Gore E.M., Bradley J.D., Buatti J.M. et al. ACR Appropriateness Criteria® pre-irradiation evaluation and management of brain metastases. *J. Palliat. Med.* 2014; 17 (8): 880–886. <https://doi.org/10.1089/jpm.2014.9417>
27. Morrow M., Waters J., Morris E. MRI for breast cancer screening, diagnosis, and treatment. *Lancet*. 2011; 378 (9805): 1804–1811. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)61350-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61350-0)
28. Zwittag P., Asel C., Gabriel M. et al. MRI and PET/CT in the assessment of lymph node metastases in head and neck cancer. *Sci. Rep.* 2023; 13 (1): 19347. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46845-y>
29. Mizukami Y., Ueda S., Mizumoto A. et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detection of colorectal cancer lymph node metastases. *Wld J. Surg.* 2011; 35: 895–899. <https://doi.org/10.1007/s00268-011-0986-x>
30. Chong A., Hwang I., Ha J.M. et al. Application of bone scans for prostate cancer staging: Which guideline shows better result? *Can. Urol. Assoc. J.* 2014; 8 (7–8): E515–519. <https://doi.org/10.5489/cuaj.2054>
31. Van den Wyngaert T., Strobel K., Kampen W.U. et al. Practical recommendations of EANM for bone scintigraphy. *Euro. J. Nucl. Med. Mol. Visualization*. 2016; 43: 1723–1738. <https://doi.org/10.1007/s00259-016-3415-4>
32. Izmailov T., Ryzhkin S., Borshchev G., Boichuk S. Oligometastatic Disease (OMD): The Classification and Practical Review of Prospective Trials. *Cancers*. 2023; 15 (21): 5234. <https://doi.org/10.3390/cancers15215234>
33. Cook G.J.R., Goh V. Molecular Imaging of Bone Metastases and Their Response to Therapy. *J. Nucl. Med.* 2020; 61 (6): 799–806. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.234260>
34. Hicks R.J., Roselt P.J., Kallur K.G. et al. FAPI PET/CT: will it end the hegemony of (18)F-FDG in oncology? *J. Nucl. Med.* 2021; 62: 296–302. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.256271>
35. Kahle J., Ceci F., Eiber M. et al. (18)F-fluciclovine PET-CT and (68)Ga-PSMA-11 PET-CT in patients with early biochemical recurrence after prostatectomy: a prospective, single-center, single-arm comparative imaging study. *Lancet Oncol.* 2019; 20: 1286–1294. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30415-2](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30415-2)
36. McConathy J. ¹⁸F-Fluciclovine (FACBC) and Its Potential Use for Breast Cancer Imaging. *J. Nucl. Med.* 2016; 57 (9): 1329–1330. <https://doi.org/10.2967/jnumed.116.175489>
37. Durante S., Dunet V., Gorostidi F. et al. Head and neck tumors angiogenesis imaging with ⁶⁸Ga-NODAGA-RGD in comparison to ¹⁸F-FDG PET/CT: a pilot study. *EJNMMI Res.* 2020; 10 (1): 47. <https://doi.org/10.1186/s13550-020-00638-w>
38. Farwell M.D., Gamache R.F., Babazada H. et al. PET imaging targeting CD8 tumor-infiltrating T cells in patients with cancer: a first-in-human phase I study of (89)Zr-Df-IAB22M2C, a radiolabeled anti-CD8 mini-antibody. *J. Nucl. Med.* 2022; 63 (5): 720–726. <https://doi.org/10.2967/jnumed.121.262485>
39. Fernández M., Javaid F., Chudasama V. Advances in targeting the folate receptor in the treatment/imaging of cancers. *Chem. Sci.* 2017; 9 (4): 790–810. <https://doi.org/10.1039/c7sc04004k>
40. Boss S.D., Ametani S.M. Development of folate receptor-targeted PET radiopharmaceuticals for tumor imaging – from bench to bedside. *Cancer*. 2020; 12 (6): 1508. <https://doi.org/10.3390/cancers12061508>
41. Gnessin S., Müller J., Burger I.A. et al. Radiation dosimetry of (18)F-AzaFol: first use of a PET tracer of the folic acid receptor in humans. *EJNMMI Res.* 2020; 10 (1): 32. <https://doi.org/10.1186/s13550-020-00624-2>
42. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I. et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J. Clin.* 2018; 68 (6): 394–424. <https://doi.org/10.3322/caac.21492>
43. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I. et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J. Clin.* 2020; 70 (4): 313. <https://doi.org/10.3322/caac.21492>
43. Viale P.H. The American Cancer Society's Facts & Figures: 2020 Edition. *J. Advanced Pract. Oncol.* 2020; 11 (2): 135–136. <https://doi.org/10.6004/jadpro.2020.11.2.1>

Для корреспонденции*: Нуднов Николай Васильевич – mailbox@rncrr.rssi.ru

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; заместитель директора по научной работе, профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru

Паншин Георгий Александрович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1106-6358>. E-mail: g.a.panshin@mail.ru

Contact*: Nikolay V. Nudnov – mailbox@rncrr.rssi.ru

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Research Department for Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Roentgenoradiology and Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Radiology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru

Georgy A. Panshin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Radiation Therapy and Integrated Methods of Treatment of Cancer Diseases, Research Department of Integrated Disease Diagnostics and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology. <https://orcid.org/0000-0003-1106-6358>. E-mail: g.a.panshin@mail.ru



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

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1420>

Магнитно-резонансная томография височно-нижнечелюстного сустава у пациентов с металлоконструкциями

© Васильев Ю.А.¹, Буренчев Д.В.², Васильева Ю.Н.³, Панина О.Ю.^{1, 3*},
Игнатьева В.А.³, Душкова Д.В.⁴, Бажин А.В.¹, Привалова Е.Г.¹, Ульянова В.А.¹

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

² ГБУЗ «Городская клиническая больница им. А.К. Ерамишанцева ДЗ города Москвы»; 129327 Москва, ул. Ленская, д. 15, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, 127473 Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

⁴ АО «К+31»; 119415 Москва, ул. Лобачевского, д. 42, стр. 4, Российская Федерация

Качественная визуализация височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) позволяет выбрать наиболее оптимальную тактику консервативного или оперативного лечения. Выполнение магнитно-резонансной томографии (МРТ) пациентам с металлоконструкциями в челюстно-лицевой области представляет собой острую проблему по обеспечению диагностики надлежащего качества. В представленном клиническом наблюдении наглядно продемонстрирована и описана методика выполнения диагностически значимой МРТ ВНЧС при наличии металлоконструкций в зоне интереса.

Ключевые слова: артефакты; металл; височно-нижнечелюстной сустав

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Васильев Ю.А., Буренчев Д.В., Васильева Ю.Н., Панина О.Ю., Игнатьева В.А., Душкова Д.В., Бажин А.В., Привалова Е.Г., Ульянова В.А. Магнитно-резонансная томография височно-нижнечелюстного сустава у пациентов с металлоконструкциями. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (4): 154–161.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1420>

Поступила в редакцию: 17.11.2023. Принята к печати: 27.02.2024. Опубликовано online: 11.07.2024.

Magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint in patients with metal structures

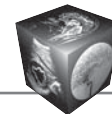
© Yuri A. Vasiliev¹, Dmitry V. Burenchev², Yulia N. Vasileva³, Olga Yu. Panina^{1, 3*},
Varvara A. Ignatieva³, Daria V. Dushkova¹, Alexander V. Bazhin¹,
Ekaterina G. Privalova¹, Violetta A. Ulyanova¹

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

² A.K. Eramishantsev City Clinical Hospital; 15, Lenskaya str., Moscow 129327, Russian Federation

³ Russian University of Medicine of the Russian Ministry of Health; 20, bld. 1, Delegatskaya str., Moscow 127473, Russian Federation

⁴ Joint Stock Company “K+31”; 42, bld. 4, Lobachevskogo str., Moscow 119415, Russian Federation



High-quality visualization of the temporomandibular joint (TMJ) allows to choose the most optimal tactics for conservative or surgical treatment. Performing magnetic resonance imaging (MRI) in patients with metal structures in the maxillofacial area is a pressing issue in ensuring quality diagnostics. In the presented clinical case, a methodology of performing diagnostically significant MRI of the TMJ in the presence of metal structures in the region of interest (ROI) was clearly demonstrated and described.

Keywords: artifacts; metals; temporomandibular joint

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

For citation: Vasilev Yu.A., Burenchev D.V., Vasileva Yu.N., Panina O.Yu., Ignatieva V.A., Dushkova D.V., Bazhin A.V., Privalova E.G., Ulyanova V.A. Magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint in patients with metal structures. *Medical Visualization*. 2024; 28 (4): 154–161. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1420>

Received: 17.11.2023.

Accepted for publication: 27.02.2024.

Published online: 11.07.2024.

Введение

Заболевания височно-нижнечелюстных сустава (ВНЧС) являются широко распространенными и встречаются у 25–65% населения [1]. Клинические изменения в суставе характеризуются наличием боли, иррадиирующей в область глаз и височную область. Обычно боль усиливается при широком открытии рта, приводя к рефлекторному спазму жевательных мышц и, как следствие, к выраженному дискомфорту для пациента. Оценка ВНЧС необходима для выяснения причины болевого синдрома, а также перед планированием ортодонтического и ортогнатического лечения и их контроля [2, 3].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является “золотым стандартом” визуализации мягкотканых компонентов ВНЧС [4, 5]. Преимуществом использования этого метода является высокая контрастность, позволяющая в полной мере оценить анатомические структуры сустава, а главное внутрисуставной диск. Возможность дополнительной функциональной МР-оценки сустава в движении с помощью режима “Real-time” позволяет визуализировать в динамике произвольный процесс открывания и закрывания рта в режиме реального времени [6–8]. В совокупности с МРТ помогают установить наличие дисфункции сустава, отражая взаиморасположение внутрисуставных структур, синхронность или разобщенность движения мышечка и диска [9, 10]. Недостатком методики является наличие выраженных артефактов или искажений на изображениях от несъемных металлоконструкций. Наиболее часто это зубные имплантаты, брекетки и др. Находясь в зоне сканирования, они приводят к возникновению неоднородности постоянного (B0) и переменного (B1) магнитных полей и, как следствие, к быстрой дефазировке и некогерентности спинов в пределах одного вокселя, некорректной пространственной регистрации и др. [3, 11].

Количество показаний к МРТ ВНЧС растет, что отчасти связано с увеличением числа пациентов с зубными или ортопедическими имплантатами, коронками, мостами, протезами и др. Существует рекомендованный протокол сканирования, однако у пациентов с металлоконструкциями челюстно-лицевой области (ЧЛО) выполнение МРТ представляет собой проблему и требует нестандартных подходов [8, 11]. На примере представленного клинического наблюдения наглядно продемонстрировано выполнение диагностически значимой МРТ ВНЧС пациенту с металлоконструкциями зубочелюстной системы.

Клиническое наблюдение

Пациентка 29 лет в ходе проводимого лечения по коррекции прикуса и установки брекет-системы обратилась в клинику с жалобами на дискомфорт в области ВНЧС при жевании и на ощущение “заклинивания челюсти”.

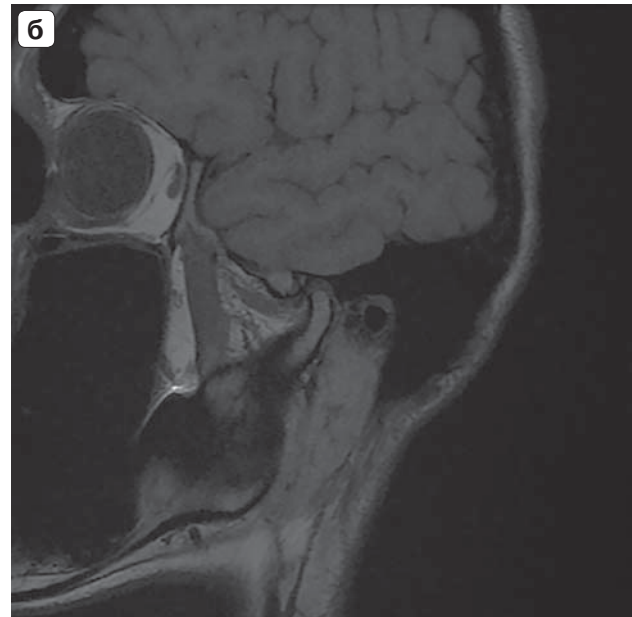
Было выполнено МР-исследование без учета наличия стоматологической металлоконструкции на томографе с индукцией магнитного поля 1,5 Тл (GE, Optima MR 360). МР-протокол включал локализатор в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, статическую часть в положении закрытого и открытого рта (табл. 1).

При интерпретации полученных данных из-за выраженных артефактов потери сигнала и геометрических искажений отсутствовала возможность адекватной оценки суставного диска, связочного аппарата и компонентов биламинарной зоны (рис. 1). В протокол исследования входили последовательности, чувствительные к неоднородности магнитного поля (а именно, последовательности градиентного эха – GRE), что привело к появлению артефактов от металлоконструкции и потере диагностической ценности исследования.

С целью нивелирования артефактов было решено повторить исследование с использованием импульсных последовательностей, менее чувствительных к неоднородности магнитного поля. Исследование про-

**Таблица 1.** МРТ ВНЧС, протокол без учета металлоконструкций в зоне интереса**Table 1.** MRI protocol for TMJ without considering metal structures in the ROI

Статическая часть в положении закрытого рта Static closed-mouth position	a. b. c. d. e. f.	AX T2 COR PD FSE SAG T2 SAG PD FSE SAG T2* 3D GRE SAG T1 FSE
Статическая часть в положении открытого рта Static open-mouth position	a.	SAG PD GRE
Толщина срезов Slice thickness		4 мм / 4 mm
Поле обзора Field of view		130 × 130
Ширина пропускания приемника Bandwidth		40

**Рис. 1.** МРТ ВНЧС, протокол без учета металлоконструкций в зоне интереса, сагиттальная плоскость. **а** – PD GRE в положении с открытым ртом; **б** – T1 GRE в положении с закрытым ртом.**Fig. 1.** MRI of the TMJ without considering metal structures in the ROI, sagittal plane. **a** – PD GRE, open mouth position; **b** – T1 GRE, closed-mouth position.

водилось на высокопольном томографе с индукцией магнитного поля 1,5 Тл (Siemens, MAGNETOM_ESSENZA) в другой клинике. С целью коррекции артефактов исследование проведено по протоколу, учитывающему наличие в зоне сканирования металлоконструкций (табл. 2).

Для снижения площади артефактов на изображениях были выбраны последовательности на основе Spin Echo вместо Gradient Echo, с целью изменения локали-

зации артефакта было изменено направление кодирования сигнала, увеличена ширина пропускания приемника (bandwidth). Также были уменьшены толщина среза и поле обзора (FOV).

Благодаря применению всех вышеописанных подходов были обнаружены признаки дисфункции ВНЧС: уплощение суставных дисков, а также асимметричное расположение суставных отростков нижней челюсти в полости суставов при окклюзии рта (рис. 2, 3).



Таблица 2. МРТ ВНЧС, специальный протокол с учетом металлоконструкций в зоне интереса

Table 2. Special MRI protocol for TMJ considering metal structures in the ROI

Статическая часть в положении закрытого рта Static closed-mouth position	a.	AX T2
	b.	COR T2 (позиционирование производится по полученным томограммам параллельно оси ветви нижней челюсти) COR T2 (positioning is based on the obtained scans in parallel to the axis of the mandibular ramus)
	c.	SAG T2
	d.	AX T1
	e.	COR T1
	f.	SAG T1 (позиционирование производится по полученным томограммам параллельно оси ветви нижней челюсти) SAG T1 (positioning is based on the obtained scans in parallel to the axis of the mandibular ramus)
	g.	Косокорональные T2 (для оценки бокового смещения внутрисуставного диска. Позиционируется параллельно ветви нижней челюсти и перпендикулярно мениску) Oblique-coronal T2 (to assess lateral displacement of the intraarticular disc; positioned in parallel to the mandibular ramus and perpendicular to the meniscus)
Статическая часть в положении открытого рта Static open mouth position	a.	AX T2 HR OPEN
	b.	COR T2 HR OPEN
	c.	SAG T2 HR OPEN
	a.	Динамическая часть / Dynamic MRI SAG T2
Толщина срезов / Slice thickness		2 мм / 2 mm
Поле обзора / Field of view		100 × 100
Ширина пропускания приемника Bandwidth		120

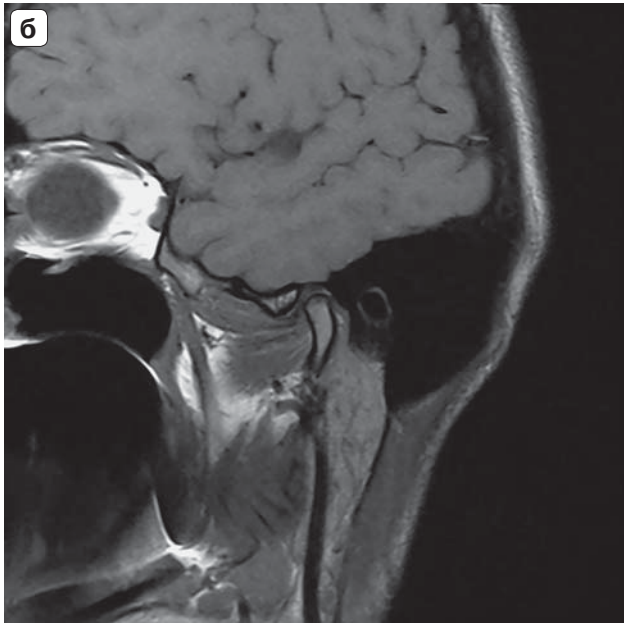
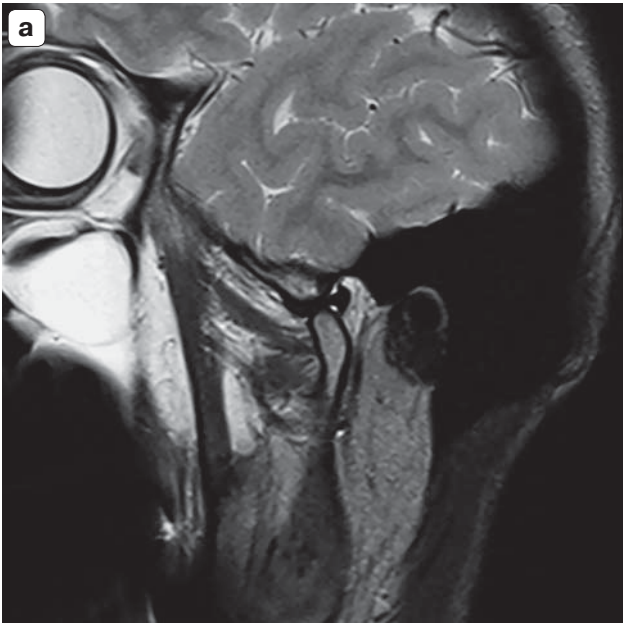


Рис. 2. МРТ ВНЧС, протокол с учетом наличия металлоконструкций, сагиттальная плоскость. **а** – T2 FSE в положении с открытым ртом; **б** – T1 FSE в положении с закрытым ртом.

Fig. 2. MRI of the TMJ considering metal structures in the ROI, sagittal plane. **a** – T2 FSE, open mouth position; **b** – T1 FSE, closed-mouth position.

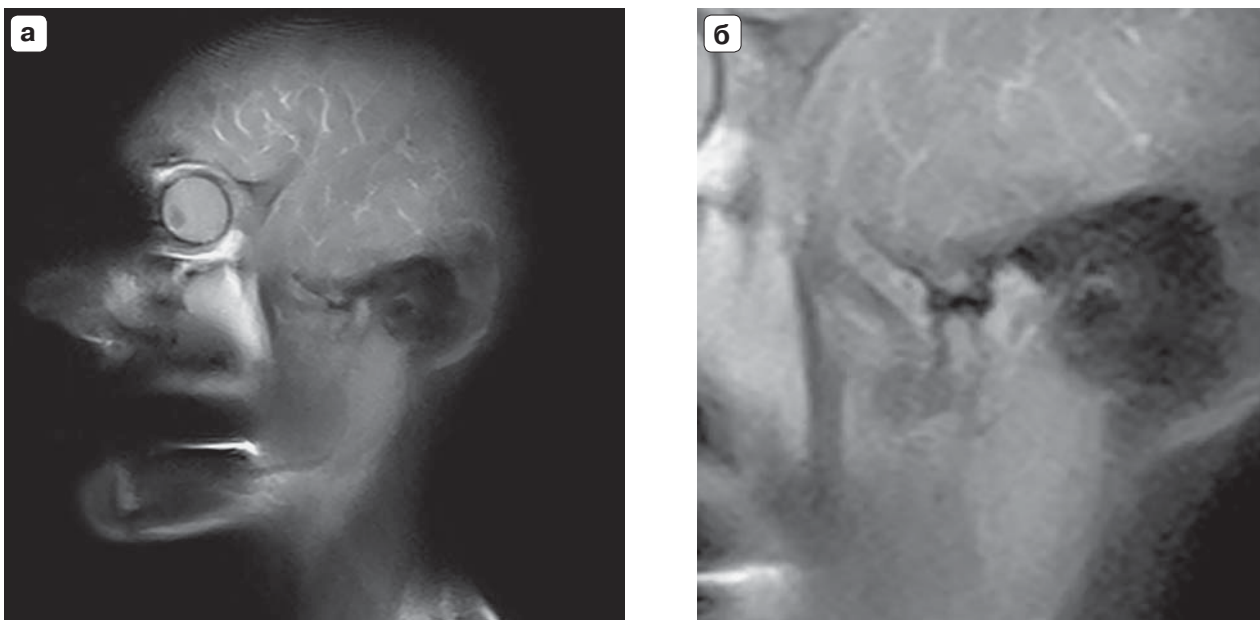


Рис. 3. МРТ ВНЧС в режиме “Real-time”, протокол с учетом наличия металлоконструкций, сагиттальная плоскость. **а** – Т2ВИ в режиме “Real-time” в положении с закрытым ртом; **б** – Т2ВИ в режиме “Real-time”, приближенное изображение ВНЧС в положении с максимально открытым ртом. При выполнении динамической МРТ в данном случае артефакты не влияли на зону интереса.

Fig. 3. Real-time MRI of the TMJ considering metal structures, sagittal plane: **a** – T2 WI, closed-mouth position; **б** – T2 WI, approximate image, wide open-mouth position. In this case, the artifacts did not affect the ROI during dynamic MRI.

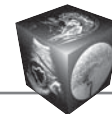
Обсуждение

ВНЧС имеет уникальную и сложную анатомию, поэтому крайне важно выбрать правильный метод диагностики. Визуализация структур ВНЧС может быть осуществлена с помощью целого ряда методов лучевой диагностики: рентгенографии, компьютерной томографии (КТ), ультразвукового исследования (УЗИ), а также МРТ [12, 13].

Костные изменения лучше визуализируются с помощью КТ и конусно-лучевой КТ (КЛКТ), которая обеспечивает мультипланарную реконструкцию ВНЧС с высоким разрешением и с низкой дозой облучения. В сравнении с КТ и КЛКТ МРТ обеспечивает лучшую контрастность мягких тканей и других структур в области ВНЧС [4]. МРТ позволяет выявить изменение локализации суставного диска, выпот в полости сустава, оценить суставной хрящ и параартикулярные ткани, гипертрофию жевательных мышц и др. [14]. Достаточную контрастность мягких тканей имеет недорогой и безопасный метод УЗИ. Но дополнительным ограничением для УЗИ выступает визуализация положения диска. Так, при смещении суставного диска латерально и кзади ультразвуковой метод неинформативен за счет лимитированного акус-

тического окна, ограниченного костными структурами [9]. Проблема исследования пациентов с патологией ВНЧС является актуальной ввиду высокого функционального значения. Получение изображений высокого качества, в том числе у пациентов с металлоконструкциями, позволит избежать осложнений лечения и последующей инвалидизации.

К основным рекомендациям по снижению артефактов от металлоконструкций ЧЛО можно отнести уменьшение поля обзора (FOV), толщины среза, увеличение ширины пропускания приемника, времени повторения (TR), значения усреднений, отказ от градиентного эха в пользу различных типов спинного эха. Рекомендуется проводить исследование на томографе с индукцией магнитного поля 1,5 Тл, а не 3 Тл. Однако при наличии программных алгоритмов подавления артефактов от металла (MAR – Metal Artefact Reduction) на томографах с большей индукцией могут быть получены изображения более высокого качества. Использование параллельного сбора данных, последовательностей инверсии-восстановления (STIR) и Dixon в качестве технологий подавления сигнала от жира вместо спектрально-



го подавления сигнала (FatSat) также будет способствовать лучшей визуализации в присутствии металла [11, 15].

К относительным недостаткам метода МРТ относятся высокая стоимость, низкая доступность и абсолютные противопоказания, такие как наличие в организме активных электронных медицинских приборов (электрокардиостимуляторы), клипсы сосудов головного мозга и др. [7, 16]. Рассматривая ограничения метода, также стоит учитывать техническую реализацию исследования (оснащение и квалификация персонала) [8].

Корректировка протокола должна проводиться совместно с инженером кабинета МРТ или сертифицированным представителем производителя. Также количество и вид металлоконструкций ЧЛО индивидуальны, поэтому технические параметры МР-протокола могут несколько отличаться у разных пациентов.

Заключение

Наиболее информативным методом визуализации структур ВНЧС является МРТ. Активное развитие новых подходов в лечении стоматологических пациентов привело к увеличению количества вмешательств с установкой металлоконструкций, в том числе несъемных, усложняющих получение диагностически значимых лучевых исследований. Проведение МРТ таким пациентам является непростой задачей с необходимостью настройки специализированного протокола сканирования, позволяющего получать изображения надлежащего качества.

Конфликт интересов

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР “Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии” (№ ЕГИСУ: № 123031500007-6) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 № 1196 “Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов” Департамента здравоохранения города Москвы.

Conflicts of interest

This article was prepared by the team of authors within the framework of the research project “Scientific support for standardization, safety, and quality of magnetic resonance imaging” (EGISU No.: No. 123031500007-6) in accordance with Order No. 1196 dated December 21, 2022 “On approval of government tasks, the financial support of which is

carried out from the budget of the city of Moscow to state budgetary (autonomous) institutions subordinated to the Moscow Healthcare Department, for 2023 and the planning period of 2024 and 2025.”

Участие авторов

Васильев Ю.А. – проведение исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Буренчев Д.В. – ответственность за целостность всех частей статьи.

Васильева Ю.Н. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

Панина О.Ю. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста.

Игнатьева В.А. – написание текста.

Душкова Д.В. – анализ и интерпретация полученных данных.

Бажин А.В. – сбор и обработка данных.

Привалова Е.Г. – обзор публикаций по теме статьи.

Ульянова В.А. – обзор публикаций по теме статьи.

Authors' participation

Vasiliev Yu.A. – conducting research, approval of the final version of the article.

Burenchev D.V. – responsibility for the integrity of all parts of the article.

Vasileva Yu.N. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data.

Panina O.Yu. – concept and design of the study, text preparation and editing.

Ignatieva Va.A. – writing text.

Dushkova D.V. – analysis and interpretation of the obtained data.

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

Privalova E.G. – review of publications.

Ulyanova V.A. – review of publications.

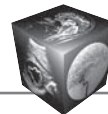
Список литературы

1. Hasan N.M.A., Abdelrahman T.E.F. MRI evaluation of TMJ internal derangement: Degree of anterior disc displacement correlated with other TMJ soft tissue and osseous abnormalities. *Egypt J. Radiol. Nucl. Med.* 2014; 45 (3): 735–744. <https://doi.org/10.1016/j.ejrnm.2014.03.013>
2. Гус Л.А., Арсенина О.И., Стариков Н.А., Комолов И.С., Буренчев Д.В. Особенности МРТ-семиотики височно-нижнечелюстного сустава у пациентов с дистальной окклюзией зубных рядов при разных клинических вариантах течения дисфункции височно-нижнечелюстного сустава. *Медицинская визуализация.* 2015; 4: 101–108.
3. Nazarian D., Dikarev A., Mokhirev M. et al. Maxillo-mandibular Defect Reconstruction with Bilateral Free Fibula Flaps with Dental Implant Placement and Immediate Loading: A Case Report of the Three-team Approach. *Arch. Plast. Surg.* 2022; 49 (05): 652–655. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1756350>
4. Talmaceanu D., Lenghel L.M., Bolog N. et al. Imaging modalities for temporomandibular joint disorders: An update. *Clujul. Med.* 2018; 91 (3): 280–287. <https://doi.org/10.15386/cjmed-970>



5. Belgin C.A., Serindere G., Orhan K. Contemporary imaging modalities for temporomandibular joint: An update and review. *J. Exp. Clin. Med.* 2021; 38 (S2): 86–91. <https://doi.org/10.52142/OMUJECM.38.SI.DENT.2>
6. Krohn S., Gersdorff N., Wassmann T. et al. Real-time MRI of the temporomandibular joint at 15 frames per second – A feasibility study. *Eur. J. Radiol.* 2016; 85 (12): 2225–2230. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.10.020>
7. Душкова Д.В., Васильев Ю.А. Роль псевдокинематического и кинематического магнитно-резонансного исследования в реальном времени в диагностике заболеваний височно-нижнечелюстного сустава. *Радиология–практика.* 2019; 6: 21–32.
8. Буренчев Д.В. М-54 Методология выполнения МР-исследования височно-нижнечелюстных суставов: Серия “Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики”. М., 2018. <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/metodologiya-vypolneniya-mr-issledovaniya-visочно-nizhnechelyustnyh-sustavov>
9. Lomas J., Gurgenci T., Jackson C., Campbell D. Temporomandibular dysfunction. *Aust. J. Gen. Pract.* 2018; 47 (4). <https://doi.org/10.31128/AFP-10-17-4375>
10. Васильев Ю.А., Душкова Д.В., Лежнев Д.А., Способ оценки дисфункции височно-нижнечелюстных суставов с помощью магнитно-резонансной томографии. Патент 2673992. 2018. https://patents.s3.yandex.net/RU2673992C1_20181203.pdf
11. Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Панина О.Ю. и др. А 86 Артефакты от металлоконструкций в магнитно-резонансной томографии: Методические рекомендации. Вып. 83. М.: ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”, 2022. 40 с. <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/artefakty-ot-metallokonstrukcij-v-magnitno-rezonansnoj-tomografii?ysclid=lx01l6roqy252238677>
12. Amin M.F., Hassan A.M., Barakat K.I. The accuracy of dynamic Magnetic Resonance Imaging in evaluation of internal derangement of the temporomandibular joint; Comparison with arthroscopic findings. *Egypt J. Radiol. Nucl. Med.* 2012; 43 (3): 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.ejrn.2012.05.007>
13. Tamimi D, Jalali E, Hatcher D. Temporomandibular Joint Imaging. *Radiol. Clin. N. Am.* 2018; 56: 157–175. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2017.08.011>
14. Derwich M., Mitus-Kenig M., Pawlowska E. Interdisciplinary Approach to the Temporomandibular Joint Osteoarthritis-Review of the Literature. *Medicina (Kaunas).* 2020; 56 (5): 225. <https://doi.org/10.3390/medicina56050225>
15. Семенов Д.С., Петрякин А.В., Васильев Ю.А., Ахмад Е.С., Панина О.Ю. Устройство фантома для настройки протоколов магнитно-резонансной томографии предстательной железы. Патент RU208239U1. 2021. <https://patents.google.com/patent/RU208239U1/ru>
16. Васильев Ю.А., Панина О.Ю., Грик Е.А., Ахмад Е.С., Васильева Ю.Н. Роль магнитно-резонансной томографии в выявлении злокачественных легочных узлов: систематический обзор и метаанализ. *Digit. Diagn.* 2021; 2 (3): 301–312. <https://doi.org/10.17816/dd70306>
2. Gus L.A., Arsenina O.I., Starikov N.A. et al. Features of Magnetic Resonance Tomography Semiotics of Temporomandibular Joint in Patients with Distal Occlusion in Various Clinical Variants of Temporomandibular Joint Dysfunction. *Medical Visualization.* 2015; 4: 101–108. (In Russian)
3. Nazarian D., Dikarev A., Mokhirev M. et al. Maxillo-mandibular Defect Reconstruction with Bilateral Free Fibula Flaps with Dental Implant Placement and Immediate Loading: A Case Report of the Three-team Approach. *Arch. Plast. Surg.* 2022; 49 (05): 652–655. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1756350>
4. Talmaceanu D., Lenghel L.M., Bolog N. et al. Imaging modalities for temporomandibular joint disorders: An update. *Clujul. Med.* 2018; 91 (3): 280–287. <https://doi.org/10.15386/cjmed-970>
5. Belgin C.A., Serindere G., Orhan K. Contemporary imaging modalities for temporomandibular joint: An update and review. *J. Exp. Clin. Med.* 2021; 38 (S2): 86–91. <https://doi.org/10.52142/OMUJECM.38.SI.DENT.2>
6. Krohn S., Gersdorff N., Wassmann T. et al. Real-time MRI of the temporomandibular joint at 15 frames per second – A feasibility study. *Eur. J. Radiol.* 2016; 85 (12): 2225–2230. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.10.020>
7. Dushkova D.V., Vasil'Ev Yu.A. The Role of Dynamic and Pseudodynamic Magnetic Resonance Research in the Diagnosis of Temporomandibular Joint Diseases. *Radiology–Practice.* 2019; 6: 21–32. (In Russian)
8. Burenchev D.V. Metodologiya vypolneniya MR-issledovaniya visочно-nizhnechelyustnykh sustavov. Luchshie praktiki luchevoj i instrumental'noj diagnostiki [MRI sequence for evaluating the temporomandibular joints. Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics]. Moscow, 2018. <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/metodologiya-vypolneniya-mr-issledovaniya-visочно-nizhnechelyustnyh-sustavov> (In Russian)
9. Lomas J., Gurgenci T., Jackson C., Campbell D. Temporomandibular dysfunction. *Aust. J. Gen. Pract.* 2018; 47 (4). <https://doi.org/10.31128/AFP-10-17-4375>
10. Vasilev Yu.A., Dushkova D.V., Lezhnev D.A. Method for estimating dysfunction of temporomandibular joints by means of magnetic resonance imaging in real-time. Patent 2673992. 2018. https://patents.s3.yandex.net/RU2673992C1_20181203.pdf (In Russian)
11. Vasilev Yu.A., Semenov D.S., Panina O.Yu. et al. Artefakty ot metallokonstruktsii v magnitno-rezonansnoi tomografii: Metodicheskie rekomendatsii [Metal-induced artifacts in magnetic resonance imaging: best practices]. Moscow, 2022. 40 p. <https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/artefakty-ot-metallokonstrukcij-v-magnitno-rezonansnoj-tomografii?ysclid=lx01l6roqy252238677> (In Russian)
12. Amin M.F., Hassan A.M., Barakat K.I. The accuracy of dynamic Magnetic Resonance Imaging in evaluation of internal derangement of the temporomandibular joint; Comparison with arthroscopic findings. *Egypt J. Radiol. Nucl. Med.* 2012; 43 (3): 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.ejrn.2012.05.007>
13. Tamimi D, Jalali E, Hatcher D. Temporomandibular Joint Imaging. *Radiol. Clin. N. Am.* 2018; 56: 157–175. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2017.08.011>
14. Derwich M., Mitus-Kenig M., Pawlowska E. Interdisciplinary Approach to the Temporomandibular Joint Osteoarthritis-

References



- Review of the Literature. *Medicina (Kaunas)*. 2020; 56 (5): 225. <https://doi.org/10.3390/medicina56050225>
15. Semenov D.S., Petryakin A.V., Vasilev Yu.A., et al. A phantom device for setting up the protocols of magnetic resonance imaging of the prostate gland in patients with metal structures of the hip joint. Patent RU208239U1. 2021. <https://patents.google.com/patent/RU208239U1/en>
16. Vasilev Y.A., Panina O.Y., Grik E.A. et al. Role of chest MRI for the diagnosis of malignant pulmonary nodules: a systematic review and a meta-analysis. *Digit. Diagn.* 2021; 2 (3): 301–312. <https://doi.org/10.17816/dd70306> (In Russian)

Для корреспонденции*: Панина Ольга Юрьевна – e-mail: olgayurpanina@gmail.com

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Буренчев Дмитрий Владимирович – доктор мед. наук, заведующий отделением рентгенологических и радиоизотопных методов исследований ГБУЗ “Городская клиническая больница им. А.К. Ерамишанцева ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2894-6255>

Васильева Юлия Николаевна – канд. мед. наук, ассистент кафедры ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1066-3989>

Панина Ольга Юрьевна – младший научный сотрудник ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”; младший научный сотрудник ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>

Игнатьева Варвара Александровна – студентка ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0009-6229-0342>

Душкова Дарья Владимировна – врач-рентгенолог АО «К+31», Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3011-6752>

Бажин Александр Владимирович – канд. мед. наук, заведующий учебным центром ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3198-1334>

Привалова Екатерина Геннадьевна – доктор мед. наук, эксперт ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9851-9390>

Ульянова Виолетта Алексеевна – врач-рентгенолог отдела экспертизы и качества ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0002-7008-8151>

Contact*: Olga Yu. Panina – e-mail: olgayurpanina@gmail.com

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

Dmitry V. Burenchev – Doct. of Sci. (Med.), Head of the X-ray and Radioisotope Research Methods Department, A.K. Eramishantsev City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2894-6255>

Yulia N. Vasileva – Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Russian University of Medicine of the Russian Ministry of Health, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1066-3989>

Olga Yu. Panina – Junior Researcher, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow “Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department,” Moscow; Junior Scientist Researcher Russian University of Medicine of the Russian Ministry of Health, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>

Varvara A. Ignatieva – student Russian University of Medicine of the Russian Ministry of Health, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-6229-0342>

Daria V. Dushkova – Radiologist, Joint Stock Company “K+31”, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3011-6752>

Alexander V. Bazhin – Cand. of Medical Sciences, Head of Educational Center of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow “Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department,” Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3198-1334>

Ekaterina G. Privalova – Doct. of Sci. (Med.), expert State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow “Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department,” Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9851-9390>

Violetta A. Ulyanova – Radiologist, Department of Quality and Expert evaluation, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow “Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department,” Moscow. <https://orcid.org/0009-0002-7008-8151>