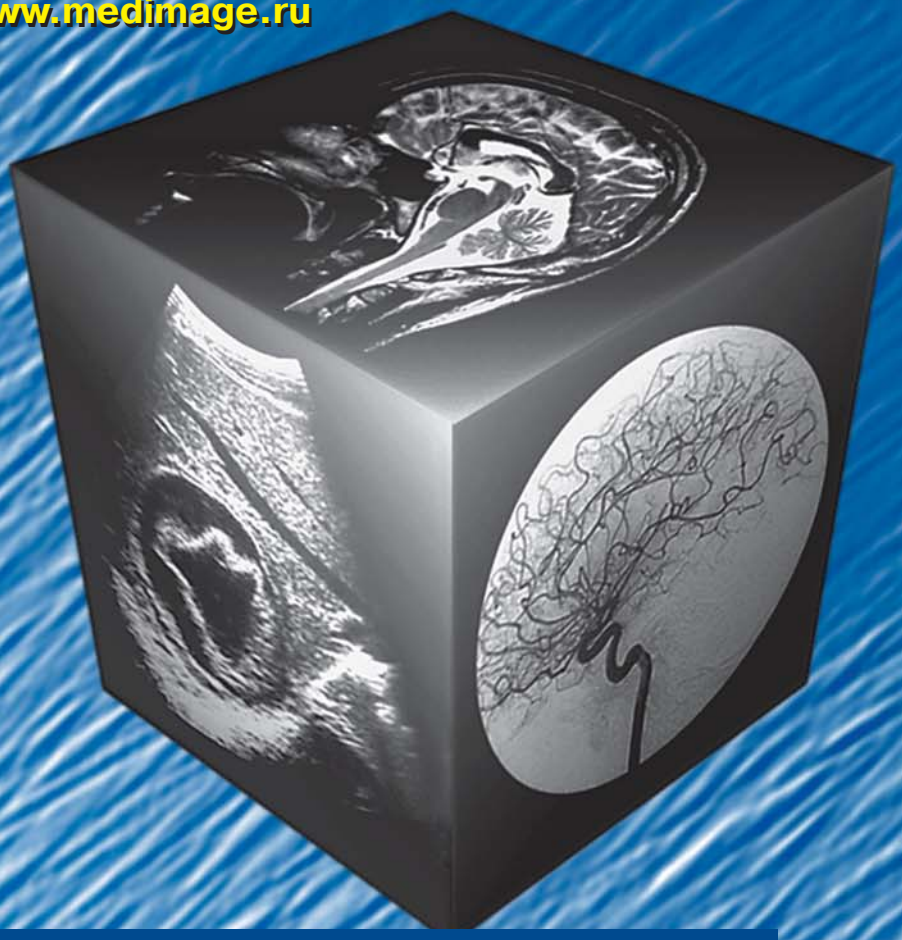
ISSN 1607-0763 (Print)
ISSN 2408-9516 (Online)

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №2
Vol 28 N2
2024

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



- Эхокардиография в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка
- Ультразвуковые предикторы тяжелого течения острого панкреатита
- Новая классификация расширения чашечно-лоханочной системы UTD у детей в условиях перинатального центра
- Показания, ограничения и возможности лучевой диагностики у беременных
- Влияние современных технологий КТ и МРТ на дооперационное стадирование рака поджелудочной железы

ВИДАР-М

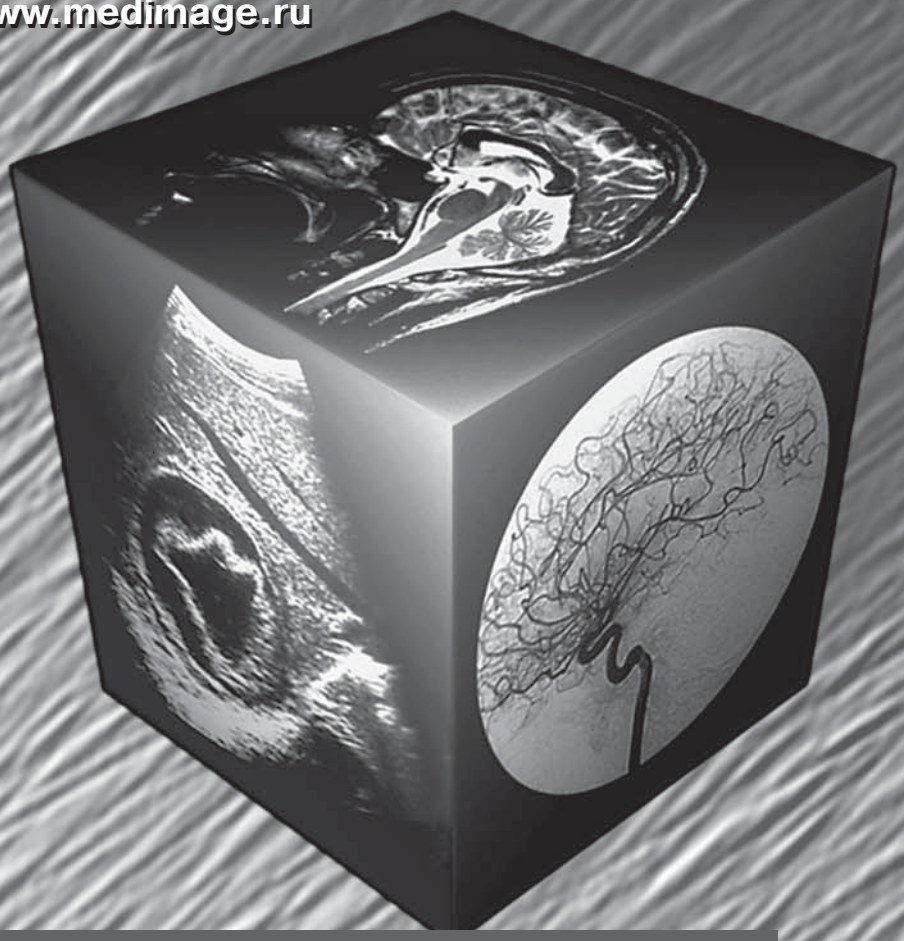
ISSN 1607-0763 (Print)
ISSN 2408-9516 (Online)

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 28 №2
Vol 28 N2
2024

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



- Эхокардиография в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка
- Ультразвуковые предикторы тяжелого течения острого панкреатита
- Новая классификация расширения чашечно-лоханочной системы UTD у детей в условиях перинатального центра
- Показания, ограничения и возможности лучевой диагностики у беременных
- Влияние современных технологий КТ и МРТ на дооперационное стадирование рака поджелудочной железы

ВИДАР-М

DOI: 10.24835

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

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Meditsinskaya vizualizatsiya

2024 Том 28 №2

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

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

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

Главный редактор

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

Первый заместитель главного редактора

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заместитель директора по научной работе ФГБУ "Российский научный центр 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, заведующий отделением лучевой диагностики Клинической больницы №2 МЕДСИ, Москва, Российская Федерация. https://orcid.org/0000000290149022. Scopus Author ID: 7102053957

Научные консультанты

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

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

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

Зав. редакцией

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

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

Васильев Юрий Александрович – 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, заместитель заведующего учебным центром ГБУЗ города Москвы "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы", Москва, Российская Федерация. http://orcid.org/0000000290179432. Scopus Author ID: 6176616600

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

"МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ"

© ООО "Видар", 2024.
Все права сохраняются.

Формат 60 × 90 1/8. Печ. л. 18. Тираж 1500 экз. Свободная цена.
Отпечатано в типографии Onebook.ru (ООО "СамПолиграфист"), www.onebook.ru
Подписано в печать 13.05.2024 г.

DOI: 10.24835

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

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация

Meditsinskaya vizualizatsiya

2024 V. 28 N2

Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

Russian Society of Roentgenologists and Radiologists (18-2, Verkhoyanskaya str., 129344, Moscow, Russian Federation)
Society of specialists in X-ray diagnostics (6, Bo'shaya Pirogovskaya str., 119435, Moscow, Russian Federation)
Moscow regional department of of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists (16/26, bld.1, Raskovoi str., 125040, Moscow, Russian Federation)

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

Editor-in-Chief

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

First Deputy Editor

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

Publishing Editor

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Radiology Department of Clinical hospital No.2 of "Medsi group" Joint Stock Company, Moscow, Russian Federation. Email: gai8@mail.ru. https://orcid.org/0000000290149022. Scopus Author ID: 7102053957

Scientific consultants

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

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

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

Chief of office

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

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

Editorial board

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

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

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

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

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

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

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

Natalia N. Vetsheva – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director of the Education Center, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation. http://orcid.org/0000000290179432. Scopus Author ID: 6176616600

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Rainer 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: **karmazanovsky@ixv.ru**
27, Bol'shaya Serpukhovskaia str., 117997, Moscow, Russian Federation.
A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery. Grigory G. Karmazanovsky
Phone: +7 (499) 237-37-64, 237-04-54,

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

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

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

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

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

Format 60 × 90 1/8. 18 printer's sheet. Circulation: 1500 ex. Free price.
Printed at Onebook.ru (OOO "SamPoligrafist"), www.onebook.ru
Signed for printing: 13.05.2024

Содержание

Сердце и сосуды

10 Роль эхокардиографии в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка
Солдатова А.М., Широков Н.Е., Ярославская Е.И.

22 Диагностические возможности эхокардиографических показателей времени ускорения и отношения времени ускорения к общему времени выброса левого желудочка в оценке тяжелого аортального стеноза у пациентов со сниженной фракцией выброса левого желудочка
Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И.

32 Комплексная ультразвуковая оценка состояния комплекса интима-медиа брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом
Вахитова А.Р., Бердалин А.Б., Лелюк В.Г., Лелюк С.Э.

43 Эхокардиографическая методика speckle tracking в определении фиброза у детей после коррекции аномального отхождения левой коронарной артерии от легочной артерии в отдаленном послеоперационном периоде
Барышникова И.Ю., Дарий О.Ю., Ванеева А.М., Рогова Т.В., Кожушная К.А., Заварина А.Ю., Асланиди И.П.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

54 Ультразвуковые предикторы тяжелого течения острого панкреатита
Руденко В.А., Какаулина Л.Н., Какаулин А.Г., Карамова И.М., Фаизова А.И.

65 Прогностические возможности КТ в диагностике хронических воспалительных осложнений дивертикулярной болезни ободочной кишки
Белов Д.М., Зароднюк И.В., Москалев А.И., Майновская О.А.

80 Целиакия как редкий источник рецидивирующих тонкокишечных кровотечений. Обзор литературы и клиническое наблюдение
Кортиева А.Т., Крушельницкий В.С., Габриэль С.А., Дынько В.Ю., Гучетль А.Я.

87 Лучевые методы исследования в диагностике острого аппендицита (обзор литературы)
Катрич А.Н., Польшиков С.В., Катрич Н.А.

Малый таз

95 Показания, ограничения и возможности применения методов лучевой диагностики у беременных женщин
Павловская Е.А., Багненко С.С., Буровик И.А., Бусько Е.А., Тятьков С.А., Гришко П.Ю., Берлев И.В.

Детская рентгенология

108 Клиническое применение новой классификации расширения чашечно-лоханочной системы UTD у детей в условиях перинатального центра
Сугак А.Б., Бабатова С.И., Филиппова Е.А., Батдалова З.Н., Подуровская Ю.Л., Павлова В.С., Пекарева Н.А., Пыков М.И., Зубков В.В.

Технологии лучевой диагностики

118 Влияние современных технологий компьютерной и магнитно-резонансной томографии на дооперационное стадирование рака поджелудочной железы
Жарикова А.В., Кондратьев Е.В., Тихонова В.С., Груздев И.С., Ростовцев М.В., Марков П.В., Стручков В.Ю., Кармазановский Г.Г.

134 Исследование возможностей алгоритмов автоматизированного контроля качества DICOM-метаданных рентгенографических исследований органов грудной клетки
Борисов А.А., Арзамасов К.М., Семенов С.С., Владзимирский А.В., Васильев Ю.А.

145 Неинвазивное измерение метаболизма кислорода. Часть 2: новые методики в ПЭТ и МРТ
Постнов А.А., Калаева Д.Б., Балахонов А.Б., Пронин И.Н.

Contents

Heart and vessels

10 Role of echocardiography in heart failure with preserved ejection fraction
Anna M. Soldatova, Nikita E. Shirokov, Elena I. Yaroslavskay

22 Diagnostic capabilities of echocardiographic indicators of acceleration time and the ratio of acceleration time to total left ventricular ejection time in the assessment of severe aortic stenosis in patients with reduced left ventricular ejection fraction
Vladlen V. Bazylev, Ruslan M. Babukov, Fedor L. Bartosh, Alena V. Levina, Artur I. Mikulyak

32 Comprehensive ultrasound assessment of the state complex intima-media brachiocephalic arteries in patients with metabolic syndrome
Aliya R. Vakhitova, Alexander B. Berdalin, Vladimir G. Lelyuk, Svetlana E. Lelyuk

43 Left ventricular speckle tracking echocardiography in predicting of fibrosis in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period
Irina Yu. Baryshnikova, Olga Yu. Dariy, Anna M. Vaneeva, Tat'yana V. Rogova, Kristina A. Kozhushnaya, Anna Yu. Zavarina, Irakly P. Aslanidis

Abdomen and retroperitoneum

54 Ultrasound predictors of severe acute pancreatitis
Valeria A. Rudenko, Lucia N. Kakaulina, Andrey G. Kakaulin, Irina M. Karamova, Aliia I. Faizova

65 Prognostic possibilities of CT in the diagnosis of chronic inflammatory complications of diverticular disease
Denis M. Belov, Irina V. Zarodnyuk, Alexey I. Moskalev, Olga A. Maynovskaya

80 Celiac disease as a rare source of recurrent small intestinal bleeding
Alena T. Kortieva, Vladimir S. Krushelnitskiy, Sergei A. Gabriel, Viktor Yu. Dynko, Aleksandr Ya. Guchetl

87 Radiation methods in the diagnosis of acute appendicitis (literature review)
Aleksey N. Katrich, Sergey V. Polshikov, Nikita A. Katrich

Small pelvis

95 Medical visualization in pregnancy: indications, limitations and prospects
Evgenia A. Pavlovskaya, Sergey S. Bagnenko, Ilya A. Burovik, Ekaterina A. Busko, Stanislav A. Tiatkov, Pavel Yu. Grishko, Igor V. Berlev

Pediatric radiology

108 Clinical application of new classification of the calyx-pelvic system dilation UTD in children in a perinatal center
Anna B. Sugak, Saida I. Babatova, Elena A. Filippova, Zulfiya N. Batdalova, Yulia L. Podurovskaya, Varvara S. Pavlova, Natalia A. Pekareva, Michail I. Pykov, Viktor V. Zubkov

Radiological technologies

118 The influence of modern computer and magnetic resonance imaging technologies on the preoperative staging of pancreatic cancer
Alexandra V. Zharikova, Evgeny V. Kondratyev, Valeriya S. Tikhonova, Ivan S. Gruzdev, Mikhail V. Rostovtsev, Pavel V. Markov, Vladimir Yu. Struchkov, Grigory G. Karmazanovsky

134 Investigation of the capabilities of algorithms for automated quality assurance of DICOM metadata of chest X-ray examinations
Alexander A. Borisov, Kirill M. Arzamasov, Serafim S. Semenov, Anton V. Vladzimirsky, Yuri A. Vasiliev

145 Non-invasive measurement of oxygen metabolism. Part 2: new techniques in PET and MRI
Andrey A. Postnov, Diana B. Kalaeva, Anton B. Balakhonov, Igor' N. Pronin

Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1358

Роль эхокардиографии в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка

© **Солдатова А.М.*, Широков Н.Е., Ярославская Е.И.**

Тюменский кардиологический научный центр – филиал Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук; 625026 Тюмень, ул. Мельникайте, д. 111, Российская Федерация

Цель исследования: изучить и проанализировать данные о роли эхокардиографического обследования в оценке диастолической функции левого желудочка и диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса (СНсФВ).

Материал и методы. Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитических системах PubMed и Google Scholar за 2016–2022 гг. по следующим ключевым словам: диастолическая дисфункция, диастолический стресс-тест, сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса, эхокардиография. Дополнительно проведен анализ списков литературы для обнаружения статей, соответствующих критериям поиска.

Результаты. Проанализировано 140 статей, 27 из которых использованы для составления обзора. Из списков литературы дополнительно включено 11 статей за 2003–2015 гг. Результаты поиска: созданы блоки статей, внутри которых статьи анализировали для изучения роли эхокардиографического обследования в оценке диастолической функции левого желудочка и диагностике СНсФВ.

Заключение. Эхокардиографическое обследование дает важную информацию о структуре и функции сердца и показано всем пациентам с подозрением на СНсФВ. По результатам рутинной оценки показателей тканевой допплерографии врачами ультразвуковой диагностики при выявлении снижения скорости расслабления левого желудочка клинический кардиолог имеет возможность принять решение о необходимости разворачивания алгоритма диагностики СНсФВ методом диастолического стресс-теста. Результаты диастолического стресс-теста в связи с его ограничениями следует интерпретировать в соответствии с клиническим сценарием или вероятностью наличия СНсФВ. Снижение диастолического резерва (E/e > 15) – краеугольный камень подтверждения СНсФВ.

Ключевой задачей ближайших клинических испытаний является более четкое выделение различных клинических фенотипов СНсФВ, что позволит улучшить лечение каждого конкретного пациента с СНсФВ.

Ключевые слова: диастолическая дисфункция, диастолический стресс-тест, сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса, эхокардиография

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Солдатова А.М., Широков Н.Е., Ярославская Е.И. Роль эхокардиографии в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 10-21. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1358

Поступила в редакцию: 02.05.2023. **Принята к печати:** 12.09.2023. **Опубликована online:** 01.12.2023.

Role of echocardiography in heart failure with preserved ejection fraction

© **Anna M. Soldatova*, Nikita E. Shirokov, Elena I. Yaroslavskay**

Tyumen Cardiology Research Center – Branch of Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Science; 111, Melnikaite str., Tyumen 625026, Russian Federation

Abstract. This study aimed to investigate and analyze data regarding the role of echocardiographic examination in assessing the diastolic function of the left ventricle and diagnosing heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF).

Materials and methods. A search of scientific publications and clinical recommendations was conducted in the PubMed and Google Scholar information-analytical systems for the years 2016–2022, using keywords such as diastolic dysfunction, diastolic stress test, heart failure with preserved ejection fraction, and echocardiography. Additionally, literature lists were analyzed to identify articles meeting the search criteria.

Results. A total of 140 articles were analyzed, with 27 of them utilized in composing the review. Eleven additional articles from 2003–2015 were included from literature lists. The search results were organized into article blocks, within which articles were analyzed to study the role of echocardiographic examination in assessing the diastolic function of the left ventricle and diagnosing HFpEF.

Conclusion: Echocardiographic examination provides crucial information about the structure and function of the heart and is recommended for all patients with suspected HFpEF. Based on routine assessment of tissue Doppler imaging parameters, ultrasound diagnostic physicians can decide on the need to initiate the diagnostic algorithm for HFpEF using the diastolic stress test method. Results of the diastolic stress test, considering its limitations, should be interpreted in accordance with the clinical scenario or the probability of the presence of HFpEF. A reduction in diastolic reserve (E/e > 15) is a cornerstone for confirming HFpEF. The key task of upcoming clinical trials is to better differentiate various clinical phenotypes of HFpEF, thereby improving the treatment of each specific patient with HFpEF.

Keywords: diastolic dysfunction, diastolic stress test, heart failure with preserved ejection fraction, echocardiography

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

For citation: Soldatova A.M., Shirokov N.E., Yaroslavskaya E.I. Role of echocardiography in heart failure with preserved ejection fraction. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 10-21. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1358

Received: 02.05.2023. **Accepted for publication:** 12.09.2023. **Published online:** 01.12.2023.

Введение

Повышенное давление наполнения левого желудочка (ЛЖ) – причина одышки и низкой переносимости физической нагрузки у пациентов с сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса (СНсФВ) (появление ввиду недостаточного растяжения стенок ЛЖ при увеличении объема крови, поступающей из левого предсердия (ЛП) и вен преимущественно нижних конечностей в условиях физической нагрузки). “Золотым стандартом” оценки давления наполнения ЛЖ (или среднего давления в ЛП) для диагностики СНсФВ является катетеризация сердца с расчетом давления заклинивания легочной артерии. Однако инвазивный характер исследования обусловил необходимость поиска более доступных методов исследования для ежедневной клинической практики. На сегодняшний день эхокардиография позволяет неинвазивно оценить диастолическую функцию ЛЖ и давление его наполнения.

Алгоритмы оценки диастолической функции ЛЖ и повышенного давления наполнения ЛЖ подробно описаны в следующих основных документах: рекомендациях Американского общества эхокардиографии и Европейского общества по сердечно-сосудистой визуализации [1] и консенсусном документе Европейской ассоциации специалистов по сердечной недостаточности и Европейского общества кардиологов [2] и клинических рекомендациях Российского кардиологического общества [3].

Диастолическая дисфункция означает неспособность ЛЖ к достаточному наполнению для обеспечения требуемого ударного объема в покое. Термины “диастолическая дисфункция” и “СНсФВ” не являются эквивалентами. Сложность разделения этих понятий усугубляет и используемая в клинических рекомендациях терминология. Так, в первом руководстве Европейского общества кардиологов и общества специалистов по сердечной недостаточности от 2007 г. был использован термин “диастолическая сердечная недостаточность” [4]. В дальнейшем для определения синдрома с клиническими признаками СН, но без снижения ФВЛЖ стал использоваться термин “СН с нормальной ФВЛЖ”. А в последнем пересмотре рекомендаций он был заменен на “СНсФВ” [2]. Диастолическая дисфункция лежит в основе развития СНсФВ, однако патофизиология СНсФВ более сложная и помимо наличия диастолической дисфункции включает также нарушение сократительного резерва, нарушение функции предсердий и пр. [5], что в совокупности приводит к повышению давления в ЛЖ и легочных венах и клинически проявляется симптомами СНсФВ в виде одышки и неудовлетворительной переносимости физической нагрузки [6, 7].

Оценка диастолической функции

Для оценки диастолической функции ЛЖ рекомендуется использовать два отдельных алгоритма [1]:

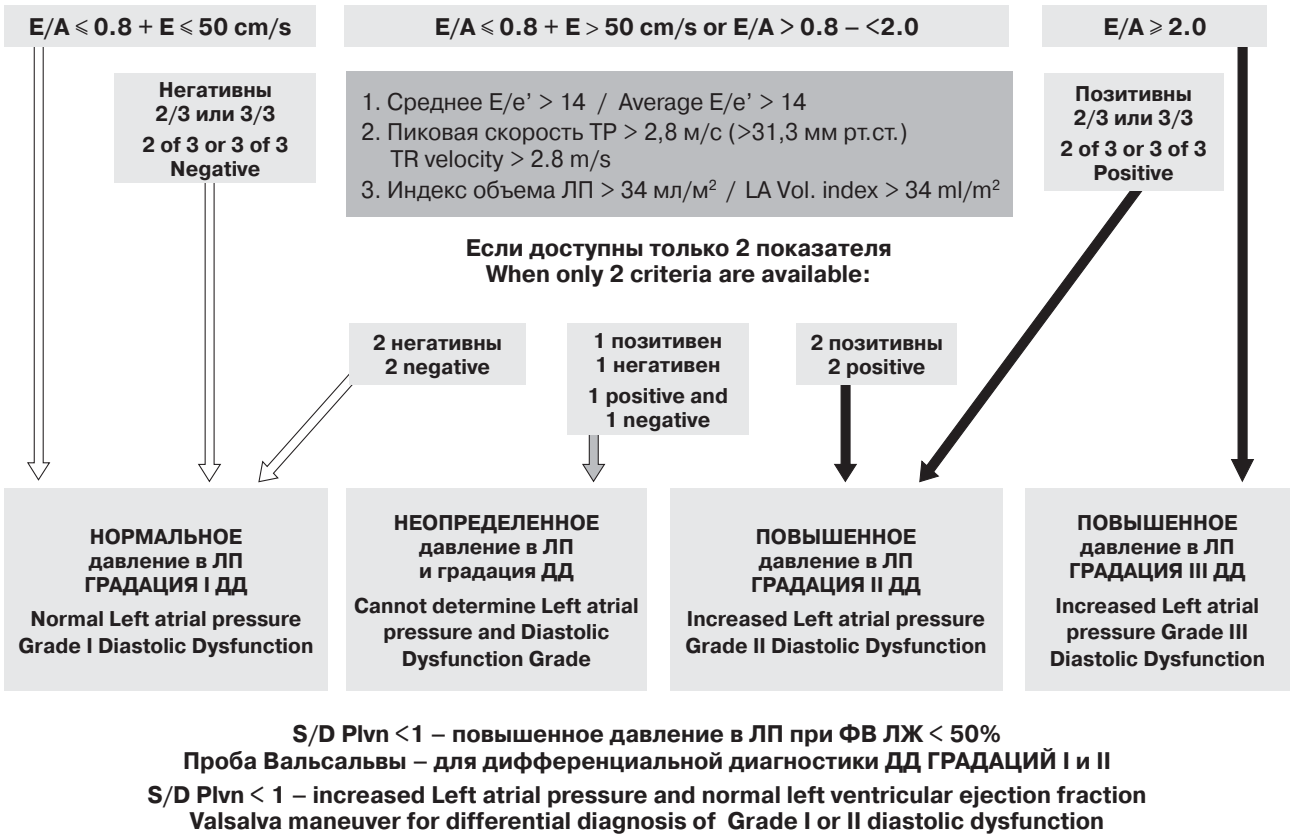
алгоритм А для пациентов без заболеваний сердца с ФВЛЖ >50% для исключения диастолической функции ЛЖ (рис. 1);

алгоритм В для пациентов со сниженной ФВЛЖ (<50%) / нормальной ФВЛЖ (>50%) при наличии заболеваний миокарда при выявленной диастоли-

1. Среднее E/e' > **14** / Average E/e' > **14**
2. Пиковая скорость e' МЖП <**7 см/с** или Пиковая скорость e' боковой стенки <**10 см/с**
   Septal e' velocity < **7 cm/s** or Lateral e' velocity <**10 cm/s**
3. Пиковая скорость ТР >**2,8 м/с (>31,3 мм рт.ст.)** / Tricuspid regurgitation velocity > **2.8 m/s (31.3 mm Hg)**
4. Индекс объема ЛП >**34 мл/м²** / Left atrial volume index >**34 ml/m²**

<50% (0/1 из 4) <50% positive (0/1 of 4)	50% (2 из 4) 50% positive (2 of 4)	>50% (3/4 из 4) >50% positive (3/4 of 4)
НОРМАЛЬНАЯ диастолическая функция **NORMAL DIASTOLIC FUNCTION**	**НЕОПРЕДЕЛЕННАЯ диастолическая функция** **INTERMEDIATE**	**ДИАСТОЛИЧЕСКАЯ ДИСФУНКЦИЯ** **DIASTOLIC DYSFUNCTION**

Рис. 1. Алгоритм А для оценки диастолической функции у пациентов без заболеваний сердца с ФВЛЖ >50%.
Fig. 1. Algorithm A for diagnosis of left ventricular diastolic dysfunction in patients with normal left ventricular ejection fraction.



S/D Plvn <1 – повышенное давление в ЛП при ФВ ЛЖ < 50%
Проба Вальсальвы – для дифференциальной диагностики ДД ГРАДАЦИЙ I и II

S/D Plvn < 1 – increased Left atrial pressure and normal left ventricular ejection fraction
Valsalva maneuver for differential diagnosis of Grade I or II diastolic dysfunction

Рис. 2. Алгоритм В для оценки диастолической функции у пациентов со сниженной ФВЛЖ (<50%) или нормальной ФВЛЖ (>50%) при наличии заболеваний миокарда.

Fig. 2. Algorithm B for estimation of left ventricular diastolic function in patients with depressed left ventricular ejection fraction and patients with myocardial disease and normal left ventricular ejection fraction.

ческой дисфункции или при подозрении на нее для оценки давления наполнения ЛЖ и определения степени диастолической дисфункции (рис. 2).

Среди пациентов, направленных на катетеризацию сердца, оба алгоритма продемонстрировали высокую надежность и превосходную межисследовательскую вариабельность [8].

В то же время чувствительность выявления диастолической дисфункции при использовании вышеописанного алгоритма, особенно дисфункции I степени, является низкой. Так, например, в работе J.G. Almeida и соавт. при оценке распространенности на 10 000 человек частота диастолической дисфункции, согласно рекомендациям 2016 г., составила 1,4% в сравнении с 34,1% при оценке диастолической дисфункции, согласно рекомендациям 2009 г. [9]. Недостатком алгоритма А для пациентов с ФВЛЖ >50% и неопределенной диастолической функцией является то, что категория пациентов с нормальной диастолической функцией может включать как пациентов с истинно нормальной диастолической функцией, так и пациентов со снижением релаксации миокарда при нормальном давлении наполнения, которые ранее классифицировались как имеющие диастолическую дисфункцию I степени. У части пациентов давление наполнения может повышаться только при физической нагрузке, а снижение e' может быть единственным измененным показателем в покое, что, согласно алгоритму А, позволяет их классифицировать, как имеющих нормальную диастолическую функцию [10, 11].

Для разделения нормальной диастолической функции и диастолической дисфункции I степени необходимо дополнительно учитывать клинические данные и результаты расширенного эхокардиографического обследования. Проведение пробы Вальсальвы может помочь отличить нормальное наполнение ЛЖ от псевдонормального и определить, является ли рестриктивное наполнение ЛЖ обратимым: снижение отношения E/A на ⩾50%, не вызванное слиянием скоростей E и A, высокоспецифично для повышенного давления наполнения ЛЖ и свидетельствует о наличии диастолической дисфункции. Увеличение продолжительности скорости Ar в легочных венах по сравнению с продолжительностью A на митральном клапане (Ar-A) также свидетельствует о повышенном давлении наполнения ЛЖ и диастолической дисфункции [1].

Три из 4 параметров (соотношение E/e' >14, индекс объема ЛП >34 мл/м^2 и пиковая скорость трикуспидальной регургитации (ТР) >2,8 м/с) в алгоритме А связаны не только с диастолической дисфункцией, но и с повышенным давлением наполнения ЛЖ, однако пациенты с наличием ⩾3 параметров классифицируются лишь как имеющие диастолическую дисфункцию без указания давления в ЛП [1]. В то же время алгоритм В позволяет помимо определения степени диастолической дисфункции оценить также давление в ЛП. При этом у существенной части пациентов по этому алгоритму давление в ЛП и степень диастолической дисфункции не могут быть определены. Также, согласно алгоритму Б, отсутствует возможность классификации пациента как имеющего нормальную диастолическую функцию, что может привести к переоценке диастолической дисфункции.

Поэтому если ориентироваться исключительно на алгоритм диагностики диастолической дисфункции, многих пациентов с диастолической дисфункцией I степени можно классифицировать как имеющих нормальную диастолическую функцию, в то же время у части пациентов наличие диастолической дисфункции может быть переоценено. К тому же, согласно вышеописанному алгоритму, у существенной части пациентов вообще не удается оценить диастолическую функцию.

Оценка давления наполнения левых отделов сердца

В 2019 г. был опубликован алгоритм диагностики СНсФВ (HFA-PEFF), описанный в консенсусном документе Европейской ассоциации специалистов по сердечной недостаточности и Европейского общества кардиологов [2]. Шкала HFA-PEFF основана на поэтапном обследовании: шаг I (P-pretest assessment) – оценка симптомов, коморбидности, проведение ЭКГ и стандартного трансторакального эхокардиографического обследования, NT-proBNP; шаг II (см. таблицу) (E – echocardiographic and natriuretic peptide score) – расширенное эхокардиографическое обследование и оценка NT-proBNP; шаг III (F – further advanced Workup in case of uncertainty) – диастолическая стресс-эхокардиография (стресс-ЭхоКГ) или инвазивная оценка давления наполнения ЛЖ; шаг IV (F2 – find the aetiology) – поиск этиологических причин по данным МРТ, сцинтиграфического обследования, биопсии, компьютерной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, генетического тестирования и специфических лабораторных исследований [2].

Согласно алгоритму HFA-PEFF, **на шаге I** стандартное эхокардиографическое исследование в покое позволяет оценить геометрию и сократительную функцию ЛЖ, исключить альтернативные причины одышки, такие как СН со сниженной ФВЛЖ, патология клапанов, первичная легочная гипертензия или перикардиальный выпот.

Таблица. Алгоритм HFA-PEFF, шаг II
Table. HFA-PEFF algorithm, step II

Показатель Measurement	Критерий Criterion	Баллы Points
A. Функциональные показатели / Functional measurement domain		
E' Скорость диастолического подъема основания ЛЖ в раннюю диастолу (см/с) Peak early diastolic velocity of mitral annular motion (cm/s)	Возраст < 75 лет: септальный e' < 7 или e' < 10 Age < 75 years: septal e' < 7 or lateral e' <10	2
	Возраст ⩾75 лет: септальный e'<5 или e'<7 Age ⩾75 years: septal e' < 5 or lateral e'< 7	2
E/e' – большой критерий / as major criterion Соотношение скорости раннего диастолического потока и скорости подъема основания ЛЖ Peak early diastolic velocity of mitral inflow, divided by the mean value of e' recorded at the septal and lateral mitral annulus	Соотношение E/e' ⩾ 15 E/e' ratio ⩾ 15	2
Скорость ТР (м/с) или СДЛА (мм рт.ст.) **Tricuspid regurgitation** velocity (m/s)	Пиковая скорость >2,8 или СДЛА >35 Peak velocity >2,8 or PASP >35	2
E/e' – малый критерий / as minor criterion	Соотношение E/e' 9–14 E/e' ratio 9–14	1
GLS Систолический глобальный продольный стрейн ЛЖ (%) Of the LV in systole (%, as positive value)	GLS < 16	1
B. Морфологические показатели / Morphological measurement domain		
Индекс объема ЛП (мл/м²) – большой критерий **Left atrial volume index** (ml/m²) as major criterion	Синусовый ритм: >34 Patient in sinus rhythm: >34	2
	ФП: > 40 Patient in atrial fibrillation: > 40	2
Оценка гипертрофии ЛЖ – большой критерий: индекс массы миокарда ЛЖ (ИММ ЛЖ) (г/м²) относительная толщина стенок ЛЖ **LV hypertrophy** (major): LVMI in g/m² LV RWT	Мужчины: ИММ ЛЖ ⩾149 и относительная толщина стенок ЛЖ >0,42 Male patient: LVMI ⩾ 149 and RWT > 0.42	2
	Женщины: ИММ ЛЖ ⩾122 и относительная толщина стенок ЛЖ >0,42 Female patient: LVMI ⩾ 122 and RWT > 0.42	2
Индекс объема ЛП (мл/м²) – малый критерий **Left atrial volume index** (ml/m²) as minor criterion	СР: индекс объема ЛП 29–34 Patient in sinus rhythm: 29–34	1
	ФП: индекс объема ЛП 34–40 Patient in atrial fibrillation: 34–40	1
Оценка гипертрофии ЛЖ – малый критерий: индекс массы миокарда ЛЖ (ИММ ЛЖ) (г/м²) относительная толщина стенок ЛЖ толщина стенок ЛЖ (мм) **LV hypertrophy** – minor criteria: LV mass index (LVMI) in g/m² LV relative wall thickness (RWT) LV wall thickness (mm)	Мужчины – наличие ⩾1 критерия: ИММ ЛЖ ⩾115 Относительная толщина стенок ЛЖ >0,42 Толщина стенок ЛЖ ⩾12 Male patient: LVMI ⩾ 115 RWT > 0.42 LV wall thickness ⩾ 12	1
	Женщины – наличие ⩾1 критерия: ИММ ЛЖ ⩾ 95 Относительная толщина стенок ЛЖ >0,42 Толщина стенок ЛЖ ⩾12 Female patient: LVMI ⩾ 95 RWT > 0.42 LV wall thickness ⩾ 12	1

Таблица (*окончание*).
Table (*end*).

Показатель Measurement	Критерий Criterion	Баллы Points
C. Оценка уровней NT-proBNP / Natriuretic peptide domain		
Плазменная концентрация мозгового натрийуретического пептида (BNP) или N-концевого фрагмента мозгового натрийуретического пептида (NT-proBNP) (пг/мл или нг/л) Serum concentration of BNP or NT-proBNP (pg/ml or ng/l)	Синусовый ритм / Patient in sinus rhythm:	
	BNP >80	2
	BNP 35–80	1
	NT-proBNP >220	2
	NT-proBNP 125–220	1
	ФП / Patient in atrial fibrillation:	
	BNP >240	2
	BNP 105–240	1
	NT-proBNP >660	2
	NT-proBNP 375–660	1
Общее количество баллов (сумма баллов из разделов A,B,C) Total number of points (sum of points in sections A, B, C)		
Диагноз СНсФВ маловероятен / Diagnosis of HFpEF is unlikely		<1
Диастолический стресс-тест или инвазивная оценка давления наполнения ЛЖ для уточнения диагноза Intermediate. Diastolic stress test or invasive assessment of LV filling pressure to confirm diagnosis		2–4
СНсФВ / HFpEF		⩾5

Примечание. ИММ – индекс массы миокарда; ЛЖ – левый желудочек; СНсФВ – сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса; ЛП – левое предсердие; СДЛА – систолическое давление в легочной артерии; ТР – трикуспидальная регургитация; ФП – фибрилляция предсердий; СР – синусовый ритм; BNP – мозговой натрийуретический пептид; GLS – глобальный продольный стрейн; NT-proBNP – N-концевой фрагмент мозгового натрийуретического пептида.

Note. BNP – brain natriuretic peptide; GLS – Global longitudinal strain; HFpEF – heart failure with preserved ejection fraction; LV – left ventriclular; LVMI – left ventriclular mass index; NT-proBNP – N-terminal pro brain natriuretic peptide; PASP – pulmonary artery sistolic pressure; RWT – relative wall thickness.

На шаге II в диагностике СНсФВ ведущая роль отводится эхокардиографическому исследованию (см. таблицу) [2, 12, 13].

Исследование каждого из вышеуказанных показателей имеет теоретическое обоснование и доказанную корреляцию с инвазивной оценкой давления наполнения ЛЖ. При этом диагностическая ценность каждого показателя в отдельности является невысокой. В связи с этим в рекомендациях подчеркивается необходимость оценки комбинации этих показателей.

Оценка e'

Пороговые значения показателя e' представлены в таблице.

Ранняя диастолическая скорость кольца митрального клапана e' отражает релаксацию ЛЖ. Значение e' является прямым отражением удлинения ЛЖ и напрямую зависит от преднагрузки [14, 15]. Скорость e' снижается с возрастом [16], в связи с чем в алгоритме HFA-PEFF выделены пороговые значения e' для разных возрастных групп (⩾75 лет и <75 лет).

Оценка E/e'

Пороговые значения соотношения E/e' представлены в таблице.

Среднее соотношение скорости раннего диастолического трансмитрального потока и ранней диастолической скорости кольца митрального клапана E/e' коррелирует с жесткостью ЛЖ и степенью фиброза [17], в меньшей степени зависит от возраста и преднагрузки, чем e', но в то же время напрямую зависит от степени гипертрофии ЛЖ [18, 19].

Оценка пиковой скорости ТР или расчетного систолического давления в легочной артерии (СДЛА)

Большой критерий (2 балла) – пиковая скорость ТР > 2,8 или СДЛА > 35 мм рт.ст. (см. таблицу).

Повышенное СДЛА и правожелудочковая дисфункция являются независимыми предикторами неблагоприятного прогноза при СНсФВ [20–22]. Даже умеренное повышение СДЛА ведет к изменению межжелудочкового взаимодействия, смещению межжелудочковой перегородки и препятствию наполнения ЛЖ [23]. Изолированное повышение СДЛА >35 мм рт.ст. не позволяет выставить диагноз СНсФВ, однако позволяет дифференцировать некардиальные причины одышки [24].

Оценка структуры и функции ЛП

Пороговые значения индекса объема ЛП для пациентов с синусовым ритмом и фибрилляцией предсердий указаны в таблице.

Увеличение ЛП часто встречается у пациентов с СНсФВ и связано с повышенным риском развития сердечно-сосудистых событий и является маркером повышенного давления наполнения ЛЖ. Поэтому оценку индексированного объема ЛП следует измерять у всех пациентов с подозрением на СНсФВ.

По данным двухмерной ЭхоКГ верхняя граница нормы для значения показателя 34 мл/м^2 [25]. Превышение этого значения может наблюдаться у спортсменов, а также у больных с брадикардией, анемией, предсердными аритмиями, митральными пороками. С другой стороны, до 10% здоровых людей имеют большие значения объема ЛП, а у 5% это показатель превышает 37 мл/м^2 [10]. К тому же максимальный объем ЛП является показателем, отражающим кумулятивный эффект повышенного наполнения ЛЖ в течение длительного времени, однако оценка объема ЛП может быть малоинформативной на самых ранних стадиях [1, 2, 12, 13]. Оценка резервуарной функции ЛП (соответствие наполнения ЛП к растяжению ЛЖ) методом оценки его деформации является дополнительным методом, позволяющим повысить диагностическую точность выявления диастолических нарушений и повышения давления наполнения ЛЖ у пациентов с подозрением на СНсФВ. В ряде исследований было показано, что оценка пиковой деформации фазы резервуара ЛП (left atrial reservoir strain, LASr) имеет более тесную корреляцию с результатами инвазивной оценки давления наполнения ЛЖ в сравнении с оценкой объема ЛП. Метод обладает высокой воспроизводимостью (95%) и позволяет выявить повышение давления наполнения на самой ранней стадии, когда объем ЛП еще не изменен [26–28]. D.A. Morris и соавт. при использовании алгоритма клинических рекомендаций 2016 г. обнаружили неопределенную диастолическую функцию у 21,3% из 517 пациентов. 69,1% из них имели нормальный индекс объема ЛП. У последних в 48,6% случаев было выявлено снижение LASr. При добавлении указанного критерия к алгоритму ASE/EACVI 2016 г. частота определения диастолической дисфункции увеличилась с 13,5 до 23,4% [26]. E. Potter и T.H. Marwick заменили индекс объема ЛП >34 мл/м^2 на оценку LASr, что обеспечило 75% снижение в классификации неопределенной диастолической функции [29].

Основное ограничение исследования – это методологические сложности оценки LASr. Критерные значения LASr, оцененные в исследованиях, основаны на данных, полученных ранее при исследовании людей без сердечно-сосудистых заболеваний на оборудовании одного производителя. Кроме того, исследование LASr имеет существенные ограничения у пациентов с неоптимальной визуализацией полостей сердца, а также у пациентов с фибрилляцией предсердий [13]. В дополнение к оценке LASr возможно провести оценку пиковой деформации фазы сокращения ЛП (LA pump strain), значение его >14% ассоциируется с нормальным давлением наполнения ЛЖ.

Оценка структуры и функции ЛЖ

Согласно клиническим рекомендациям по оценке структуры и функции камер сердца, геометрия ЛЖ классифицируется исходя из расчета индекса массы миокарда ЛЖ (ММЛЖ) и индекса относительной толщины его стенок (ИОТ) [25]. Расчет этих показателей позволяет отнести увеличение ММЛЖ (>95 г/м^2 для женщин и >115 г/м^2 для мужчин) к концентрической (ИОТ > 0,42) или эксцентрической (ИОТ ⩽ 0,42) гипертрофии, при нормальных значениях ММЛЖ (⩽95 г/м^2 для женщин и ⩽115 г/м^2 для мужчин) и ИОТ (⩽0,42) геометрия считается нормальной [25]. У пациентов с СНсФВ распространены концентрическая гипертрофия и концентрическое ремоделирование [30], в то время как эксцентрическая гипертрофия характерна для СНнФВ. Наиболее частой причиной гипертрофии ЛЖ у пациентов с СНсФВ является артериальная гипертония, однако следует исключать и другие причины гипертрофии, например гипертрофическую кардиомиопатию, амилоидоз сердца, особенно у пожилых пациентов. Несмотря на высокую распространенность гипертрофии миокарда ЛЖ у пациентов с СНсФВ, геометрия ЛЖ может быть нормальной у 31–46%

пациентов [30, 31]. Таким образом, наличие концентрического ремоделирования или гипертрофии ЛЖ свидетельствует в пользу СНсФВ, в то время как нормальная геометрия ЛЖ не исключает наличия СНсФВ. Для диагностики СНсВФ необходима верификация повышенного давления наполнения ЛЖ в покое или при выполнении физической нагрузки.

Оценка систолической глобальной продольной деформации ЛЖ (GLS)

Малый критерий (1 балл) – GLS <16% (см. таблицу)

Систолическая и диастолическая функции тесно связаны между собой. Несмотря на сохраненную ФВЛЖ, у пациентов с нарушением релаксации ЛЖ может происходить нарушение сократительной способности ЛЖ по длинной его оси, что может быть оценено с помощью оценки GLS [2, 13, 32].

Шаг III алгоритма HFA-PEFF включает проведение диастолической стресс-ЭхоКГ или инвазивную оценку среднего давления в ЛП.

Диастолический стресс-тест

Повышенное давление наполнения ЛЖ в покое обычно встречается при далеко зашедших стадиях СН, в то время как у пациентов с начальными стадиями заболевания и без признаков задержки жидкости давление наполнения в покое обычно нормальное и повышается лишь при нагрузке [4]. У таких пациентов может выявляться лишь изолированное замедление расслабления ЛЖ, или диастолическая дисфункция I степени [1], при которой среднее давление в левом предсердии в покое нормальное, уровень мозгового натрийуретического гормона находится в пределах нормальных значений.

Для диагностики СНсФВ у бессимптомных пациентов может помочь добавление к стандартному эхокардиографическому исследованию диастолического стресс-теста. Проведение диастолического стресс-теста повышает диагностическую чувствительность у пациентов с подозрением на СНсФВ, которые имеют нормальное предполагаемое давление наполнения ЛЖ в покое. Кроме того, диастолический стрес-тест следует проводить пациентам с подозрением на СНсФВ при выявлении сниженного ЛЖ GLS <16–18% [13].

Наиболее часто используемый протокол для проведения диастолического стресс теста, утвержденный в рекомендациях Европейского общества кардиологов, основан на проведении ЭхоКГ с нагрузкой на горизонтальном велоэргометре [2, 33]. Исследование начинается с нагрузки 25 Вт с постоянным ее повышением на 25 Вт каждые 3 мин со скоростью 60 оборотов в минуту до достижения целевой частоты сердечных сокращений (ЧСС), которая составляет 85% от максимальной ЧСС (220 минус возраст пациента в годах), либо до появления симптомов, ограничивающих дальнейшее проведение теста. Оценка соотношения E/e' и скорости TP проводится исходно, на каждой ступени нагрузки и на высоте нагрузки, а также в восстановительном периоде через 1–2 мин после прекращения нагрузки [2, 33]. У части пациентов допустимо ограничение ступеней подъема нагрузки по времени до 2 мин, однако при этом сокращается время на выведение нужных позиций и качественную регистрацию показателей [34]. На высоте нагрузки отмечается слияние волн E и A, а также e' и a', следовательно, соотношение E/e' следует рассчитать непосредственно перед их слиянием, а также после завершения теста, дождавшись разъединения волн. Альтернативой нагрузки на горизонтальном велоэргометре являются тредмил-тест и велоэргометрия в положении сидя с возможностью перехода в горизонтальное положение для оценки соотношения E/e'и скорости TP через 1–2 мин после прекращения нагрузки [34].

Диастолический стресс-тест: показания и критерии оценки

Диастолический стресс-тест показан при диастолической дисфункции I степени с отсутствием признаков повышения давления наполнения ЛЖ в покое.

Диастолический стресс-тест не показан: допплерография покоя – митральная e' > 7 см/с, латеральная e' > 10 см/с; выявление повышенного давления наполнения ЛЖ в покое.

Диастолический стресс-тест считается положительным при наличии трех критериев: среднее E/e' > 14 см/с или септальное E/e' > 15 см/с при выполнении нагрузки; максимальная скорость потока TP > 3,4 м/с при выполнении нагрузки; исходная септальная e' < 7 см/с или латеральная e' < 10 см/с (если регистрируется только латеральный e').

Особенности. Значимые изменения эхокардиографических показателей могут наблюдаться уже на первой (25 Вт) и второй (50 Вт) ступенях нагрузки, в связи с чем принципиально важно оценивать показатели на каждой ступени. Также важно учитывать, что на высоте нагрузки с появлением гипервентиляции и увеличением экскурсии легких возникают колебания соотношения E/e', в связи с чем соотношение E/e' следует оценивать на максимальном выдохе по среднему значению

между 3 циклами [1]. В случае изолированного повышения соотношения E/e' > 14 (с использованием средней септально-латеральной e') или E/e'> 15 (с использованием перегородочного значения e'), но при нормальных значениях скорости ТР (≤2,8 м/с или в отсутствие определяемой ТР), с большей вероятностью свидетельствует в пользу повышенного давления наполнения ЛЖ, чем изолированное повышение скорости ТР при нормальном значении E/e'. В рекомендациях по оценке диастолической функции от 2016 г. указано меньшее пороговое значение максимальной скорости потока ТР – 2,8 м/с [1]. Пороговым значением максимальной скорости потока ТР, согласно алгоритму HFA-PEFF, является значение >3,4 м/с [2].

Шаг IV (F2 – find the aetiology) диагностического алгоритма HAF-PEFF подразумевает поиск этиологических причин СНсФВ по данным МРТ, сцинтиграфического обследования, биопсии, компьютерной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, генетического тестирования и специфических лабораторных исследований.

На этом этапе роль ЭхоКГ заключается в выявлении некардиальных причин симптомов СНсФВ, исключении заболеваний, которые могут проявляться диастолической дисфункцией, например нарушения ритма сердца, констриктивный перикардит, клапанная патология и др., а также в выявлении причины развития СНсФВ и определении ее основных патофизиологических фенотипов.

Было предложено несколько разных подходов к выделению фенотипов СНсФВ, основанных на клинических, демографических, патогенетических характеристиках пациентов. Так, A. Uijl и соавт. при обследовании 6909 пациентов из числа включенных в регистр пациентов с СН (Swedish Heart Failure Registry) выделили 5 фенотипических кластеров на основе возраста пациентов и наличия сопутствующей патологии [35]. Выделяют и эхокардиографические фенотипы, которые могут наблюдаться у пациентов с СНсФВ. Они определяются изолированными или сочетанными морфологическими и функциональными нарушениями ЛЖ, ЛП, правых камер сердца и помогают классифицировать СНсФВ [36]. Предложенный алгоритм эхокардиографического фенотипирования соответствует алгоритму, разработанному на основе метода машинного обучения. Фенотипирование пациентов на основании эхокардиографических данных по алгоритму e'VM (e', V – объем ЛЖ, M – масса ЛЖ) позволяет с высокой степенью точности оценивать риск развития СН, госпитализации по поводу СН и сердечно-сосудистой смертности у асимптомных пациентов [37].

Однако наиболее важной с практической точки зрения представляется возможность фенотипирования пациентов с установленной СНсФВ для определения тактики лечения. Различие этиологических причин и патофизиологических механизмов формирования и течения СНсФВ у разных пациентов объясняют необходимость персонализированного подхода, что может быть достигнуто именно за счет выделения разных фенотипов. Ф.Т. Агеевым и А.Г. Овчинниковым предложено 4 основных фенотипа СНсФВ, подтвержденных убедительным обоснованием выбора конкретного метода лечения [38]. В каждом из четырех фетотипов можно выделить характерные эхокардиографические критерии. Наиболее часто встречаемым фенотипом СНсФВ является фенотип с синдромом "дефицита" мозгового натрийуретического пептида (НУП). Этот фенотип характерен незначительно повышенным уровнем НУП, умеренным или выраженным фиброзом миокарда, умеренной/выраженной гипертрофией миокарда ЛЖ. Второй фенотип, встречающийся у больных с ожирением, метаболическим синдромом и сахарным диабетом 2 типа, обозначен как кардиометаболический фенотип. Для больных этого фенотипа характерно наличие высокой жесткости ЛЖ и значительного повышения давления наполнения, особенно при нагрузке. Третий фенотип СНсФВ характеризуется смешанной легочной гипертонией и правожелудочковой недостаточностью, что проявляется повышением центрального венозного давления и застойными явлениями по большому кругу кровообращения. Отдельно выделяется фенотип амилоидоза сердца, представленный главным образом транстиретиновой кардиомиопатией. Эхокардиографически он характеризуется, как правило, высокой ФВ (>60%) и выраженной гипертрофией ЛЖ [38].

Заключение

Эхокардиографическое обследование дает важную информацию о структуре и функции сердца и показано всем пациентам с подозрением на СНсФВ. С практической точки зрения наиболее важные вопросы, которые можно решить с помощью ЭхоКГ: выявление у пациентов с необъяснимой одышкой сердечной или несердечной ее причины; оценка гемодинамического статуса; определение основных патофизиологических фенотипов СНсФВ для стратификации риска, прогнозирования исхода и определения тактики лечения.

Становится очевидной необходимость рутинной оценки показателей тканевой допплерографии врачами ультразвуковой диагностики, по результатам которой клинический кардиолог

имел бы возможность принять решение о необходимости разворачивания алгоритма диагностичеки СНсФВ методом диастолического стресс-теста. Для рутинной практики наиболее важным моментом для отбора пациента на диастолический стресс-тест является выявление снижения скорости расслабления по тканевой допплерографии.

Результаты диастолического стресс-теста в связи с его ограничениями следует интерпретировать в соответствии с клиническим сценарием или вероятностью наличия СНсФВ. Снижение диастолического резерва (E/e > 15) – краеугольный камень подтверждения СНсФВ.

Ключевой задачей ближайших клинических испытаний является более четкое выделение различных клинических фенотипов СНсФВ, что позволит улучшить лечение каждого конкретного пациента с СНсФВ.

Участие авторов

Солдатова А.М. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Широков Н.Е. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Ярославская Е.И. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Soldatova A.M. – concept and design of the study, review of publications, writing text, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Shirokov N.E. – concept and design of the study, review of publications, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Yaroslavskaya E.I. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P. et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2016; 29 (4): 277–314. http://doi.org/10.1016/j.echo.2016.01.011
2. Pieske B., Tschöpe C., de Boer R.A. et al. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFAPEFF diagnostic algorithm: a consensus recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur. Heart J.* 2019; 40 (40): 3297–3317. http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz641
3. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020; 25 (11): 4083. http://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083
   2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology.* 2020; 25 (11): 4083. http://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083 (In Russian)
4. Paulus W.J., Tschope C., Sanderson J.E. et al. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur. Heart J*. 2007; 28 (20): 2539–2550.
5. Овчинников А.Г., Арефьева Т.И., Потехина А.В., Филатова А.Ю., Агеев Ф.Т., Бойцов С.А. Молекулярные и клеточные механизмы, ассоциированные с микрососудистым воспалением в патогенезе сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса. *Acta Naturae*. 2020; 12 (2): 40–51.
   http://doi.org/10.32607/actanaturae.10990
   Ovchinnikov A.G., Arefieva T.I., Potekhina A.V. et al. The Molecular and Cellular Mechanisms Associated with a Microvascular Inflammation in the Pathogenesis of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Acta Naturae*. 2020; 12 (2): 40–51.
   http://doi.org/10.32607/actanaturae.10990 (In Russian)
6. Овчинников А.Г., Агеев Ф.Т., Алехин М.Н., Беленков Ю.Н., Васюк Ю.А., Галявич А.С., Гиляревский С.Р., Лопатин Ю.М., Мареев В.Ю., Мареев Ю.В., Митьков В.В., Потехина А.В., Простакова Т.С., Рыбакова М.К., Саидова М.А., Хадзегова А.Б., Чернов М.Ю., Ющук Е.Н., Бойцов С.А. Диастолическая трансторакальная стресс-эхокардиография с дозированной физической нагрузкой в диагностике сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса: показания, методология, интерпретация результатов. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2020; 2: 60–90.
   http://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-2-60-90
   Ovchinnikov A.G., Ageev F.T., Alekhin M.N. et al. Diastolic transthoracic stress echocardiography with incremental workload in the evaluation of heart failure with preserved ejection fraction: indications, methodology, interpretation. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2020; 2: 60–90. http://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-2-60-90 (In Russian)
7. Мрикаев Д.В. Диастолическая дисфункция левого желудочка у больных с сердечной недостаточностью. *Креативная кардиология*. 2017; 11 (2): 145–158. http://dx.doi.org/10.24022/1997-3187- 2017-11-2-145-158
   Mrikaev D.V. Left ventricular diastolic dysfunction in patients with heart failure. *Kreativnaya kardiologiya = Creative Cardiology, Russian Journal.* 2017; 11 (2): 145–158. http://dx.doi.org/10.24022/1997-3187-2017-11-2-145-158 (In Russian)
8. Nagueh S.F. Left Ventricular Diastolic Function: Understanding Pathophysiology, Diagnosis, and Prognosis With Echocardiography. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020; 228–244. http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.10.038
9. Almeida J.G., Fontes-Carvalho R., Sampaio F. et al. Impact of the 2016 ASE/EACVI recommendations on the

prevalence of diastolic dysfunction in general population. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2018; 19 (4): 380–386. http://doi.org/10.1093/ehjci/jex252
10. Caballero L., Kou S., Dulgheru R. et al. Echocardiographic reference ranges for normal cardiac Doppler data: results from the NORRE Study. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2015; 16 (9): 1031–1041. http://doi.org/10.1093/ehjci/jev083
11. Oh J.K., Miranda W.R., Bird J.G. et al. The 2016 Diastolic Function Guideline: Is it Already Time to Revisit or Revise Them? *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020; 13 (1 Pt 2): 327–335. http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.12.004
12. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M. et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treat ment of acute and chronic heart failure: Developed by the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). With the special contri bution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur. J. Heart Failure.* 2022; 24 (1): 4–131. http://doi.org/10.1002/ejhf.2333
13. Smiseth O.A., Morris D.A., Cardim N. et al.; Reviewers: This document was reviewed by members of the 2018–2020 EACVI Scientific Documents Committee. Multimodality imaging in patients with heart failure and preserved ejection fraction: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2022; 23 (2): e34–e61. http://doi.org/10.1093/ehjci/jeab154
14. Opdahl A., Remme E.W., Helle-Valle T. et al. Determinants of left ventricular early-diastolic lengthening velocity: independent contributions from left ventricular relaxation, restoring forces, and lengthening load. *Circulation*. 2009; 119 (19): 2578–2586. http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.791681
15. Graham R.J., Gelman J.S., Donelan L. et al. Effect of preload reduction by haemodialysis on new indices of diastolic function. *Clin. Sci. (Lond.).* 2003; 105: 499–506. http://doi.org/10.1042/CS20030059
16. von Bibra H., Paulus W.J., St John Sutton M. et al. Quantification of diastolic dysfunction via the age dependence of diastolic function – impact of insulin resistance with and without type 2 diabetes. *Int. J. Cardiol*. 2015; 182: 368–374. http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.12.005
17. Kasner M., Westermann D., Lopez B. et al. Diastolic tissue Doppler indexes correlate with the degree of collagen expression and cross-linking in heart failure and normal ejection fraction. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2011; 57: 977–985. http://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.10.024
18. Donal E., Galli E., Fraser A.G. Non-invasive estimation of left heart filling pressures: another nail in the coffin for E/e'? *Eur. J. Heart Fail.* 2017; 19 (2): 1661–1663. http://doi.org/10.1002/ejhf.944
19. Mitter S.S., Shah S.J., Thomas J.D. A test in context: E/A and E/e' to assess diastolic dysfunction and LV filling pressure. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2017; 69 (11): 1451–1464. http://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.12.037
20. Al-Naamani N., Preston I.R., Paulus J.K. et al. Pulmonary arterial capacitance is an important predictor of mortality in heart failure with a preserved ejection fraction. *JACC Heart Fail.* 2015; 3 (6): 467–474. http://doi.org/10.1016/j.jchf.2015.01.013
21. Aschauer S., Zotter-Tufaro C., Duca F. et al. Modes of death in patients with heart failure and preserved ejection fraction. *Int. J. Cardiol*. 2017; 228: 422–426. http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.11.154
22. Gorter T.M., van Veldhuisen D.J., Bauersachs J. et al. Right heart dysfunction and failure in heart failure with preserved ejection fraction: mechanisms and management. Position statement on behalf of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur. J. Heart Fail*. 2018; 20 (1): 16–37. http://doi.org/10.1002/ejhf.1029
23. Kasner M., Westermann D., Steendijk P. et al. Left ventricular dysfunction induced by nonsevere idiopathic pulmonary arterial hypertension: a pressure-volume relationship study. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2012; 186 (2): 181–189. http://doi.org/10.1164/rccm.201110-1860OC
24. Nagueh S.F., Chang S.M., Nabi F. et al. Cardiac imaging in patients with heart failure and preserved ejection fraction. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 10 (9): e006547. http://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.117.006547
25. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (1): 1–39. e14. http://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003
26. Morris D.A., Belyavskiy E., Aravind-Kumar R. et al. Potential Usefulness and Clinical Relevance of Adding Left Atrial Strain to Left Atrial Volume Index in the Detection of Left Ventricular Diastolic Dysfunction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (10): 1405–1415. http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.07.029
27. Inoue K., Khan F.H., Remme E.W. et al. Determinants of left atrial reservoir and pump strain and use of atrial strain for evaluation of left ventricular filling pressure. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2021; 23 (1): 61–70. http://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa415
28. Cameli M., Sparla S., Losito M. et al. Correlation of left atrial strain and Doppler measurements with invasive measurement of left ventricular end-diastolic pressure in patients stratified for different values of ejection fraction. *Echocardiography.* 2016; 33 (3): 398–405. http://doi.org/10.1111/echo.13094
29. Potter E., Marwick T.H. Assessment of left ventricular function by echocardiography: the case for routinely adding global longitudinal strain to ejection fraction. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (2, Pt 1): 260–274. http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.11.017
30. Zile M.R., Gottdiener J.S., Hetzel S.J. et al. Prevalence and significance of alterations in cardiac structure and function in patients with heart failure and a preserved ejection fraction. *Circulation*. 2011; 124 (23): 2491–2501. http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.011031
31. Shah A.M., Cikes M., Prasad N. et al. Echocardiographic features of patients with heart failure and preserved left ventricular ejection fraction. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2019; 74 (23): 2858–2873. http://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.09.063
32. Kraigher-Krainer E., Shah A.M., Gupta D.K. et al. Impaired systolic function by strain imaging in heart failure with preserved ejection fraction. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2014; 63 (5): 447–456. http://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.09.052
33. Lancellotti P., Pellikka P.A., Budts W. et al. The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart

disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 17 (11): 1191–1229. http://doi.org/10.1093/ehjci/jew190
34. Prasad S.B., Holland D.J., Atherton J.J. Diastolic stress echocardiography: from basic principles to clinical applications. *Heart.* 2018; 104 (21): 1739–1748. http://doi.org/10.1136/heartjnl-2017-312323
35. Uijl A., Savarese G., Vaartjes I. et al. Identification of distinct phenotypic clusters in heart failure with preserved ejection fraction. *Eur. J. Heart. Fail.* 2021; 23 (6): 973–982. http://doi.org/10.1002/ejhf.2169
36. Hagendorff A., Stöbe S., Kandels J. et al. Diagnostic role of echocardiography for patients with heart failure symptoms and preserved left ventricular ejection fraction. *Herz*. 2022; 47 (4): 293–300. http://doi.org/10.1007/s00059-022-05118-6
37. Kobayashi M., Huttin O., Magnusson M. et al.; STANISLAS Study Investigators. Machine Learning-Derived Echocardiographic Phenotypes Predict Heart Failure Incidence in Asymptomatic Individuals. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2022; 15 (2): 193–208. http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.07.004
38. Агеев Ф.Т., Овчинников А.Г. Лечение пациентов с сердечной недостаточностью и сохраненной фракцией выброса: опора на клинические фенотипы. *Кардиология.* 2022; 62 (7): 44–53.
Ageev F.T., Ovchinnikov A.G. Treatment of patients with heart failure and preserved ejection fraction: reliance on clinical phenotypes. *Kardiologiia.* 2022; 62 (7): 44–53. (In Russian)

Для корреспонденции*: Солдатова Анна Михайловна – тел.: 8-922-267-77-78. E-mail: amsoldatova@mail.ru

Солдатова Анна Михайловна – доктор мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории инструментальной диагностики научного отдела инструментальных методов исследования Тюменского кардиологического научного центра – филиала Томского НИМЦ РАН, Тюмень. https://orcid.org/0000-0001-5389-0973. E-mail: amsoldatova@mail.ru

Широков Никита Евгеньевич – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории инструментальной диагностики научного отдела инструментальных методов исследования Тюменского кардиологического научного центра – филиала Томского НИМЦ РАН, Тюмень. https://orcid.org/0000-0002-4325-2633. E-mail: shirokovne@infarkta.net

Ярославская Елена Ильинична – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией инструментальной диагностики научного отдела инструментальных методов исследования, врач ультразвуковой диагностики Тюменского кардиологического научного центра – филиала Томского НИМЦ РАН, Тюмень. https://orcid.org/0000-0003-1436-8853. E-mail: yaroslavskaya@gmail.com

Contact*: Anna M. Soldatova – phone: 8-922-267-77-78. E-mail: amsoldatova@mail.ru

Anna M. Soldatova – Doct. of Sci. (Med.), Senior Scientific Researcher of the Laboratory of Instrumental Diagnostics of the Scientific Division of Instrumental Research Methods, Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Science, Tyumen. https://orcid.org/0000-0001-5389-0973. E-mail: amsoldatova@mail.ru

Nikita E. Shirokov – Cand. of Sci. (Med.), Scientific Researcher of the Laboratory of Instrumental Diagnostics of the Scientific Division of Instrumental Research Methods, Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Science, Tyumen. https://orcid.org/0000-0002-4325- 2633. E-mail: shirokovne@infarkta.net.

Elena I. Yaroslavskaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Leading Scientific Researcher, Head of the Laboratory of Instrumental Diagnosticsf the Scientific Division of Instrumental Research Methods, Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Science, Tyumen. https://orcid.org/0000-0003-1436-8853. E-mail: yaroslavskaya@gmail.com

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1335

Диагностические возможности эхокардиографических показателей времени ускорения и отношения времени ускорения к общему времени выброса левого желудочка в оценке тяжелого аортального стеноза у пациентов со сниженной фракцией выброса левого желудочка

© **Базылев В.В., Бабуков Р.М.*, Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И.**

ФГБУ "Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии" Минздрава России, Пенза; 440071 Пенза, ул. Стасова, 6, Российская Федерация

Цель исследования: 1) определить диагностические возможности эхокардиографических показателей AT и AT/ET в определении тяжелого аортального стеноза (АС) у пациентов с низким ударным объемом (УО) и низким трансаортальным градиентом давления со сниженной фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ);

2) определить пороговые значения для показателей AT и AT/ET в диагностике тяжелого АС у пациентов с низким УО и низким трансаортальным градиентом давления со сниженной ФВ ЛЖ.

Материал и методы. Проспективно с 2017 по 2022 г. собрана база данных из 70 пациентов с тяжелым АС с низким УО и низким трансаортальным градиентом давления со сниженной ФВ ЛЖ.

Критерии включения в исследование: изолированный АС с эхокардиографическими характеристиками, соответствующими тяжелому стенозу с низким УО и низким трансаортальным градиентом давления со сниженной ФВ ЛЖ. Пациенты с истинно тяжелым АС со сниженной ФВ ЛЖ были идентифицированы на основании стресс-эхокардиографии с добутамином и расчетом прогнозируемой площади эффективного отверстия аортального клапана (AVA_{Proj}). Тяжелый стеноз определяли по значению AVA_{Proj} <1 см^2.

Результаты. Выявлена статистически значимая и высокая отрицательная корреляционная связь показателя AVA_{Proj} с отношением AT/ET ($r = 0,77$, $p < 0,001$), но слабая корреляционная связь с показателем AT ($r = 0,41$, $p = 0,01$). Кривая ROC-анализа продемонстрировала наибольшую прогностическую способность в дифференциальной диагностике тяжелого АС для отношения AT/ET (значение площади под кривой AUC 0,84 ± 0,54, $p < 0,001$) и меньшую прогностическую способность для показателя AT (значение под кривой AUC 0,63 ± 0,72, $p < 0,02$). Оптимальное пороговое значение определения тяжелого АС для отношения AT/ET составило >0,32 (чувствительность 92% и специфичность 70%), для показателя AT > 99 мс (чувствительность 81% и специфичность 88%). Анализ множественной логистической регрессии выявил, что отношение AT/ET является единственным эхокардиографическим параметром, оказывающим значимое влияние на дифференциальную диагностику тяжелого АС у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ (ОШ 1,5; 95% ДИ 1,2–1,9, $p = 0,001$). Выявлена низкая межисследовательская вариабельность в измерениях показателей AT (коэффициент внутриклассовой корреляции составил 0,93 (95% ДИ, 0,80–0,97)) и AT/ET (коэффициент внутриклассовой корреляции составил 0,88 (95% ДИ, 0,75–0,95)).

Выводы

1. У пациентов с АС со сниженными УО ЛЖ и трансаортальными градиентами со сниженной ФВ ЛЖ отношение AT/ET является высокочувствительным и хорошо воспроизводимым показателем в диагностике тяжелого АС. Показатель AT имеет низкую диагностическую способность в определении тяжелого АС у данной группы пациентов.

2. Пороговое значение отношение AT/ET > 0,32 может с высокой долей вероятности диагностировать тяжелый АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами со сниженной ФВ ЛЖ.

Ключевые слова: тяжелый аортальный стеноз, время ускорения, отношение AT/ET, AVA_{Proj}

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И. Диагностические возможности эхокардиографических показателей времени ускорения и отношения времени ускорения к общему времени выброса левого желудочка в оценке тяжелого аортального стеноза у пациентов со сниженной фракцией выброса левого желудочка. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 22–31. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1335

Поступила в редакцию: 08.02.2023. **Принята к печати:** 14.03.2023. **Опубликована online:** 30.09.2023.

Diagnostic capabilities of echocardiographic indicators of acceleration time and the ratio of acceleration time to total left ventricular ejection time in the assessment of severe aortic stenosis in patients with reduced left ventricular ejection fraction

© **Vladlen V. Bazylev, Ruslan M. Babukov*, Fedor L. Bartosh, Alena V. Levina, Artur I. Mikulyak**

Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza; 6, Stasova str., Penza 440071, Russian Federation

Objectives: 1) to evaluate the diagnostic capabilities of AT and AT/ET in determining severe AS in patients with reduced LV EF and low stroke volume.

2) to determine the threshold values for AT and AT/ET in the diagnosis of severe AS in patients with low stroke volume and low transaortic gradient.

Materials and methods. This is prospective single center study included 70 patients with low transaortic pressure gradient, reduced LV ejection fraction was and severe aortic stenosis. All patients have been examined from 2017 to 2022. Inclusion criteria for the study are: isolated AV stenosis with, reduced LV RF, low transaortic pressure gradient. Severity of AS was identified based on dobutamine stress echocardiography and aortic valve area (AVA). Severe stenosis was defined as AVA< 1 cm^2.

Result. A statistically significant and high negative correlation was found between the AVA and AT/ET ratio, ($r = 0.77$, $p < 0.001$) and weak correlation with the AT indicator ($r = 0.41$, $p = 0.01$). The RoC-analysis showed the greatest predictive ability in the differential diagnosis of severe AS for the ratio AT/ET (AUC = 0.84 ± 0.54, $p < 0.001$) and the lower predictive ability for the indicator AT (AUC = 0.63 ± 0.72, $p < 0.02$). The optimal threshold value for determining severe AS for the AT / ET > 0.32 (sensitivity of 92%, specificity of 70%), for AT > 99 (sensitivity of 81%, specificity of 88%). Multiple logistic regression analysis revealed that the AT/ET ratio is the only echocardiographic parameter that has a significant impact on the differential diagnosis of severe AS in patients with reduced LV EF (OR 1.5; 95% CI 1.2–1.9, $p = 0.001$). There was low interobserver variability in measurements of AT score (intraclass correlation coefficient was 0.93 [95% CI, 0.80-0.97] and AT/ET ratio (intraclass correlation coefficient was 0.88 [95% CI, 0.75–0.95]).

Conclusions

1. In patients with AS and reduced LV stroke volume the AT/ET ratio is highly sensitive and well reproducible in the diagnosis of severe AS. The AT index has a weak diagnostic ability of severe AS in that patients.

2. The threshold value of AT/ET >0.32 can diagnose severe AS with a high degree of probability in patients with reduced LV stroke volume and reduced transaortic gradients with reduced LV EF.

Keywords: heavy acceleration time, AT/ET ratio, AVA

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

For citation: Bazylev V.V., Babukov R.M., Bartosh F.L., Levina A.V., Mikulyak A.I. Diagnostic capabilities of echocardiographic indicators of acceleration time and the ratio of acceleration time to total left ventricular ejection time in the assessment of severe aortic stenosis in patients with reduced left ventricular ejection fraction. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 22–31. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1335

Received: 08.02.2023. **Accepted for publication:** 14.03.2023. **Published online:** 30.09.2023.

Список сокращений
АС – аортальный стеноз
ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка
УО – ударный объем
ЛЖ – левый желудочек
ВТЛЖ – выносящий тракт левого желудочка
АК – аортальный клапан

Введение

Согласно современным рекомендациям, тяжелый аортальный стеноз (АС) у пациентов с сохраненной фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) определяется по эхокардиографическим критериям: средний градиент давления ⩾40 мм рт.ст., пиковая скорость аортального клапана (АК) ⩾4 м/с и площадь АК (AVA) ⩽1,0 см^2 [1–4].

Однако до 40% пациентов могут иметь диссоциацию показателей с площадью эффективного отверстия в диапазоне тяжелого АС, но без соответствующих высоких трансаортальных градиентов и скоростей [5, 6].

Во многом это связано с зависимостью показателей от угла сканирования, ударного объема (УО) и сократительной способности левого желудочка (ЛЖ), ошибками измерения выносящего тракта ЛЖ (ВТЛЖ), феномена восстановления давления, строения АК, системного артериального давления, частоты сердечных сокращений. Таким образом, совершенно очевидно, что необходимы дополнительные параметры, которые имеют меньшую зависимость от вышеперечисленных факторов и обладают высокой диагностической способностью в определении тяжелого АС. Не так давно для диагностики тяжести АС у пациентов с сохраненной ФВ ЛЖ были предложены эхокардиографические показатели времени ускорения (АТ) и отношения времени ускорения к общему времени выброса (АТ/ЕТ). В проведенных многочисленных исследованиях были продемонстрированы достаточно высокая диагностическая способность показателей в определении тяжелого АС и их связь с клиническими исходами [7–15].

На сегодняшний день диагностические возможности показателей АТ и АТ/ЕТ у пациентов с тяжелым АС, сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ остаются неизученными. Пациенты этой группы составляют 5–10% с тяжелым АС и являются наиболее сложной группой в диагностике истинного АС, так как стандартные эхокардиографические показатели не могут применяться для достоверной диагностики тяжелого АС [16–18]. Согласно современным рекомендациям, для дифференциальной диагностики истинного тяжелого от псевдотяжелого АС этой группе пациентов рекомендуется проведение стресс-эхокардиографии с расчетом прогнозируемой площади отверстия AVA_{Proj} или расчет calcium score с помощью компьютерной томографии [3, 19, 20].

Рекомендуемые методы являются достаточно трудоемкими, имеют ряд ограничений и несут лучевую нагрузку на пациента. По этой причине неинвазивные методы ультразвуковой диагностики могли бы быть хорошей альтернативой в оценке тяжести АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ. Учитывая это, нами было проведено проспективное исследование для изучения диагностических возможностей эхокардиографических показателей АТ и АТ/ЕТ в определении тяжелого АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ.

Цель исследования: 1) определить диагностические возможности эхокардиографических показателей АТ и АТ/ЕТ в определении тяжелого АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ;

2) определить пороговые значения для показателей АТ и АТ/ЕТ в диагностике тяжелого АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ.

Материал и методы

Проспективно с 2017 по 2022 г. собрана база данных из 70 пациентов со сниженной ФВ ЛЖ, с тяжелым АС, сниженными УО и трансаортальным градиентом давления.

Критерии включения в исследование: изолированный стеноз АК с эхокардиографическими характеристиками, соответствующими тяжелому стенозу с низким УО и низким трансаортальным градиентом давления со сниженной ФВ ЛЖ (индекс УО ЛЖ < 35 мл/м^2, ФВ ЛЖ < 50%, площадь эффективного отверстия АК (AVA) < 1 см^2, максимальная трансаортальная скорость потока V_{max} < 4 м/с, средний градиент на АК G_{mean} <40 мм рт.ст., индекс площади эффективного отверстия (iAVA) < 0,6 см/м^2).

Критерии исключения: тяжелый стеноз АК с сохраненной ФВ ЛЖ ⩾ 50% и УО ЛЖ ⩾ 35 мл/м^2; тяжелый стеноз АК с сохраненной ФВ ЛЖ ⩾ 50 %, с парадоксально сниженными УО ЛЖ и трансаортальными градиентами; сочетанная нетривиальная недостаточность на аортальном, митральном и трикуспидальном клапанах; сочетанный умеренный или тяжелый стеноз митрального клапана; ускоренный кровоток в ВТЛЖ (выше 1,5 м/с); постоянная форма фибрилляции предсердий; установленный электрокардиостимулятор.

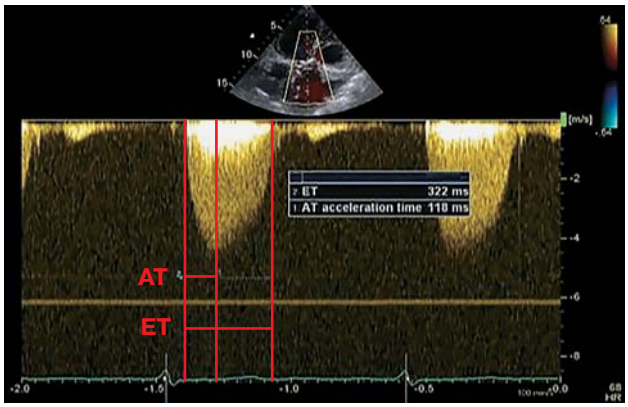


Рис. 1. Измерение систолических временны́х интервалов AT и AT/ET.

Fig. 1. Measurement of systolic time intervals AT and AT/ET.

Эхокардиография. Эхокардиографическое исследование проводилось с использованием ультразвуковых аппаратов (iE33; Phillips Medical Systems, Best, Нидерланды). Трансаортальные градиенты кровотока были получены непрерывноволновым допплером из интегралов линейной скорости кровотока в соответствии с упрощенной формулой уравнения Бернулли ($G = 4V^2$). Измерения диаметра ВТЛЖ проводили в парастернальной проекции по длинной оси в середине систолы, от внутреннего края к внутреннему краю на расстоянии не более чем 5 мм от АК. УО ЛЖ оценивали в ВТЛЖ по интегралу линейной скорости кровотока импульсным допплером. По уравнению непрерывности (AVA = SV/VTI, где SV – ударный объем ЛЖ, VTI – интеграл линейной скорости на АК) проводили расчет площади эффективного отверстия АК.

Систолические временны́е интервалы AT и отношение AT/ET были измерены с использованием кривой трансаортального потока, полученной в пятикамерной апикальной проекции непрерывноволновым допплером. ET измеряли как время от начала и до конца систолического кровотока, AT – как временно́й интервал между началом систолического кровотока и его максимальной скоростью (рис. 1).

Пациенты с истинно тяжелым АС со сниженной ФВ ЛЖ были идентифицированы при расчетах прогнозируемой площади эффективного отверстия АК (AVA_{Proj}) на основании стресс-эхокардиографии с добутамином согласно рекомендациям EACVI/ASE [1, 16]. Тяжелый стеноз определяли при значении $AVA_{Proj} < 1$ см^2.

Протокол инфузии добутамина состоял из 5-минутных инъекций дозы 5 мкг/кг/мин начиная с 5 мкг/кг/мин до максимальной дозы 20 мкг/кг/мин.

Расчет AVA_{Proj} проводили по формуле:

$$AVA_{Proj} = AVA_{Rest} + \frac{AVA_{Peak} - AVA_{Rest}}{Q_{Peak} - Q_{Rest}} \times (250 - Q_{Rest}),$$

где AVA_{Rest} – площадь эффективного отверстия АК, рассчитанная в покое, AVA_{Peak} – площадь эффективного отверстия АК, рассчитанная на максимальном пике нагрузки, Q_{Rest} – скорость трансаортального потока в покое (рассчитывалась путем деления УО ЛЖ на время выброса ЛЖ), Q_{Peak} – скорость трансаортального потока на максимальном пике нагрузки (рассчитывалась путем деления УО ЛЖ на время выброса ЛЖ).

Статистика. База данных составлялась в виде электронных таблиц в программе Microsoft Office Excel. Обработка данных проводилась в демоверсии SPSS Statistics (англ. Statistical Package for the Social Sciences). Результаты представлены в виде M ± SD, где M – среднее значение, SD – стандартное отклонение. Значимость различий между количественными признаками определялась при помощи t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при уровне $p < 0,05$. С помощью ROC-анализа (площади под кривой) была изучена прогностическая способность показателей AT и AT/ET в определении тяжелого АС и его пороговых значений. Оптимальное пороговое значение определяли по максимальному значению индекса Юдена (Youden's index). Корреляцию между значениями AVA_{Proj} и показателями AT и AT/ET оценивали с помощью метода линейной регрессии с оценкой корреляции Пирсона (r) и дисперсионного компонентного анализа. С помощью модели множественной логистической регрессии и анализа нейронных сетей изучалось независимое влияние эхокардиографических параметров на диагностику тяжелого АС. В качестве зависимой переменной использовали результат стресс-эхокардиографии, в качестве независимых переменных – параметры для диагностики АС, которые продемонстрировали свою значимость при однофакторной логистической регрессии. Межисследовательская вариабельность показателей AT и AT/ET была изучена с помощью коэффициента внутриклассовой корреляции.

Результаты

Все исходные клинические и эхокардиографические характеристики исследуемой группы представлены в табл. 1 и 2.

По результатам стресс-эхокардиографии с добутамином были реклассифицированы на псевдотяжелый АС 17 пациентов. Была выявлена статистически значимая и высокая отрицательная

Таблица 1. Клинические характеристики исследуемых пациентов
Table 1. Clinical characteristics of the studied patients

Показатели / Parameters	Основная группа Main group (n = 70)
Возраст, годы / Age, years	70 ± 11
ИМТ, кг/м² / BMI, kg/m²	28 ± 5.3
ППТ, м² / BSA, m²	1.96 ± 0.16
Сахарный диабет / Diabetes	12 (17%)
Euro SCORE II / Euro SCORE II	7.2 ± 2
Артериальная гипертензия / Arterial hypertension	60 (68%)
Мультифокальный атеросклероз / Multifocal atherosclerosis	31 (44%)
Нарушение функции почек / Impaired kidney function	15 (22%)
ХОБЛ / COPD	3 (4%)
Пароксизмальная фибрилляция предсердий Paroxysmal atrial fibrillation	17 (25%)
Перенесенный инфаркт миокарда Suffered myocardial infarction	5 (4%)
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, mmol/l	102 ± 18
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	122 ± 17
ФК II (NYHA) / FC II (NYHA)	3 (4%)
ФК III (NYHA) / FC III (NYHA)	65 (96%)
Двухстворчатый АК/ BAV	10 (14%)

Примечание. ИМТ – индекс массы тела, ППТ – площадь поверхности тела, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, ФК – функциональный класс.

Note. BMI – body mass index, BSA – body surface area, COPD – chronic obstructive pulmonary disease, FC – functional class.

Таблица 2. Эхокардиографические характеристики исследуемых пациентов
Table 2. Echocardiographic characteristics of the studied patients

Показатели / Parameters	Основная группа Main group (n = 70)
КДО, мл / EDV, ml	206 ± 38
КСО, мл / ESV, ml	155 ± 46
УО ЛЖ, мл / LV SV, ml	50 ± 13
ФВ ЛЖ, % / LV EF, %	28 ± 8
иУОлж, мл/м² / iSV LV, ml/m²	27 ± 7
$GLS_{ЛЖ}$, % / GLS LV, %	10,4 ± 4
Индекс объема ЛП / LA mass index	50 ± 9
Индекс массы ЛЖ, г/м² LV mass index, g/m²	165 ± 24
G_{max}, мм рт.ст. / G_{max}, mm Hg	50 ± 9
G_{mean}, мм рт.ст. / G_{mean}, mm Hg	29 ± 6
AVA, см² / AVA, cm²	0.67 ± 0.15
iAVA, см²/м² / iAVA, cm²/m²	0.34 ± 0.08
AVA_{Proj}, см² / AVA, cm²	0.84 ± 0.25
Индекс AVA_{Proj}, см²/м² Index AVA_{Proj}, cm²/m²	0.4 ± 0.12
DVI (безразмерный индекс) / DVI	0.18 ± 0.3
AT / ET	0.37 ± 0.03
AT, мс / AT, ms	119 ± 16
ET, мс / ET, ms	317 ± 52
СДЛА, мм рт.ст / SDLA, mm Hg	41 ± 4

Примечание. КДО – конечный диастолический объем ЛЖ, КСО – конечный систолический объем ЛЖ, УО ЛЖ – ударный объем ЛЖ, ФВ ЛЖ – фракция выброса ЛЖ, иУО ЛЖ – индекс УО ЛЖ, $GLS_{ЛЖ}$ – глобальная продольная деформация ЛЖ, G_{max} – максимальный трансаортальный градиент, G_{mean} – средний трансаортальный градиент давления, AVA – площадь эффективного отверстия АК, iAVA – индекс площади эффективного отверстия АК, AVA_{Proj} – прогнозируемая площадь эффективного отверстия АК, индекс AVA_{Proj} – индекс прогнозируемой площади эффективного отверстия АК, DVI – безразмерный индекс, AT – время ускорения (время раскрытия створок), ET – общее время выброса ЛЖ, СДЛА – систолическое давление в легочной артерии.

Note. EDV – final end diastolic volume LV, ESV – final systolic volume LV, LV SV – shock volume LV, LV EF – ejection fraction LV, iSV LV – index shock volume LV, GLSLV – global longitudinal deformation of the LV, G_{max} – maximum transaortic gradient, G_{mean} – mean transaortic pressure gradient, AVA – aortic valve effective orifice area, iAVA – index of aortic valve area, AVA_{Proj} – the predicted aortic valve effective orifice area, индекс AVA_{Proj} – index of the predicted area of aortic valve, DVI – dimensionless index, AT – acceleration time (time of maximum leaf opening), ET – total LV ejection time, SDLA – systolic pressure in the pulmonary artery.

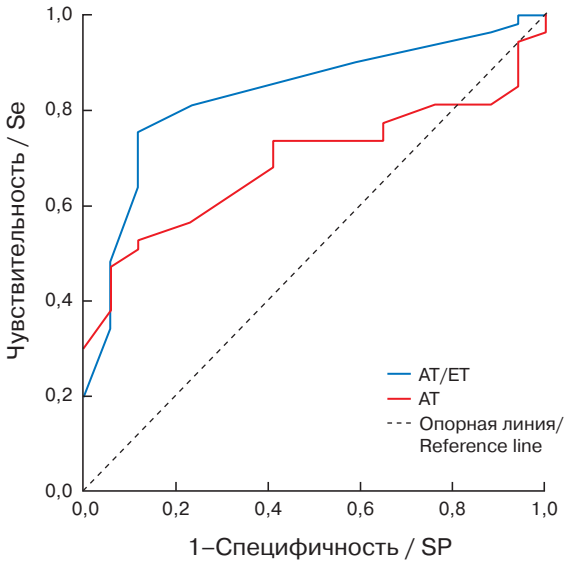


Рис. 2. График кривой ROC-анализа, прогнозирующей способности тяжелого АС показателями АТ и отношением AT/ET.

Fig. 2. A graph of the ROC-analysis curve predicting the ability of a heavy AU with AT indicators and the AT/ET ratio.

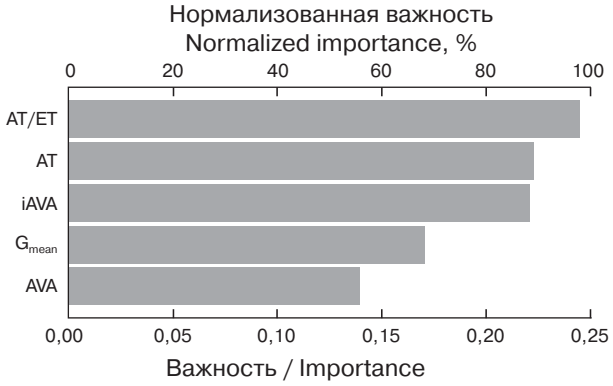


Рис. 3. Результат анализа нейронной сети нормализованной важности в прогнозировании тяжелого АС показателями АТ и отношением AT/ET.

Fig. 3. The result of the analysis of a neural network of normalized importance in predicting severe AS by AT indicators and the AT/ET ratio.

корреляционная связь показателя AVA_{Proj} с отношением AT/ET (r = 0,77 p < 0,001), но слабая корреляционная связь с показателем АТ (r = 0,41, p = 0,01). Кривая ROC-анализа продемонстрировала наибольшую прогностическую способность в дифференциальной диагностике тяжелого АС для отношения AT/ET (значение площади под кривой AUC 0,84 ± 0,54, p < 0,001) и меньшую прогностическую способность для показателя АТ (значение под кривой AUC 0,63 ± 0,72, p < 0,02) (рис. 2).

Таблица 3. Таблица важности независимых переменных
Table 3. Table of importance of independent variables

Показатели Parameters	Важность Importance	Нормализованная важность Normalized importance
AT/ET	0.24	100%
G_{mean}, мм рт.ст.	0.17	69%
iAVA, см²/м²	0.21	88%
AT, мс	0.22	89%
AVA, см²	0.14	57%

Примечание. Здесь и в табл. 4: AT/ET – отношение времени ускорения (времени раскрытия створок) к общему времени выброса ЛЖ, G_{mean} – средний трансаортальный градиент давления, iAVA – площадь эффективного отверстия АК, АТ – время ускорения, AVA – площадь эффективного отверстия АК.
Note. Here and in the table 4: AT/ET – the ratio of acceleration time (time of maximum leaf opening) to the total LV ejection time, G_{mean} – mean transaortic pressure gradient, iAVA – index of aortic valve area, AT – acceleration time, AVA – aortic valve effective orifice area.

Таблица 4. Результаты анализа многофакторной логистической регрессии

Table 4. Results of multivariate logistic regression analysis

Показатели Parameters	OR	95%ДИ 95%CI	p
AT, мс	1.05	(0.95; 1.2)	0.2
AT/ET	1.5	(1.2; 1.9)	0.001
G_{mean}, мм рт.ст.	1.1	(1.04; 1.3)	0.07
AVA, см²	2.7	(1.7; 3.3)	0.8
iAVA, см²/м²	4.3	(2.4; 5.1)	0.85

Оптимальное пороговое значение в определении тяжелого АС для отношения AT/ET составило >0,32 с чувствительностью 92% и специфичностью 70%; для показателя АТ >99 мс с чувствительностью 81% и специфичностью 88%. Анализ множественной логистической регрессии выявил, что отношение AT/ET является единственным эхокардиографическим параметром, оказывающим значимое влияние на дифференциальную диагностику тяжелого АС у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ (ОШ 1,5; 95% ДИ 1,2–1,9, p = 0,001) (табл. 3).

Анализ нейронных сетей также продемонстрировал, что отношение AT/ET обладает самой высокой нормализованной важностью по сравнению с другими эхокардиографическими параметрами в дифференциальной диагностике тяжелого АС у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ (рис. 3, табл. 4).

Выявлена низкая межисследовательская вариабельность в измерениях показателей AT (коэффициент внутриклассовой корреляции составил 0,93 (95% ДИ, 0,80–0,97)) и AT/ET (коэффициент внутриклассовой корреляции составил 0,88 (95% ДИ, 0,75–0,95)).

Обсуждение

Показатели AT и AT/ET являются относительно новыми эхокардиографическими параметрами в оценке тяжелого АС у пациентов с нативным клапаном. По сравнению со стандартными эхокардиографическими параметрами они имеют меньшую зависимость от систолической функции ЛЖ, УО ЛЖ, феномена восстановления давления, системного артериального давления, частоты сердечных сокращений и угла сканирования.

Ввиду этого показатели AT и AT/ET могут иметь более высокую чувствительность в диагностике тяжелого АС. Обоснование использования данных показателей в оценке тяжести стеноза АК заключалась в том, что по мере кальцинирования створок АК увеличивается их ригидность и время их максимального раскрытия (время ускорения – AT). Соответственно, чем больше времени занимает раскрытие створок, тем выраженнее тяжесть стеноза АК. Таким образом, время ускорения увеличивается пропорционально нарастанию тяжести АС.

В 80-х годах L. Hatle и соавт. (1980) [21] продемонстрировали высокую корреляционную связь показателя AT с данными катетеризации. В проведенном исследовании градиенты давления были недооценены у 1/3 пациентов с помощью допплерографии по сравнению с инвазивным измерением. Авторы сообщали, что более поздняя пиковая скорость помогла реклассифицировать диагноз с умеренного на тяжелый АС. В 2009 г. после ряда исследований показатели AT и AT/ET были рекомендованы для оценки функции протеза [22]. Позже ряд исследований продемонстрировал высокую корреляцию данных показателей со стандартными эхокардиографическими параметрами в оценке АС при нативном клапане [9–11].

В исследовании S. Gamaza-Chulián и соавт. (2017) [8] было сообщено, что использование показателей AT с пороговым значением >94 мс и AT/ET >0,35 способно предсказывать тяжелый АС с чувствительностью и специфичностью 71 и 59%, 81 и 86% соответственно.

В недавнем нашем исследовании [7] было продемонстрировано, что отношение AT/ET обладает сильной корреляционной связью с данными катетеризации и высокой диагностической способностью тяжелого АС у пациентов с сохраненным УО и ФВ ЛЖ и высокими трансаортальными градиентами. Пороговое значение показателя AT/ET ⩾ 0,35 может верифицировать тяжелый АС с чувствительностью и специфичностью 84 и 79% соответственно.

В исследовании. A.R. Griguer и соавт. (2018) [12] было продемонстрировано, что отношение AT/ET > 0,36 является сильным предиктором летальности у пациентов с тяжелым АС с сохраненными УО и ФВ ЛЖ при отсутствии симптомов.

В исследовании A. Altes и соавт. (2019) [23] было доказано, что соотношение AT/ET >0,36 является независимым предиктором летальности у пациентов с тяжелым АС с низким УО и сохраненной ФВ ЛЖ [11]. Кроме того, была продемонстрирована высокая корреляционная связь повышенного AT/ET с повышенным показателем кальцификации АК (значением calcium score), оцененной с помощью компьютерной томографии. Таким образом, показатели AT и AT/ET имеют большую доказательную базу в высокочувствительной диагностике тяжести АС у пациентов с сохраненным УО и сохраненной ФВ ЛЖ.

Однако на сегодняшний день диагностические возможности этих показателей у пациентов с тяжелым АС со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ остаются неизученными. Насколько нам известно, это первое проспективное исследование по изучению диагностических возможностей показателей AT и AT/ET в определении данного варианта тяжелого АС.

В нашем исследовании мы получили высокую корреляционную связь отношения AT/ET с показателем AVA_{Proj}, но слабую с показателем AT. По данным ROC-анализа соотношение AT/ET обладало лучшей диагностической способностью в верификации тяжелого АС, в отличие от изолированного показателя AT. По результатам множественной логистической регрессии отношение AT/ET является единственным эхокардиографическим параметром, оказывающим значимое влияние на дифференциальную диагностику тяжелого АС у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ. Более низкая диагностическая возможность показателя AT у пациентов со сниженным УО и сниженными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ объяснима тем, что показатель AT имеет сильную зависимость от сократительной способности ЛЖ, УО ЛЖ, частоты сердечных сокращений и показателей артериального давления [9, 10], в то время как на диагностические возможности отношения AT/ET не оказывают влияние вышеперечисленные факторы из-за нивелирующего влияния показателя ET [14]. По этой причине мы не рекомендуем опираться на показа-

тель АТ при оценке тяжести АС в группе пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ, а отдавать предпочтение отношению АТ/ЕТ. Согласно нашим данным, оптимальным пороговым значением для определения тяжелого АС является отношение АТ/ЕТ > 0,32 (чувствительность и специфичность значения 92 и 70% соответственно). Наши данные согласуются с результатами ретроспективного исследования Y. Abe и соавт. (2021) [24], где было выявлено, что отношение АТ/ЕТ обладает хорошей прогностической способностью тяжелого АС у пациентов со сниженными УО и трансаортальными градиентами на фоне сниженной ФВ ЛЖ. Пороговое значение АТ/ЕТ >0,33 предсказывало тяжелый АС с чувствительностью 65% и специфичностью 84%.

Одной из важных характеристик любого диагностического показателя является его воспроизводимость. По данным нашего исследования показатели АТ и АТ/ЕТ обладают низкой межисследовательской вариабельностью (коэффициент внутриклассовой корреляции составил 0,93 (95% ДИ, 0,80–0,97), p < 0,001 и 0,88 (95% ДИ, 0,75–0,95), p < 0,001 соответственно). Аналогичная хорошая воспроизводимость показателей АТ и отношения АТ/ЕТ была получена и в ранее проведенных исследованиях [8, 12, 15].

На наш взгляд, отношение АТ/ЕТ является ценным дополнительным эхокардиографическим показателем в определении тяжелого АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами со сниженной ФВ ЛЖ.

Выводы

1. У пациентов с АС со сниженными УО ЛЖ и трансаортальными градиентами со сниженной ФВ ЛЖ отношение АТ/ЕТ является высокочувствительным и хорошо воспроизводимым показателем в диагностике тяжелого АС. Показатель АТ имеет низкую диагностическую способность в определении тяжелого АС у данной группы пациентов.

2. Пороговое значение отношение АТ/ЕТ > 0,32 может с высокой долей вероятности диагностировать тяжелый АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансаортальными градиентами со сниженной ФВ ЛЖ.

Участие авторов

Базылев В.В. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Бабуков Р.М. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Бартош Ф.Л. – участие в научном дизайне, проведение исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Лёвина А.В. – подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, проведение исследования.

Микуляк А.И. – участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Bazylev V.V. – concept and design of the study participation in scientific design approval of the final version of the article, conducting research.

Babukov R.M. – concept and design of the study conducting research collection and analysis of data review of publications statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Bartosh F.L. – participation in scientific design, conducting research, approval of the final version of the article.

Levina A.V. – text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Mikulyak A.I. – participation in scientific design preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

1. Рекомендации ESC/EACTS 2017 по лечению клапанной болезни сердца. *Российский кардиологический журнал*. 2018; 23 (7): 103–155. http://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-7-103-155.
ESC/EACTS 2017 guidelines for causing valvular heart disease. *Russian Journal of Cardiology.* 2018; 23 (7): 103–155. http://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-7-103-155 (In Russian)
2. Writing Committee Members; Otto C.M., Nishimura R.A. et al. 2020 ACC/AHA Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2021; 77 (4): 25–197. http://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.018
3. Baumgartner H., Hung J., Bermejo J. et al. Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2017; 18 (3): 254–275. http://doi.org/10.1093/ehjci/jew335
4. Рубаненко А.О., Дьячков В.А., Щукин Ю.В., Рубаненко О.А., Юрченко И.Н. Приобретенные пороки сердца: клиническая картина, диагностика. *Кардиология; новости, мнения, обучение*. 2018; 1 (1): 26–36. http://doi.org/10.26411/2309-1908-2010-13003

Rubanenko A.O., Dyachkov V.A., Shchukin Yu.V. et al. Acquired heart defects: clinical picture, diagnosis. *Cardiology; News, Opinions, Training*. 2018; 1 (1): 26–36. http://doi.org/10.26411/2309-1908-2010-13003 (In Russian)

5. Minners J., Allgeier M., Gohlke-Baerwolf C. et al. Inconsistencies of echocardiographic criteria for the grading of aortic valve stenosis. *Eur. Heart J*. 2008; 29 (8): 1043–1038. http://doi.org/ 10.1093/eurheartj/ehm543
6. Комлев А.Е., Саидова М.А., Имаев Т.Э. и др. Гемодинамические варианты тяжелого аортального стеноза. *Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии*. 2020; 16 (5): 822–830. http://doi.org/ 10.20996/1819-6446-2020-10-06
Komlev A.E., Saidova M.A., Imaev T.E. et al. Hemodynamic variants of severe aortic stenosis. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2020; 16 (5): 822–830. http://doi.org/10.20996/1819-6446-2020-10-06 (In Russian)
7. Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В. Сравнительный анализ эхокардиографических показателей времени ускорения и соотношения времени ускорения к общему времени выброса левого желудочка с показателями катетеризации в оценке тяжести аортального стеноза у пациентов с Normal flow High Gradient. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (2): 91–100. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1006
Bazylev V.V., Babukov R.M., Bartosh F.L., Levina A.V. Comparative analysis of echocardiographic indicators of acceleration time and the ratio of acceleration time to total left ventricular ejection time with catheterization indicators in assessing the severity of aortic stenosis in patients with Normal flow high gradient. *Medical Visualization*. 2022; 26 (2): 91–100. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1006 (In Russian)
8. Gamaza-Chulián S., Díaz-Retamino E., Camacho-Freire S. et al. Acceleration Time and Ratio of Acceleration Time to Ejection Time in Aortic Stenosis: New Echocardiographic Diagnostic Parameters. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2017; 30 (10): 947–955. http://doi.org/10.1016/j.echo.2017.06.001
9. Gamaza-Chulián S., Camacho-Freire S., Toro-Cebada R. et al. Ratio of Acceleration Time to Ejection Time for Assessing Aortic Stenosis Severity. *Echocardiography*. 2015; 32 (12): 1754–1761. http://doi.org/10.1111/echo.12978
10. Kamimura D., Hans S., Suzuki T. et al. Time to Peak Velocity Is Useful for Detecting Severe Aortic Stenosis. *J. Am. Heart Assoc*. 201622; 5 (10): e003907. http://doi.org/ 10.1161/JAHA.116.003907
11. Kim S.H., Kim J.S., Kim B.S. et al. Time to peak velocity of aortic flow is useful in predicting severe aortic stenosis. *Int. J. Cardiol*. 2014; 172 (3): 443–446. http://doi.org/ 10.1016/j.ijcard.2013.12.318
12. Griguer A.R., Tribouilloy C., Truffier A. et al. Clinical Significance of Ejection Dynamics Parameters in Patients with Aortic Stenosis: An Outcome Study. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2018; 31 (5): 551–560.e2. http://doi.org/ 10.1016/j.echo.2017.11.015
13. Altes A., Thellier N., Bohbot Y. et al. Relationship Between the Ratio of Acceleration Time/Ejection Time and Mortality in Patients With High-Gradient Severe Aortic Stenosis. *J. Am. Heart Assoc*. 2021; 10 (23):021873. http://doi.org/ 10.1161/JAHA.121.021873
14. Altes A., Thellier N., Bohbot Y. et al. Prognostic Impact of the Ratio of Acceleration Time to Ejection Time in Patients With Low Gradient Severe Aortic Stenosis and Preserved Ejection Fraction. *Am. J. Cardiol.* 2019; 124 (10): 1594–1600. http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.07.064
15. Einarsen E., Cramariuc D., Bahlmann E. et al. Higher Acceleration/Ejection Time Ratio Predicts Impaired Outcome in Aortic Valve Stenosis. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2021; 14 (1): 011467. http://doi.org/ 10.1161/CIRCIMAGING.120.011467
16. Connolly H.M., Oh J.K., Schaff H.V. et al. Severe aortic stenosis with low transvalvular gradient and severe left ventricular dysfunction: result of aortic valve replacement in 52 patients. *Circulation*. 2000; 101 (16): 1940–1946. http://dx.doi.org/ 10.1161/01.cir.101.16.1940
17. Kulik A., Burwash I.G., Kapila V. et al. Long-term outcomes after valve replacement for low-gradient aortic stenosis: impact of prosthesis-patient mismatch. *Circulation*. 2006; 4 (114): I553–558. http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.001180
18. Pibarot P., Dumesnil J.G. Low-flow, low-gradient aortic stenosis with normal and depressed left ventricular ejection fraction. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2012; 60 (19): 1845–1853. http://doi.org/ 10.1016/j.jacc.2012.06.051
19. Рябова Т.Р., Соколов А.А., Рябов В.В. Стресс-эхокардиография при пороках аортального клапана. Современное состояние вопроса. *Сердце: журнал для практикующих врачей*. 2015; 14 (3): 170–179.
Ryabova T.R., Sokolov A.A., Ryabov V.V. Stress echocardiography in aortic valve defects. The current state of the issue. *Heart: A Journal for Practitioners*. 2015; 14 (3): 170–179. (In Russian)
20. Lancellotti P., Pellikka P.A., Budts W. et al. The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 17 (11): 1191–1229. http://doi.org/10.1093/ehjci/jew190
21. Hatle L., Angelsen B.A., Tromsdal A. Non-invasive assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Br. Heart J*. 1980; 43: 284–292. http://dx.doi.org/ 10.1136/hrt.43.3.284
22. Zoghbi W.A., Chambers J.B., Dumesnil J.G. et al. American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee; Task Force on Prosthetic Valves; American College of Cardiology Cardiovascular Imaging Committee; Cardiac Imaging Committee of the American Heart Association; European Association of Echocardiography; European Society of Cardiology; Japanese Society of Echocardiography; Canadian Society of Echocardiography; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association; European Association of Echocardiography; European Society of Cardiology; Japanese Society of Echocardiography; Canadian Society of Echocardiography. Recommendations for evaluation of prosthetic valves with echocardiography and doppler ultrasound: a report From the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Task Force on Prosthetic Valves, developed in conjunction with the American College of Cardiology Cardiovascular Imaging Committee, Cardiac Imaging Committee of the American Heart Association, the European Association of Echocardiography,

a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography and the Canadian Society of Echocardiography, endorsed by the American College of Cardiology Foundation, American Heart Association, European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography, and Canadian Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (9): 975–1014. http://doi.org/10.1016/j.echo.2009.07.013

23. Altes A., Sochala M., Attias D. et al. Correlates of the ratio of acceleration time to ejection time in patients with aortic stenosis: an echocardiographic and computed tomography study. *Arch. Cardiovasc. Dis*. 2019; 112: 567–575. http://doi.org/10.1016/j.acvd.2019.06.004
24. Abe Y., Kitai T., Furukawa A. et al. Assessing the true severity of low-gradient aortic stenosis using resting echocardiography. *J. Cardiol*. 2021; 77 (4): 327–333. http://doi.org/10.1016/j.jjcc.2020.07.028

Для корреспонденции*: Бабуков Руслан Медарисович – 440071 Пенза, ул. Стасова, 6. Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии Минздрава России. Тел.: +7-937-421-69-69. E-mail: cardio-penza@yandex.ru; ruslan.babukov@mail.ru

Базылев Владлен Владленович – доктор мед. наук, профессор, главный врач ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. https://orcid.org/0000-0001-6089-9722

Бартош Фёдор Леонидович – канд. мед. наук, заведующий отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. https://orcid.org/0000-0001-5482-3211

Бабуков Руслан Медарисович – врач-кардиолог, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. https://orcid.org/0000-0002-7338-9462

Лёвина Алёна Витальевна – врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. https://orcid.org/0000-0002-3210-3974

Микуляк Артур Иванович – канд. мед. наук, заведующий кардиохирургическим отделением №1, врач сердечно-сосудистый хирург ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. https://orcid.org/0000-0002-9519-5036

Contact*: Ruslan M. Babukov – 6, Stasova str., Penza 440071, Russian Federation. Phone: +7-937-421-69-69. E-mail: cardio-penzayandex.ru; ruslan.babukovmail.ru

Vladlen V. Bazylev – Doct. of Sci. (Med.), Chief Physician of the Federal Centre for Cardiovascular Surger, Penza. https://orcid.org/0000-0001-6089-9722

Fedor L. Bartosh – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of the of functional and ultrasound diangistics Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza, Russia. https://orcid.org/0000-0001-5482-3211

Ruslan M. Babukov – doctor cardiologist, ultrasound diagnosis doctor Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. https://orcid.org/0000-0002-7338-9462

Alena V. Levina – ultrasound diagnosis doctor Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. https://orcid.org/0000-0002-3210-3974

Artur I. Mikulyak –Cand. Sci. (Med.), Head of cardiovascular surgery department №1, Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. https://orcid.org/0000-0002-9519-5036.

Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1369

Комплексная ультразвуковая оценка состояния комплекса интима-медиа брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом

© **Вахитова А.Р.[1]*, Бердалин А.Б.[2], Лелюк В.Г.[2, 4], Лелюк С.Э.[3, 4]**

[1] ГБУЗ "Городская поликлиника № 64, филиал № 2 ДЗ города Москвы"; 107023 Москва, ул. Ладожская, д. 4-6, Российская Федерация

[2] ФГБУ "Федеральный центр мозга и нейротехнологий" ФМБА России; 117513 Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 10, Российская Федерация

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

[4] МПМЦ "Сосудистая клиника на Патриарших"; 123001 Москва, Большой Козихинский пер., д. 22, стр. 1, Российская Федерация

Цель исследования: комплексная ультразвуковая оценка состояния комплекса интима-медиа (КИМ) брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом (МС).

Материал и методы. Обследовано 82 пациента, из них 62 пациента с МС и 20 практически здоровых лиц. Всем пациентам проводился биохимический анализ крови, УЗДС экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий с оценкой качественных и количественных характеристик КИМ бифуркации плечеголовного ствола (ПГС), общих сонных (ОСА) и позвоночных артерий (ПА).

Результаты. У 100% пациентов с МС зафиксированы изменения эхоструктуры КИМ в виде патологической слоистости, у 9 (14,5%) пациентов – в виде гиперэхогенных включений. Толщина КИМ в бифуркации ПГС и ОСА у пациентов с МС статистически достоверно превышает аналогичный показатель у практически здоровых лиц и демонстрирует прямую корреляционную зависимость от компонентов МС. Модифицированный индекс Карнегана у пациентов с МС статистически значимо превышает аналогичный показатель у практически здоровых лиц и демонстрирует прямую корреляционную зависимость с толщиной КИМ, оцененной в разных сегментах брахиоцефальных артерий (ПГС k 0,356, правая ОСА k 0,718, левая ОСА k 0,846, в бифуркации ОСА справа k 0,431, слева k 0,519).

Заключение. Комплексная ультразвуковая оценка состояния КИМ брахиоцефальных артерий у пациентов с МС позволяет получить комплекс качественных и количественных признаков, характерных для метаболической ангиопатии.

Ключевые слова: метаболический синдром; метаболическая ангиопатия; патологическая слоистость; гиперэхогенные включения; толщина комплекса интима-медиа

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Вахитова А.Р., Бердалин А.Б., Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Комплексная ультразвуковая оценка состояния комплекса интима-медиа брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 32–42. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1369

Поступила в редакцию: 09.06.2023. **Принята к печати:** 05.03.2024. **Опубликована online:** 11.04.2024.

Comprehensive ultrasound assessment of the state complex intima-media brachiocephalic arteries in patients with metabolic syndrome

© **Aliya R. Vakhitova[1]*, Alexander B. Berdalin[2], Vladimir G. Lelyuk[2, 4], Svetlana E. Lelyuk[3, 4]**

[1] City Polyclinic No. 64, branch No. 2 of the Moscow Department of Healthcare; 4-6, Ladozhskaya str., Moscow 107023, Russian Federation

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

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

[4] Vascular Clinic on the Patriarchs; 22-1, Bolshoy Kozikhinsky lane, Moscow 123001, Russian Federation

Objective. Comprehensive ultrasound assessment of the state complex intima-media (CIM) of brachiocephalic arteries in patients with metabolic syndrome (MS).

Materials and methods. 82 patients were examined, including 62 patients with MS and 20 practically healthy individuals. All patients underwent biochemical blood analysis, ultrasound of the extracranial sections of the brachiocephalic arteries with an assessment of the qualitative and quantitative characteristics of CIM bifurcation of the brachiocephalic trunk (BCT), common carotid arteries (CCA) and vertebral arteries (VA).

Results. 100% of patients with MS, changes in the echostructure of CIM were recorded in the form of pathological layering, 9 (14.5%) patients – in the form of hyperechogenic inclusions. Thickness of CIM in the bifurcation of BCT and CCA in patients with MS statistically significantly exceeds the same indicator in practically healthy persons and demonstrates direct correlation between the components of MS. The modified Carnegan index patients with MS is statistically significantly higher than the same indicator in practically healthy individuals and demonstrates direct correlation with the thickness of CIM estimated in different segments of the brachiocephalic arteries (BCT k 0.356, RCCA k 0.718, LCCA k 0.846, in the bifurcation of CCA on the right k 0.431, on the left k 0.519).

Conclusion. Comprehensive ultrasound assessment of the state brachiocephalic arteries in patients with MS allows us to obtain complex of qualitative and quantitative signs characteristic of metabolic angiopathy.

Keywords: metabolic syndrome; metabolic angiopathy; pathological layering; hyperechoic inclusions; thickness of the complex intima-media

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

For citation: Vakhitova A.R., Berdalin A.B., Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Comprehensive ultrasound assessment of the state complex intima-media brachiocephalic arteries in patients with metabolic syndrome. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 32–42. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1369

Received: 09.06.2023. **Accepted for publication:** 05.03.2024. **Published online:** 11.04.2024.

Введение

Актуальность темы определяется распространенностью метаболического синдрома (МС) в популяции, его ролью в генезе нарушений кровообращения. По данным статистики, МС встречается в среднем у каждого третьего взрослого человека в мире. Прогнозируется, что в ближайшие 25 лет ожидается увеличение частоты МС в популяции примерно на 50% [1, 2]. МС увеличивает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) в 3 раза и риск смерти от них в 2 раза, повышает риск развития сахарного диабета (СД) и артериальной гипертонии (АГ) в 5 раз. СД и АГ, в свою очередь, являются одними из основных причин повышенной смертности населения [1, 3].

В основе сосудистых нарушений при МС лежат структурные изменения стенок артерий и артериол, обозначаемые как метаболическая ангиопатия (МА) [4]. Описаны два основных вида структурной перестройки, характерных для МА, – диффузный фиброз медии и диффузный медиакальциноз. Выраженность разных видов морфологической перестройки зависит от особенностей строения стенок артерий [5]. Диффузный фиброз медии преобладает в артериях мышечно-эластического типа (плечеголовной ствол (ПГС), сонные арте-

рии), диффузный медиакальциноз – в артериях мышечного типа (позвоночные артерии – ПА). Структурная перестройка стенок артерий приводит к повышению жесткости, в результате чего ограничиваются регуляторные сосудистые реакции. При утолщении сосудистой стенки возможно развитие диффузного сужения просвета артерий по типу функциональной гипоплазии, что потенциально снижает поступление крови в дистальное циркуляторное русло и лежит в основе развития нарушений кровообращения различных локализаций.

Одним из основных современных методов выявления структурных изменений стенок магистральных артерий при МС является ультразвуковое дуплексное сканирование (УЗДС) [6], позволяющее проводить качественный анализ состояния отдельных слоев сосудистой стенки, что необходимо для дифференциальной диагностики разных патологических процессов. Существует ряд исследований, в которых проводилось изучение состояния комплекса интима-медиа (КИМ) сонных артерий у пациентов с МС [7–11]. В опубликованных работах имеются сведения о взаимосвязи толщины КИМ с различными компонентами МС и другими факторами риска развития ССЗ [7–11]. При этом толщина КИМ не признается специфическим маркером поражения сосудистой стенки, напрямую связанным с МС. В большинстве исследований разнообразные изменения КИМ трактовались как атеросклеротические, несмотря на то что морфологическая основа структурной перестройки КИМ при атеросклерозе и МА различна [4, 9, 12–15]. Это, в свою очередь, влияет на тактику ведения пациентов с данным состоянием. С рядом допущений качественная оценка КИМ при ультразвуковом сосудистом исследовании позволяет получить весомую информацию для дифференциальной диагностики вышеописанных процессов. В приведенных работах не описаны качественные изменения сосудистой стенки у пациентов с МС, не затронут вопрос дифференциальной диагностики с атеросклеротическим поражением, мало информации о степени структурных изменений стенки на различных уровнях в системе брахиоцефальных артерий (БЦА), также не приводятся корреляции специфических изменений стенки с различными компонентами МС. Оценка этих параметров и явилась целью нашей работы.

Цель исследования: комплексная ультразвуковая оценка состояния комплекса интима-медиа брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом.

Материал и методы

В период с 02.2022 по 08.2022 обследовано 82 пациента, находившихся на обследовании и лечении в ГБУЗ МО МГКБ Мытищинской поликлинике №3. Из них 1-ю группу составили 62 пациента с МС в возрасте от 19 до 54 (средний возраст 39 ± 9) лет: 5 (8,1%) мужчин в возрасте от 19 до 48 (средний возраст 36 ± 11) лет, 57 (91,9%) женщин в возрасте от 21 года до 54 (средний возраст 39,5 ± 9,3) лет, 2-ю группу – 20 практически здоровых лиц без компонентов МС в возрасте от 23 до 49 (средний возраст 36 ± 9) лет: 5 (25%) мужчин в возрасте от 24 до 41 (средний возраст 31,4 ± 7) года, 15 (75%) женщин в возрасте от 23 до 49 (средний возраст 36,9 ± 9,7) лет.

Диагноз МС устанавливался на основании классических критериев (G.H. Reaven, 1988) с учетом дополнительных критериев [1, 16]. Достоверным МС считается при наличии трех критериев: 1 основного и 2 дополнительных. Основной признак: центральный (абдоминальный) тип ожирения – окружность талии (ОТ) более 80 см у женщин и более 94 см у мужчин. Дополнительные критерии: АГ (артериальное давление (АД) ⩾ 140/90 мм рт.ст.); инсулинорезистентность (ИР); повышение уровня триглицеридов (ТГ) (⩾1,7 ммоль/л); повышение холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП > 3,0 ммоль/л); снижение уровня холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП) (<1,0 ммоль/л у мужчин; < 1,2 ммоль/л у женщин); повышение холестерина (ХС) ⩾ 5,2 ммоль/л; индекс атерогенности (ИА) 2–2,5; гиперурикемия (мочевая кислота (МК) у мужчин ⩾ 420 ммоль/л, у женщин ⩾ 420 ммоль/л); нарушенная гликемия натощак и нарушенная толерантность к глюкозе (НГН/ НТГ) (повышенный уровень глюкозы плазмы натощак ⩾ 6,1 ммоль/л, глюкоза плазмы через 2 ч при пероральном глюкозотолерантном тесте (ПГТТ) ⩾ 7,8 и <11,1 ммоль/л); гликированный гемоглобин (HbA_{1c}) ⩾ 5,5% .

С целью выявления различных компонентов МС всем обследованным лицам проводилось клиническое и лабораторное тестирование. Абдоминальное ожирение диагностировалось по результатам измерения ОТ, оценки роста, массы тела с последующим вычислением индекса массы тела (ИМТ) по формуле Кетле [1].

У 62 (100%) пациентов 1-й группы было выявлено абдоминальное ожирение (по ОТ и ИМТ), ИМТ в группе в целом 30,63 ± 4,19 кг/м^2, ОТ 96,85 ± 11,4 см, у пациентов 2-й группы показатели были в пределах нормативных величин. ИМТ в группе

в целом 20,6 ± 1,7 кг/м², ОТ 73,95 ± 8,4 см. У 62 (100%) пациентов 1-й группы была диагностирована АГ 1–2-й стадии с регулярным приемом антигипертензивных препаратов, среди пациентов 2-й группы АГ не диагностировали. Перед ультразвуковым исследованием сосудов всем пациентам групп сравнения измеряли величины системного АД, включая систолическое АД (САД) и диастолическое АД (ДАД), и рассчитывали среднее артериальное давление (СрАД), как сумму показателя ДАД и трети разности систолического и диастолического давления. В 1-й группе 5 (8,1%) пациентов курили – 2 (40%) мужчин и 3 (60%) женщины, во 2-й группе 2 (10%) пациента курили, обе – женщины.

При биохимическом тестировании крови оценивались уровни ХС, ТГ, ХС ЛПВП, ХС ЛПНП, МК, HbA_{1c}, рассчитывался ИА по формуле:

$$(ХС – ЛПВП) / ЛПВП.$$

Результаты тестирования представлены в табл. 1.

Диагностика нарушений обмена инсулин–глюкоза осуществлялась на основании исследования ряда параметров. Оценивали уровень глюкозы и инсулина в ГТТ, рассчитывали индексы HOMA-IR и CARO, триглицеридглюкозный индекс (ТГИ) по стандартным формулам [7]. Всем пациентам проводился ПГТТ по стандартной методике [1]. По результатам нагрузочного теста оценивали фоновые показатели глюкозы и инсулина, параметры глюкозы и инсулина через 2 ч. Основными признаками ИР считали наличие следующих изменений: патологическую динамику глюкозы и инсулина в ГТТ в виде патологического повышения уровня глюкозы и инсулина за границы нормативных величин (глюкоза ⩾ 7,8 ммоль/л, инсулин > 40 мкЕД/мл), патологическое изменение индексов HOMA (⩾2,86) и CARO (<0,33), ТГИ ⩾ 3,5.

Учитывая, что основной признак был у всех пациентов 1-й группы, произведен расчет дополнительных признаков МС. В результате у 13 (21%) пациентов выявлено 2 дополнительных признака, 3 дополнительных признака – у 11 (17,7%) пациентов, 4 признака – у 16 (25,8%) пациентов; 5 признаков – у 9 (14.5%) пациентов, 6 признаков – у 7 (11,3%) пациентов, 7 признаков – у 2 (3,2%) пациентов, 8 признаков – у 2 (3,2%) пациентов, 9 признаков – у 1 (1,6%) пациента, 10 признаков – у 1 (1,6%) пациента.

Для оценки состояния экстракраниальных отделов БЦА (общих сонных артерий (ОСА), внутренних сонных артерий (ВСА), ПА), включая дистальный отдел ПГС, всем обследованным УЗДС

Таблица 1. Показатели биохимического анализа крови в группах сравнения (mean ± SD, min–max)
Table 1. Indicators of biochemical blood analysis in comparison groups (mean ± SD, min–max)

Показатели Indicators	1-я группа			2-я группа		
	мужчины men	женщины women	в целом generally	мужчины men	женщины women	в целом generally
ХС, ммоль/л CH, mmol/l	5.88 ± 0.94 5.02–6.93	5.17 ± 1.05 2.99–8.18	5.23 ± 1.06 2.99–8.18	3.98 ± 0.89 2.65–4.9	4.19 ± 0.80 2.9–5.58	4.14 ± 0.8 2.65–5.58
ХС ЛПНП, ммоль/л CH LDL, mmol/l	4.43 ± 0.73 3.82–5.56	3.21 ± 0.96 1.17–6.12	3.31 ± 1.00 1.17–6.12	2.33 ± 0.77 1.06–3.12	2.26 ± 0.61 1.34–3.48	2.28 ± 0.63 1.06–3.48
ХС ЛПВП, ммоль/л CH LHD, mmol/l	1.32 ± 0.21 1.05–1.58	1.76 ± 0.38 0.95–2.82	1.73 ± 0.39 0.95–2.82	1.31 ± 0.12 1.17–1.49	1.66 ± 0.32 1.26–2.3	1.58 ± 0.32 1.17–2.3
ТГ, ммоль/л TG, mmol/l	2.34 ± 1.17 1.46–3.66	1.28 ± 0.83 0.46–5.11	1.36 ± 0. 90 0.46–5.11	1.07 ± 0.35 0.58–1.54	0.72 ± 0.31 0.44–1.57	0.81 ± 0.35 0.44–1.0
ИА IA	3.50 ± 0.64 2.65–4.21	2.03 ± 0.80 0.74–5.79	2.15 ± 0.88 0.74–5.79	2.05 ± 0.67 0.99–2.61	1.55 ± 0.42 0.90–2.26	1.68 ± 0.53 0.91–2.61
МК, ммоль/л CC, mmol/l	481.36 ± 172.4 359.6–781	299.61 ± 80.7 102.9–464.7	314.26 ± 102.1 102.9–781	341.04 ± 81.0 233.1–422.7	240.6 ± 34.3 186.9–301.6	265.71 ± 65.1 186.9–422.7
HbA_{1c}, % HbA_{1c}, %	5.1 ± 0.39 4.7–5.6	4.88 ± 0.36 4.2–5.9	4.90 ± 0.36 4.2–5.9	4.74 ± 0.21 4.5–5	4.81 ± 0.28 4.3–5.4	4.79 ± 0.26 4.3–5.4

Примечание. Здесь и в табл. 2, 4: для всех параметров приведены средние значения (mean), величина стандартного отклонения (SD), минимальное (min) и максимальное (max) значение параметра выборки.

Note. Here and in Tabl. 2, 4: for all parameters, the average values (mean), the value of the standard deviation (SD), the minimum (min) and maximum (max) values of the sampling parameter are given.

выполняли на ультразвуковом сканере Рускан 60 (Россия) датчиком линейного формата, работающем с частотой от 5 до 13 МГц по стандартной методике [6]. При оценке состояния БЦА анализировали проходимость просветов артерий, состояние КИМ в области бифуркации ПГС, в ОСА и зоне ее бифуркации, во втором сегменте ПА, включая качественные параметры – эхогенность, дифференцировку КИМ на слои, наличие дополнительных включений в структуре КИМ, характер изменений (диффузные, локальные), количественные параметры – толщину КИМ, которую оценивали по задней стенке бифуркации ПГС, задней стенке ОСА на 1–1,5 см проксимальнее зоны ее бифуркации, а также в области бифуркации ОСА. Кроме того, измеряли межинтимальный диаметр ОСА и анализировали наличие внутрипросветных образований. Для получения дополнительной информации о степени структурной перестройки сосудистой стенки и влияния ее на величину внутрипросветного диаметра рассчитывали модифицированный индекс Карнегана (МИК), как соотношение толщины КИМ и внутрипросветного диаметра сосуда [8].

Критериями исключения из исследования были: наличие ультразвуковых признаков стенозов более 50% по диаметру и окклюзий экстра- и интракраниальных отделов БЦА, артериальных аневризм, артериовенозных мальформаций, СД, ИБС, перенесенные острые нарушения мозгового кровообращения, наличие патологических заболеваний центральной нервной системы (рассеянный склероз, нейроинфекции, дегенерации и т.п.), возраст (младше 18 лет и старше 60 лет).

Статистическая обработка осуществлялась с использованием программных пакетов SPSS Statistics версии 23.0 (IBM, США) и R software версии 3.3.2. Нулевую гипотезу отвергали при уровне значимости $p \leqslant 0,05$. Для описания количественных переменных применяли среднее арифметическое и стандартное отклонение или медиану и квартили (в случае несоответствия распределения показателя нормальному), для качественных – частоту и долю (в процентах). Для количественных зависимых переменных сравнения между группами осуществлялись при помощи t-теста Стьюдента, в случае несоответствия распределения переменной нормальному – критерия Манна–Уитни. При изучении корреляций между количественными или порядковыми переменными использовали метод расчета коэффициента корреляции по Пирсону. Для качественных зависимых переменных сравнения частот категорий между группами проводили при помощи критерия χ^2 или точного критерия Фишера.

Результаты

При оценке эхоструктуры КИМ у пациентов групп сравнения выявлены различные варианты изменений: появление в структуре КИМ дополнительных слоев повышенной и сниженной эхогенности (патологическая слоистость) (1-й тип), наличие в структуре КИМ единичных либо множественных гиперэхогенных включений (2-й тип), локальные нарушения дифференцировки на слои в сочетании с повышением либо снижением эхогенности КИМ (3-й тип), пациенты, у которых структурные изменения в КИМ отсутствовали (4-й тип). Вышеперечисленные типы изменений КИМ представлены на эхограммах (рис. 1–4).

У всех пациентов с МС зафиксированы изменения эхоструктуры КИМ в виде патологической слоистости (100%). В области бифуркации ПГС у 1 (1,6%) пациента, в ОСА диффузные изменения справа у 22 (35,5%), слева у 21 (33,9%) пациента, локальные изменения справа у 35 (56,4%), слева у 36 (58%) пациентов, в области бифуркации ОСА справа у 62 (100 %) пациентов, слева у 55 (88,7%). 2-й тип структурных изменений в виде гиперэхогенных включений был зафиксирован только в ПА у 9 (14,5%) пациентов, 3-й тип – у 6 (9,7%) пациентов 1-й группы в области бифуркации ПГС, у 1 (1,6%) пациента в области ОСА, в области бифуркации ОСА справа у 4 (6,5%), слева у 3 (4,8%) пациентов.

Результаты сравнения частоты патологической слоистости между группами (χ^2) с расчетом уровня значимости p: патологическая слоистость правой ОСА (ПОСА) $p = 0.003$), левой ОСА (ЛОСА) $p = 0,002$, бифуркации ОСА справа $p < 0,000005$, бифуркации ОСА слева $p < 0,000005$.

При количественном анализе толщины КИМ в различных зонах получены следующие данные, представленные в табл. 2.

Толщина КИМ в различных областях БЦА у пациентов с МС статистически достоверно превышала аналогичные показатели у пациентов группы нормы (толщина КИМ ПГС $p < 0,005$, ПОСА $p < 0,0005$, ЛОСА $p < 0,00005$, бифуркации ПОСА $p < 0,00005$, бифуркации ЛОСА $p < 0,000005$). Максимальная выраженность изменений толщины КИМ, так же как и структурной перестройки, фиксировалась в области бифуркации ОСА.

Проводился статистический анализ зависимости толщины КИМ, оцененной в разных сегментах БЦА, от разных параметров с расчетом коэффициента линейной корреляции Пирсона. Результаты представлены в табл. 3.

Для оценки степени влияния изменений сосудистой стенки на величину внутрипросветного

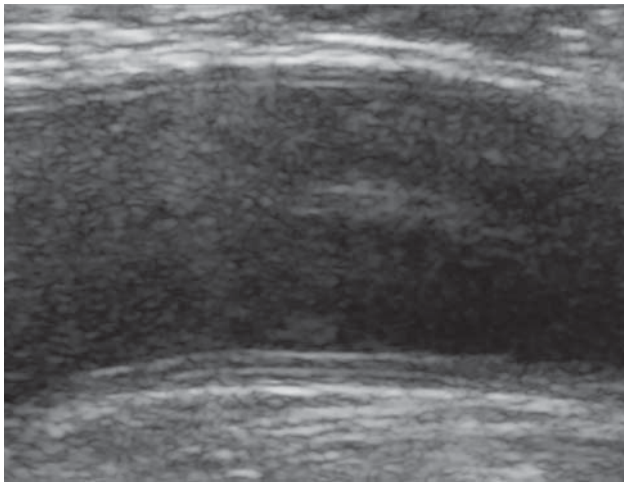


Рис. 1. “Патологическая слоистость” комплекса интима-медиа общей сонной артерии (1-й тип).

Fig. 1. “Pathological layering” of the complex intima-media common carotid artery (type 1).

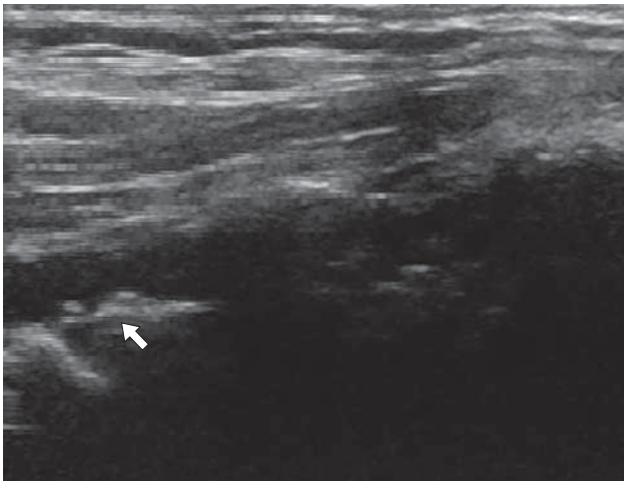


Рис. 2. Единичные гиперэхогенные включения в комплекс интима-медиа позвоночной артерии (стрелка) (2-й тип).

Fig. 2. Single hyperechoic inclusions in the complex intima-media vertebral artery (arrow) (type 2).

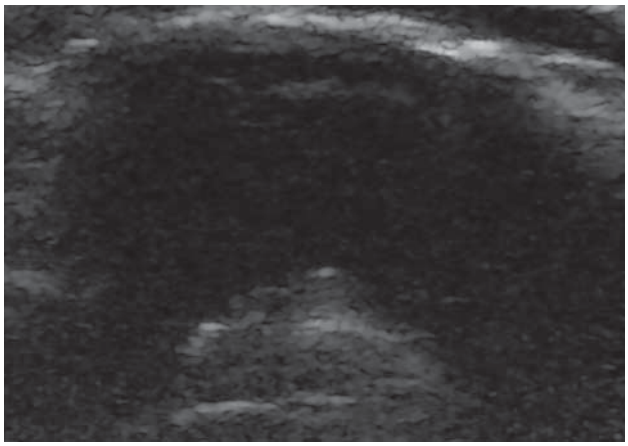


Рис. 3. Равномерное повышение эхогенности в сочетании с полной утратой дифференцировки на слои комплекса интима-медиа в области бифуркации плечеголовного ствола (3-й тип).

Fig. 3. Uniform increase of echogenicity in combination with complete loss of differentiation into layers of the complex intima-media in the area of bifurcation brachiocephalic trunk (type 3).

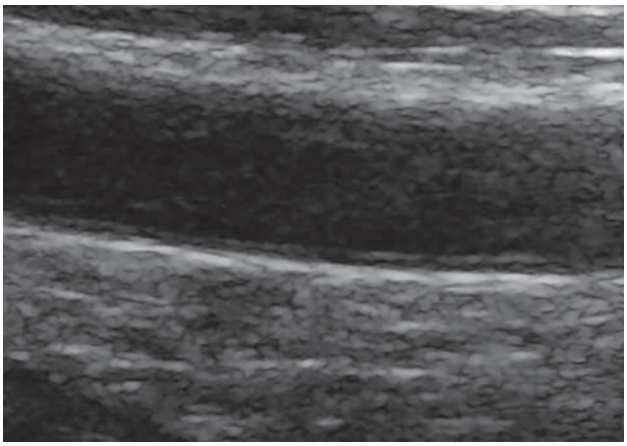


Рис. 4. Нормальная эхоструктура комплекса интима-медиа общей сонной артерии (4-й тип).

Fig. 4. Normal echostructure of the complex intima-media common carotid artery (type 4).

Таблица 2. Толщина КИМ у пациентов групп сравнения, мм (mean ± SD, min–max)
Table 2. IMT patients of comparison groups, mm (mean ± SD, min–max)

Артерия Artery		1-я группа			2-я группа		
		мужчины men	женщины women	в целом generally	мужчины men	женщины women	в целом generally
ПГС BCT		1.04 ± 0.17 0.8–1.2	1.09 ± 0.27 0.7–2.4	1.09 ± 0.26 0.7–2.4	0.86 ± 0.05 0.8–0.9	0.88 ± 0.1 0.7–1	0.88 ± 0.09 0.7–1
ОСА MCA	Справа Right	0.94 ± 0.13 0.8–1.1	0.90 ± 0.15 0.6–1.2	0.90 ± 0.14 0.6–1.2	0.74 ± 0.09 0.6–0.8	0.77 ± 0.1 0.6–0.9	0.76 ± 0.09 0.6–0.9
	Слева Left	0.92 ± 0.2 0.7–1.1	0.88 ± 0.16 0.6–1.2	0.88 ± 0.17 0.6–1.2	0.70 ± 0.07 0.6–0.8	0.7 ± 0.1 0.6–0.9	0.70 ± 0.09 0.6–0.9
Бифуркация ОСА Bifurcation MCA	Справа Right	1.4 ± 0.85 0.9–2.9	1.16 ± 0.25 0.7–2.6	1.18 ± 0.32 0.7–2.9	0.74 ± 0.09 0.6–0.8	0.77 ± 0.1 0.6–0.9	0.76 ± 0.09 0.6–0.9
	Слева Left	1.06 ± 0.23 0.7–1.3	1.1 ± 0.22 0.6–2.2	1.09 ± 0.22 0.6–2.2	0.72 ± 0.11 0.6–0.9	0.72 ± 0.1 0.6–0.9	0.72 ± 0.1 0.6–0.9

Таблица 3. Результаты корреляционного анализа (коэффициенты линейной корреляции Пирсона) между толщиной КИМ, оцененной в разных сегментах БЦА, и различными факторами
Table 3. Results of correlation analysis (Pearson linear correlation coefficients) between thickness of IMT estimated in different BCA segments and various factors

Параметры Parameters	Бифуркация ПГС Bifurcation BCT	ПОСА RCCA	ЛОСА LCCA	Бифуркация ПОСА Bifurcation RCCA	Бифуркация ЛОСА Bifurcation LCCA
Возраст Age	0.425	0.426.	0.430	0.276.	0.391
Масса тела Weight	0.302	0.470	0.400	0.454	0.432
ИМТ BMI	0.335	0.389	0.355	0.394	0.497
ОТ OT	0.364	0.396	0.405	0.468	0.503
САД SBP	0.318	0.374	0.304	0.377	0.305
ДАД DP	0.298	0.391	0.401	0.406	0.345
СрАД Av BP	0.325	0.407	0.381	0.418	0.348
ХС CH	–	0.392	0.359	0.249	0.436
ХС ЛПНП CH LDL	0.302	0.418	0.449	0.348	0.523
ТГ TG	0.282	0.356	0.384	0.412	0.533
ИА IA	0.267	0.281	0.334	0.274	0.431
HbA_{1c}	0.282	–	–	–	–
Глюкоза фон Glucose background	–	0.313	0.291	0.360	0.292

Таблица 3 *(окончание)*.
Table 3 *(end)*.

Параметры Parameters	Бифуркация ПГС Bifurcation BCT	ПОСА RCCA	ЛОСА LCCA	Бифуркация ПОСА Bifurcation RCCA	Бифуркация ЛОСА Bifurcation LCCA
Инсулин фон Insulin background	–	0.269	–	0.342	0.415
Инсулин после нагрузки Insulin after exercise	–	–	–	0.266	0.256
ТГИ TGI	0.275	0.386	0.417	0.507	0.542
Индекс HOMA Index HOMA	–	0.316	0.263	0.431	0.449
Индекс CARO Index CARO	–	–	–	0.253	0.318
Относительный прирост глюкозы Relative increase glucose	–	–	–	0.286	0.288
ХС/ТГ CH/TG	–	–	–	0.234	–

Примечание. Значимой корреляции нет.
Note. There is no significant correlation.

Таблица 4. Межинтимальные диаметры ОСА и МИК у пациентов групп сравнения (mean ± SD, min–max)
Table 4. Interintimal diameters of MCA and IMT patients of comparison groups (mean ± SD, min–max)

Признак Sign	1-я группа			2-я группа		
	мужчины men	женщины women	в целом generally	мужчины men	женщины women	в целом generally
Диаметр ПОСА, мм Diameter RCCA, mm	5.56 ± 0.65 4.7–6.3	5.82 ± 0.66 4.6–8.4	5.8 ± 0.66 4.6–8.4	5.86 ± 0.83 5–6.8	5.35 ± 0.49 4.5–6.5	5.47 ± 0.61 4.5–6.8
Диаметр ЛОСА, мм Diameter LCCA, mm	5.7 ± 0.49 5.1–6.4	5.58 ± 0.60 4.0–7.8	5.59 ± 0.53 4.0–7.8	5.56 ± 0.93 4.8–7	5.35 ± 0.56 4.4–6.2	5.4 ± 0.65 4.4–7.0
МИК справа MIC right	0.17 ± 0.03 0.14–0.22	0.16 ± 0.03 0.1–0.23	0.16 ± 0.03 0.1–0.23	0.13 ± 0.03 0.09–0.16	0.14 ± 0.02 0.11–0.17	0.14 ± 0.02 0.09–0.17
МИК слева MIC left	0.16 ± 0.03 0.13–0.19	0.16 ± 0.03 0.10–0.23	0.16 ± 0.03 0.1–0.23	0.13 ± 0.03 0.09–0.16	0.13 ± 0.02 0.1–0.16	0.13 ± 0.02 0.09–0.16

диаметра производили измерение межинтимального диаметра ОСА с последующим расчетом МИК. Полученные данные представлены в табл. 4.

Межинтимальный диаметр ОСА у пациентов с МС демонстрировал тенденцию к превышению аналогичного показателя у лиц группы контроля. Однако при статистическом анализе не выявлено достоверных различий этого показателя у пациентов групп сравнения ($p > 0,05$). При этом МИК у пациентов с МС был достоверно выше, чем аналогичный показатель у пациентов группы нормы, о чем свидетельствуют результаты статистического анализа с расчетом уровня значимости (МИК справа $p = 0,013$, МИК слева $p = 0,0005$). Также выявлена корреляционная зависимость между показателем МИК с толщиной КИМ, оцененной в разных зонах. Для области бифуркации ПГС коэффициент корреляции Пирсона (k) составил 0,356, ПОСА $k = 0,718$, ЛОСА $k = 0,846$, в области бифуркации ОСА справа $k = 0,431$, слева $k = 0,519$.

Обсуждение

Различные параметры, составляющие основу МС, оказывают отрицательное влияние на структуру сосудистой стенки БЦА, приводя к характерным изменениям ряда качественных и количественных характеристик, что было продемонстрировано результатами проведенного исследования. У пациентов с МС в 100% случаев выявлены структурные изменения КИМ в виде "патологической слоистости", локализованные в ПГС, ОСА, зоне ее бифуркации. Специфичность этого вида изменений для пациентов с МС подтверждается результатами статистического анализа (патологическая слоистость ПОСА $p = 0{,}003$, ЛОСА $p = 0{,}002$, бифуркации ОСА справа $p < 0{,}000005$, бифуркации ОСА слева $p < 0{,}000005$). В 14% случаев выявлены изменения в виде единичных гиперэхогенных включений в структуре стенок ПА.

Преобладание определенных типов изменений структурной перестройки сосудистой стенки и их локализация в определенных участках БЦА, вероятно, зависит от особенностей строения стенок артерий (мышечно-эластические, мышечные) и особенностей фоновой гемодинамики, в частности, в виде наличия физиологического турбулентного кровотока [4, 9]. Подобные результаты были получены в исследованиях других авторов [10–11], посвященных изучению состояния КИМ ОСА у пациентов с СД 2 типа. Учитывая, что МС является предшественником СД 2 типа, можно предположить, что изменения, выявляемые при данном заболевании, развиваются до дебюта СД 2 типа и являются аналогичными таковым при МС, что подтверждается результатами морфологических исследований [12].

Изменения в виде локального повышения либо снижения эхогенности КИМ в сочетании с полной утратой дифференцировки на слои, выявленные в области бифуркации ПГС и бифуркации ОСА при исследовании в В-режиме, характерны для нестенозирующего атеросклеротического процесса, который также может встречаться у пациентов с МС. Различия эхоструктурных характеристик КИМ и преимущественных зон локализации при данном поражении определяются особенностями распространения атеросклеротического процесса в организме человека и его морфогенезом [4, 9, 12–15]. Различия эхоструктурных изменений КИМ БЦА при МС и нестенозирующем атеросклеротическом поражении можгут быть использованы при дифференциальной диагностике этих процессов.

В проведенном исследовании получены прямые корреляционные зависимости между толщиной КИМ, оцененной в различных сегментах БЦА, и рядом показателей, как напрямую связанных с МС (ИМТ, ОТ, САД, ДАД, СрАД, ХС ЛПНП, ТГ, ИА, гликированный гемоглобин, фоновые уровни инсулина и глюкозы, уровень инсулина после нагрузочного тестирования, ТГИ, индексы HOMA, CARO, относительный прирост глюкозы и соотношение ХС и ТГ МК), так и не имеющих прямой взаимосвязи с этим состоянием (пол, возраст, курение), что согласуется с данным других авторов [7–11]. Измерения гемодинамических параметров кровотока и их корреляция с уменьшением межинтимального диаметра ОСА не проводились, так как данные показатели не раскрывают цель статьи. Структурная перестройка сосудистой стенки может сопровождаться ее утолщением с вторичным влиянием на внутрипросветный диаметр, приводя к его уменьшению и потенциальному ограничению объемного притока крови к веществу головного мозга. При оценке межинтимального диаметра ОСА и производного показателя в виде МИК у пациентов групп сравнения были выявлены статистически достоверные различия только для показателя МИК, что соответствует результатам существующих исследований [7].

По результатам проведенного исследования могут быть сделаны следующие выводы.

Выводы

1. Структурные изменения комплекса интима-медиа сонных артерий, бифуркации плечеголовного ствола, позвоночных артерий в виде патологической слоистости и единичных гиперэхогенных включений в структуре сосудистой стенки являются специфическими признаками метаболической ангиопатии, что подтверждается результатами статистического анализа и может быть использовано в дифференциальной диагностике с другими сосудистыми поражениями.

2. Толщина комплекса интима-медиа в бифуркации плечеголовного ствола и общих сонных артериях у пациентов с метаболическим синдромом статистически достоверно превышает аналогичный показатель у лиц без метаболического синдрома.

3. Структурные изменения комплекса интима-медиа у пациентов с метаболическим синдромом преобладают в общей сонной артерии и зоне ее бифуркации.

4. Толщина комплекса интима-медиа в области бифуркации плечеголовного ствола, общей сонной артерии и зоне ее бифуркации демонстрирует прямую корреляционную зависимость от возраста, массы тела, индекса массы тела, окружности талии, систолического, диастолического, среднего артериального давления, уровня холестерина, холестерина липопротеинов низкой плотности,

триглицеридов, гликированного гемоглобина, фоновой глюкозы, фонового инсулина и инсулина после нагрузки, триглицеридглюкозного индекса, индекса атерогенности, индексов HOMA, CARO, относительного прироста глюкозы, отношения холестерина к триглицеридам.

5. Модифицированный индекс Карнегана у пациентов с метаболическим синдромом статистически значимо превышает аналогичный показатель у практически здоровых лиц и демонстрирует прямую корреляционную зависимость с толщиной комплекса интима-медиа, оцененной в разных сегментах брахиоцефальных артерий.

Участие авторов

Вахитова А.Р. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ и интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи.

Бердалин А.Б. – сбор и обработка данных, статистический анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Лелюк В.Г. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Лелюк С.Э. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Vakhitova A.R. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Berdalin A.B. – collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Lelyuk V.G. – concept and design of the study, review of publications, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Lelyuk S.E. – concept and design of the study, review of publications, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Мычка В.Б., Верткин А.Л., Вардаев Л.И., Дружилов М.А., Ипаткин Р.В., Калинкин А.Л., Кузнецова И.В., Кузнецова Т.Ю. Консенсус экспертов по междисциплинарному подходу к ведению, диагностике и лечению больных с метаболическим синдромом. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2013; 12 (6): 41–82.
2. Архипова Э.В. Метаболический синдром: патогенез, критерии диагностики и лечение. *Вестник БГУ. Медицина и фармация*. 2019; 2: 3–9. https://doi.org/10.18101/2306-1995-2019-2-3-9
3. Шарипова Г.Х., Саидова М.А., Жернакова Ю.В., Чазова И.Е. Влияние метаболического синдрома на поражение сердца у больных артериальной гипертонией. *Альманах клинической медицины*. 2015; 1: 102–110. https://doi.org/10.18786/2072-0505-2015-1-102-110
4. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Дифференциальный диагноз в ультразвуковой ангиологии. М.: Реал Тайм, 2019. 44 с.
5. Kamenskiy A., Pipinos I.I., Carson J.S., MacTaggart J.N., Baxter B.T. Age and disease-related geometric and structural remodeling of the carotid artery. *J. Vasc. Surg.* 2015; 6: 1521–1528. https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014.10.041
6. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Методика ультразвукового исследования сосудистой системы: технология сканирования, нормативные показатели. М.: Реал Тайм, 2019. 48 с.
7. Sasaki N., Maeda R., Ozono R. et al. Association of Flow Parameters and Diameter in the Common Carotid Artery with Impaired Glucose Metabolism. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*. 2002; 29 (5): 654–666. https://doi.org/10.5551/jat.62790
8. Рзаева Р.А. Наличие метаболического синдрома не влияет на толщину комплекса "интима-медиа" и интерадвентициальный диаметр магистральных сосудов у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа. *Казанский медицинский журнал*. 2018; 99 (2): 235–239. https://doi.org/10.17816/KMJ2018-235
9. Башук В.В., Аносова Е.В., Прощаев К.И., Павлова Т.В., Кветной И.М., Большаков А.А. Комплекс интима-медиа как новый морфофункциональный объект оценки тяжести полиморбидности. *Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация*. 2013; 147 (4): 22–27.
10. Pacifico L., Bonci E., Andreoli G. et al. Association of serum triglyceride-to-HDL cholesterol ratio with carotid artery intima-media thickness, insulin resistance and nonalcoholic fatty liver disease in children and adolescents. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis*. 2014; 24 (7): 737–743. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2014.01.010
11. Jia X., Zhu Y., Qi Y. et al. Association between triglyceride glucose index and carotid intima-media thickness in obese and nonobese adults. *J. Diabetes*. 2022; 14 (9): 596–605. https://doi.org/ 10.1111/1753-0407.13312
12. Ефимов А.С. Диабетические ангиопатии. М.: Медицина, 1989. 228 с.
13. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. Изд. 3-е. М.: Реал тайм, 2007. 416 с.
14. Головин Д.А., Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Ультразвуковая оценка выраженности диабетической макро- и микроангиопатии у больных сахарным диабетом 2-го типа. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2016; 3: 72–81.
15. Арутюнян Н.М., Лелюк С.Э. Ультразвуковые критерии диагноза ранних проявлений диабетической макроангиопатии у пациентов с сахарным диабетом второго типа. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2007; 5: 76–83.
16. Ивашкин В.Т., Драпкина О.М., Корнеева О.Н. Клинические варианты метаболического синдрома. М.: Мединформ. агентство, 2011. 220 с.

References

1. Mychka V.B., Vertkin A.L., Vardaev L.I. et al. Experts' consensus on the interdisciplinary approach towards the management, diagnostics, and treatment of patients with metabolic syndrome. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2013; 12 (6): 41–81. (In Russian)
2. Arkhipova E.V. Metabolic syndrome: pathogenesis, diagnostic criteria and treatment. *BSU bulletin. Medicine and pharmacy*. 2019; 2: 3–9. https://doi.org/10.18101/2306-1995-2019-2-3-9 (In Russian)
3. Sharipova G.Kh., Saidova M.A., Zhernakova Yu.V., Chazova I.E. The influence of metabolic syndrome on heart abnormalities in patients with arterial hypertension. *Almanac of Clinical Medicine*. 2015; 1: 102–110 (In Russian)
4. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Differential diagnosis in ultrasound angiology. Moscow: Real Time, 2019. 44 p. (In Russian)
5. Kamenskiy A., Pipinos I.I., Carson J.S., MacTaggart J.N., Baxter B.T. Age and disease-related geometric and structural remodeling of the carotid artery. *J. Vasc. Surg.* 2015; 6: 1521–1528. https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014. 10.041
6. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Methods of ultrasound examination of vascular system: scanning technology, normative indicators. M.: Real Time, 2019. 48 p. (In Russian)
7. Sasaki N., Maeda R., Ozono R. et al. Association of Flow Parameters and Diameter in the Common Carotid Artery with Impaired Glucose Metabolism. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*. 2002; 29 (5): 654–666. https://doi.org/10.5551/jat.62790
8. Rzaeva R.A. Presence of metabolic syndrome does not influence intima-media thickness and interadventitial diameter of main arteries in patients with type 2 diabetes mellitus. *Kazan Medical Journal*. 2018; 99 (2): 235–239. https://doi.org/10.17816/KMJ2018-235 (In Russian)
9. Bashuk V.V., Anosova E.V., Prashchayeu K.I., et al. The intima-midia complex as new morphofunctional object for investigation of processes of polymorridity *Scientific Bulletins. Series: Medicine, Pharmacy*. 2013; 147 (4): 22–27. (In Russian)
10. Pacifico L., Bonci E., Andreoli G. et al. Association of serum triglyceride-to-HDL cholesterol ratio with carotid artery intima-media thickness, insulin resistance and nonalcoholic fatty liver disease in children and adolescents. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis*. 2014; 24 (7): 737–743. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2014.01.010
11. Jia X., Zhu Y., Qi Y. et al. Association between triglyceride glucose index and carotid intima-media thickness in obese and nonobese adults. *J. Diabetes*. 2022; 14 (9): 596–605. https://doi.org/ 10.1111/1753-0407.13312
12. Efimov A.S. Diabetic angiopathies. M.: Medicine, 1989. 228 p. (In Russian)
13. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Ultrasound angiology. Pub. 3. M.: Real time, 2007. 416 p. (In Russian)
14. Golovin D.A., Lelyuk S.Eh., Lelyuk V.G. Ultrasound in Assessment of Diabetic Macroangiopathy and Microangiopathy in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2016; 3: 72–81. (In Russian)
15. Arutyunyan N.M., Lelyuk S.E. Ultrasound Diagnostic Criteria of Diabetic Macroangiopathy Early Manifestation in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2007; 5: 76–83. (In Russian)
16. Ivashkin V.T., Drapkina O.M., Korneeva O.N. Clinical variants of metabolic syndrome. M.: Med. inform. Agency, 2011. 220 p. (In Russian)

Для корреспонденции*: Вахитова Алия Рустемовна – e-mail: aliafat@yandex.ru

Вахитова Алия Рустемовна – врач ультразвуковой диагностики ГБУЗ "Городская поликлиника № 64, филиал № 2 ДЗ города Москвы", Москва. https://orcid.org/0009-0005-3986-6586

Бердалин Александр Берикович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник ФГБУ "Федеральный центр мозга и нейротехнологий" ФМБА России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-5387-4367

Лелюк Владимир Геннадьевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель МПМЦ "Сосудистая клиника на Патриарших"; руководитель отдела клинической и экспериментальной физиологии кровообращения ФГБУ "Федеральный центр мозга и нейротехнологий" ФМБА России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-9690-8325

Лелюк Светлана Эдуардовна – доктор мед. наук, профессор, руководитель МПМЦ "Сосудистая клиника на Патриарших"; профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО "Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-8428-8037

Contact*: Aliya R. Vakhitova – e-mail: aliafat@yandex.ru

Aliya R. Vakhitova – ultrasound specialist, City Polyclinic No. 64 branch No. 2, Moscow Department of Healthcare, Moscow. https://orcid.org/0009-0005-3986-6586

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

Vladimir G. Lelyuk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Vascular Clinic on the Patriarchs; Head of department clinical and experimental physiology of circulatory system, ultrasound and functional diagnostics, Federal center of brain research and neurotechnologies" of the Federal Medical Biological Agency, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-9690-8325

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

Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1395

Эхокардиографическая методика speckle tracking в определении фиброза у детей после коррекции аномального отхождения левой коронарной артерии от легочной артерии в отдаленном послеоперационном периоде

© **Барышникова И.Ю.*, Дарий О.Ю., Ванеева А.М., Рогова Т.В., Кожушная К.А., Заварина А.Ю., Асланиди И.П.**

ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева" Минздрава России; 121552 Москва, Рублевское шоссе, 135, Российская Федерация

Цель исследования: комплексная эхокардиографическая оценка морфофункционального состояния желудочков сердца с применением методики speckle tracking у детей с аномальным отхождением левой коронарной артерии от легочной артерии (АОЛКА от ЛА) в отдаленном послеоперационном периоде, а также анализ результатов сегментарной продольной и циркулярной деформации миокарда левого желудочка по данным speckle tracking в сравнительном анализе с данными фиброзных изменений миокарда методом МРТ у этой группы детей.

Материал и методы. Исследование является проспективным обсервационным. Обследовано и проанализировано 25 детей с АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде, пролеченных в Центре. Полученные в отдаленном периоде морфофункциональные параметры левого (ЛЖ) и правого (ПЖ) желудочков сравнивали с фракцией выброса и размерами ЛЖ, степенью митральной недостаточности и возрастом на момент коррекции порока. МРТ сердца выполнено 15 пациентам (60%; n = 15/25) на аппарате Avanto 1,5 Тл. Средний возраст детей на момент исследования составил 8,8 ± 3,5 года.

Результаты. Снижение продольной деформации миокарда ЛЖ по сегментам уникально в каждом конкретном случае. Наибольшее количество сегментов со сниженной продольной деформацией было выявлено во 2-м сегменте (переднеперегородочный базальный), в 4-м сегменте (нижний базальный), в 5-м сегменте (нижнебоковой базальный), в 6-м сегменте (переднебоковой базальный), в 11-м сегменте (нижнебоковой средний).

Не выявлено статистически значимой зависимости систолической и диастолической функций ЛЖ и ПЖ, оцененных с применением тканевой допплерографии и методики speckle tracking у детей после коррекции АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде с фракцией выброса и размерами ЛЖ, степенью митральной недостаточности и возрастом на момент коррекции порока.

Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной деформации ЛЖ менее 9,5% в определении фиброза по данным МРТ составили 92 и 85% соответственно (площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72)).

Ключевые слова: speckle tracking-эхокардиография, аномальное отхождение левой коронарной артерии от легочной артерии, магнитно-резонансная томография, фиброз

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Барышникова И.Ю., Дарий О.Ю., Ванеева А.М., Рогова Т.В., Кожушная К.А., Заварина А.Ю., Асланиди И.П. Эхокардиографическая методика speckle tracking в определении фиброза у детей после коррекции аномального отхождения левой коронарной артерии от легочной артерии в отдаленном послеоперационном периоде. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 43–53. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1395

Поступила в редакцию: 07.08.2023. **Принята к печати:** 19.12.2023. **Опубликована online:** 26.12.2023.

Left ventricular speckle tracking echocardiography in predicting of fibrosis in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period

© **Irina Yu. Baryshnikova*, Olga Yu. Dariy, Anna M. Vaneeva, Tat'yana V. Rogova, Kristina A. Kozhushnaya, Anna Yu. Zavarina, Irakly P. Aslanidis**

A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation;
135, Roublyevskoe shosse, Moscow 121552, Russian Federation

The aim of our study is a comprehensive echo assessment of the LV function using the speckle tracking technique in children with abnormal origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period and a comparative analysis segmental longitudinal and circumferential LV deformation with cardiac magnetic resonance late enhancement of myocardium.

Material and methods. The search is a prospective observational study. We examined and analyzed 25 children with AOLCA from PA in late postoperative period. Obtained morphofunctional LV and RV echo parameters were compared with LV ejection fraction and dimensions, the grade of mitral insufficiency and age at the time of operation. CMR was performed in 15 patients (60%; n = 15/25) using Avanto 1.5T. The average age of children at the time of the study was 8.8 ± 3.5 years.

Results. Reduce of LV segmental longitudinal deformation is unique in each patient's case. The largest number of segments with reduced longitudinal deformation was detected in the 2d (anteroseptal basal); in 4th (inferior basal); 5th (inferolateral basal), 6th (anterolateral basal), 11th (inferolateral middle) segments of LV myocardium.

There is no relationship between LV global longitudinal and circumferential deformation in children in the late postoperative period after correction of AOLCA from PA and initial LV morphological and functional echo data (at the time of defect correction).

Segmental LV longitudinal deformation Area Under the Curve is 0.64 (0.56–0.72) with "cut-off" 9.5% with a sensitivity of 92% and a specificity of 85% and circumferential segmental deformity Area Under the Curve is 0.48 (0.40–0.56) in the predicting of fibrosis according to CMR data.

Keywords: speckle tracking echocardiography, abnormal origin of the left coronary artery from the pulmonary artery, cardiac magnetic resonance imaging, fibrosis

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

For citation: Baryshnikova I.Yu., Darii O.Yu., Vaneeva A.M., Rogova T.V., Kozhushnaya KA., Zavarina A Yu., Aslanidi I.P. Left ventricular speckle tracking echocardiography in predicting of fibrosis in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 43–53. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1395

Received: 07.08.2023. **Accepted for publication:** 19.12.2023. **Published online:** 26.12.2023.

Введение

Эхокардиография открывает все новые возможности для изучения функции сердца. Одной из таких методик стала методика speckle tracking. Доступность нового метода оценки функции левого желудочка спровоцировала интерес к ее использованию при врожденных пороках сердца, в частности при аномальном отхождении левой коронарной артерии от легочной артерии (АОЛКА от ЛА). Эхокардиографическая методика speckle tracking основана на измерении региональной деформации желудочка, не зависит от геометрии желудочка и может выявить субклиническую дисфункцию миокарда на более ранних стадиях, чем обычная эхокардиография [1, 2].

Аномальное отхождение левой коронарной артерии от легочной артерии это крайне редкий врожденный порок сердца. Синдром АОЛКА – это уникальная клиническая модель для изучения влияния хронической гипоперфузии и последующей реперфузии на функцию ЛЖ без сопутствующих заболеваний, таких как гипертония, курение табака, диабет или дислипидемия [2–4]. Успешная реваскуляризация инициирует процесс обратного ремоделирования ЛЖ, но, несмотря на нормализацию общей функции ЛЖ после операции, могут существовать остаточные поражения коронарных артерий или фиброз. Также миокард у пациентов с АОЛКА от ЛА может быть хронически гипоперфузирован и часть миокарда может быть не способ-

на к сокращению. Совершенствование методов неинвазивной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы у детей занимает ключевую роль в улучшении не только результатов хирургического и медикаментозного лечения, но и способствует доклиническому выявлению нарушения функции миокарда и своевременной диагностике осложнений у оперированных пациентов. Проблема раннего выявления ишемии миокарда левого (ЛЖ) и правого (ПЖ) желудочков сердца остается полностью нерешенной во взрослой кардиологии и является крайне актуальной у детей/подростков после коррекции пороков сердца с компрометированным коронарным кровотоком. Деформация миокарда – это новый метод, разработанный для количественной оценки регионарной и глобальной функции миокарда. Концепция применения ультразвуковых методик для оценки деформации миокарда в детской кардиологии является новой, малоизученной.

Цель исследования: комплексная эхокардиографическая оценка морфофункционального состояния желудочков сердца с применением методики speckle tracking у детей с АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде (более 5 лет). Кроме того, были проанализированы результаты сегментарной продольной и циркулярной деформации миокарда ЛЖ в сравнительном анализе с данными фиброзных изменений миокарда методом МРТ у этой группы детей.

Материал и методы

Исследование является проспективным обсервационным. Обследовано и проанализировано 25 детей с АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде, пролеченных в Центре. При плановом эхокардиографическом обследовании оценивали морфометрию ЛЖ: конечно-диастолический размер (КДР, см), индексированный конечно-диастолический объем (КДО, мл/м^2), толщину нижнебоковой стенки ЛЖ и межжелудочковой перегородки, свободной стенки ПЖ (мм), индексированную к площади поверхности тела массу миокарда. Относительная толщина стенок рассчитывалась как сумма толщины в диастолу нижнебоковой стенки и межжелудочковой перегородки, поделенная на КДР ЛЖ (норма 0,32–0,42). Глобальную (систолическую и диастолическую) функцию ЛЖ и ПЖ оценивали с применением тканевой допплерографии (скорость систолического смещения фиброзного кольца митрального и трикуспидального клапанов – S' (см/с); отношение скорости трансмитрального/транстрикуспидального потока к скорости движения фиброзных колец митрального и трикуспидального клапанов соответственно (E/e); продольную и циркулярную глобальную деформацию ЛЖ и продольную глобальную деформацию ПЖ, оцененную методом speckle tracking). Исследование проводили на ультразвуковых аппаратах Vivid E9 (GE) и CX-50 (Philips) с использованием матричного датчика S6 и S5 соответственно с одновременной записью ЭКГ. Нормальным считали значение продольной деформации в абсолютных цифрах более «–» 18% [5].

Полученные в отдаленном периоде морфофункциональные параметры ЛЖ и ПЖ сравнивали с фракцией выброса и размерами ЛЖ, степенью митральной недостаточности и возрастом на момент коррекции порока.

МРТ сердца выполнено 15 пациентам (60%; n = 15/25) на аппарате Avanto 1,5 Тл в кардиопрограмме с ЭКГ-синхронизацией до и после контрастирования макроциклическим парамагнитным контрастным препаратом в дозировке 0,15 ммоль/кг массы тела. Стандартный протокол сканирования сердца включал кинопоследовательности в SSFP (TrueFISP) – для оценки функциональных параметров сердца, в 4-, 2-камерной плоскостях ЛЖ и ПЖ, в плоскости выводных отделов обоих желудочков и по короткой оси сердца. Визуализация структурных изменений миокарда (выявление очагов фиброза) выполнялась с использование последовательности позднего усиления гадолиния (LGE), сканирование проводилось спустя 10 мин после внутривенного введения контрастного препарата. На полученных изображениях оценивали наличие фиброза, локализацию согласно 17-сегментарной модели AHA и генез фиброза (ишемический и/или неишемический).

Представленные данные обрабатывали, используя программу SPSS ver. 10 Microsoft Windows XP. Данные представлены в виде среднего арифметического ± среднее квадратическое отклонение. Проверка на "нормальность" осуществлялась при помощи теста Колмогорова–Смирнова. Сравнение количественных переменных, распределение которых соответствовало нормальному, проводили при помощи критерия Стьюдента. Определение силы связи между количественными переменными определяли при помощи критерия Пирсена. Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной и циркулярной деформации ЛЖ в определении фиброза по данным МРТ оценивали при помощи бинарной логистической регрессии.

Результаты

Средний возраст детей на момент исследования составил 8,8 ± 3,5 года. Возраст на момент операции по коррекции порока варьировал от

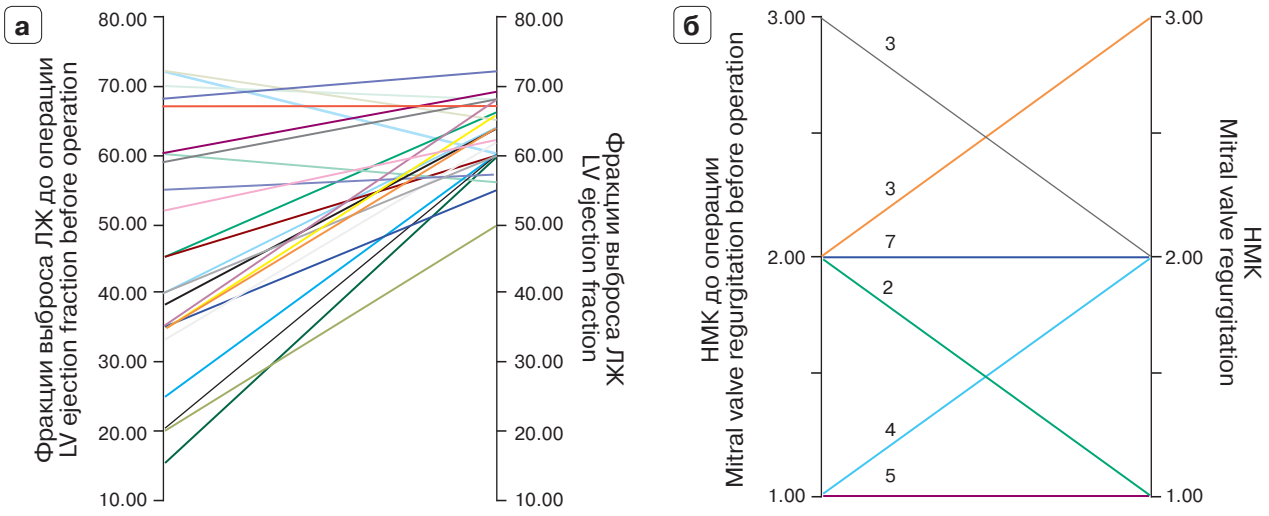


Рис. 1. а – динамика восстановления фракции выброса ЛЖ у детей после коррекции АОЛКА от ЛА. У одного пациента с исходной фракцией выброса ЛЖ 20% произошло восстановление до 50%, остальные дети после коррекции АОЛКА от ЛА на момент исследования в отдаленном периоде имели фракцию выброса более 55%; **б** – изменение степени регургитации на митральном клапане. У 3 пациентов произошло увеличение степени митральной регургитации со 2-й до 3-й, у 4 детей – с 1-й до 2-й степени. Остальные 18 детей имели улучшение или неизменную митральную регургитацию.

Fig. 1. а – Dynamics of LV ejection fraction improve in children after correction of the AOLCA from PA. In one patient with an initial LV ejection fraction of 20% was recovered up to 50%. All other patients have LV ejection fraction more than 55%; **б** – change in the degree of mitral valve regurgitation. In 3 patients there were an increase of mitral regurgitation from 2 to 3 degrees; in 4 children – from 1 to 2 degrees. The remaining 18 children had improvement or unchanged mitral regurgitation.

2,0 до 96,0 мес и в среднем составил 26,1 ± 29,6 мес. Исходная фракция выброса ЛЖ в среднем составила 45,3 ± 18,2% (варьировала от 15,0 до 72,0%), КДР – 3,6 ± 0,6 см (варьировал от 2,5 до 4,5 см), недостаточность митрального клапана 1-й степени была выявлена у 4 пациентов, 2-й степени – у 11, 3-й степени – у 9, 4-й степени – у 1. Динамика восстановления фракции выброса и изменения степени недостаточности митрального клапана представлены на рис. 1. У 1 пациента с 4-й степенью регургитации было выполнено протезирование митрального клапана. В отдаленном периоде после коррекции порока у большинства пациентов наблюдалось уменьшение степени регургитации на митральном клапане или отсутствие изменений.

В табл. 1 представлены морфофункциональные эхокардиографические данные ЛЖ и ПЖ у пациентов в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА.

При оценке ремоделирования ЛЖ выявлены изменения у более половины пациентов: 36% (9 детей) – эксцентрическое ремоделирование, у 8% (2) – концентрическое ремоделирование, у 12% (3) – эксцентрическая гипертрофия и у 4% (1) – концентрическая гипертрофия.

Средние значения глобальной продольной деформации ЛЖ и ПЖ и глобальной циркулярной деформации ЛЖ не были снижены (см. табл. 1). Однако глобальная продольная и циркулярная деформации ЛЖ варьировали от 14 до 23% и от 8,1 до 31% соответственно. Не выявлено зависимости морфофункциональных параметров ЛЖ и ПЖ, представленных в табл. 1, от фракции выброса и размеров ЛЖ, степени митральной недостаточности и возраста на момент коррекции порока.

При анализе индивидуальных 17-сегментарных карт продольной деформации ЛЖ наибольшее количество сегментов со сниженной деформацией было выявлено во 2-м сегменте (переднеперегородочный базальный), в 4-м сегменте (нижний базальный), 5-м сегменте (нижнебоковой базальный), в 6-м сегменте (переднебоковой базальный), в 11-м сегменте (нижнебоковой средний). В табл. 2 представлено распределение сегментов со сниженной деформацией по картам продольной деформации ЛЖ (“Bull-eye”) у пациентов в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА.

По данным МРТ у всех исследуемых пациентов в отсроченную фазу сканирования выявлены изменения в миокарде ЛЖ ишемического (у 60% (9)) и неишемического (у 40% (6)) генеза. Ишемический паттерн накопления контрастного препарата был выявлен у 67% (6) пациентов в бассейне передней межжелудочковой ветви левой коронарной арте-

Таблица 1. Морфофункциональные эхокардиографические данные ЛЖ и ПЖ у пациентов в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА

Table 1. Morphological and functional echo data of the left and right ventricle in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period

	Min	Max	Mean ± SD
Конечно-диастолический размер ЛЖ, см LV end-diastolic dimension, cm	3.0	4.50	3.7 ± 0.5
Индексированный к площади поверхности тела конечно-диастолический объем ЛЖ, мл/м^2 LV end-diastolic volume indexed body surface area, ml/m^2	36.0	100.0	61.9 ± 16.7
Относительная толщина стенки Relative LV wall thickness	0.24	0.51	0.32 ± 0.7
Индексированная к площади поверхности тела масса миокарда ЛЖ, г/м^2 LV myocardium mass indexed body surface area, g/m^2	48.9	102.2	68.5 ± 23.4
Фракция выброса ЛЖ, % LV Ejection Fraction, %	50.0	72.0	62.7 ± 5.2
Глобальная продольная деформация ЛЖ, % Global long LV deformation,%	14.0	23.5	19.0±2.8
Глобальная циркулярная деформация ЛЖ, % Global circumferential LV deformation,%	8.10	31.00	19.1 ± 4.8
Глобальная продольная деформация ПЖ, % Global long RV deformation,%	17.3	24.0	20.1 ± 2.1
S LV lateral, cm/s	5.0	11.0	8.5 ± 1.5
e LV lateral, cm/s	12.0	23.0	16.8 ± 2.8
S RV, cm/s	7.0	15.0	10.6 ± 2.3
e RV, cm/s	6.0	22.0	12.4 ± 3.9
E/e LV	3.5	11.0	6.5 ± 1.9
E/e RV	2.6	9.8	5.6 ± 2.1
MPI LV	0.21	0.48	0.32 ± 0.07
MPI RV	0.16	0.48	0.30 ± 0.07

Таблица 2. Количество сегментов со сниженным значением продольной деформации ЛЖ согласно 17-сегментарной модели у детей в отдаленном периоде после коррекции АОЛКА от ЛА

Table 2. Segments number with reduced value of longitudinal LV deformation according to the 17-segment model in children after correction of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery in the late postoperative period

Сегменты/уровень	Basal, n (%)	Medium, n (%)	Apex, n (%)
Inferior	11 (55%)	4 (20%)	
Inferolateral	3 (15%)	3 (15%)	
Anteroseptal	13 (65%)	1 (5%)	1 (5%)
Anterior	7 (35%)	3 (15%)	2 (10%)
Anterolateral	7 (35%)	4 (20%)	1 (5%)
Inferolateral	9 (45%)	6 (30%)	

рии, а у 33% (3) пациентов в бассейне огибающей ветви левой коронарной артерии. Кроме того, максимальные фиброзные изменения у пациентов с ишемическим генезом фиброза были выявлены по переднеперегородочному сегменту на базальном и среднем уровнях ЛЖ. При анализе степени трансмуральности фиброза в миокарде ЛЖ в группе пациентов с ишемическим генезом фиброза распространенность фиброза от уровня субэндокардиальных отделов инрамиокардиально составило в среднем 48 ± 6,3% от толщины миокарда ЛЖ. В группе пациентов с неишемическим гене-

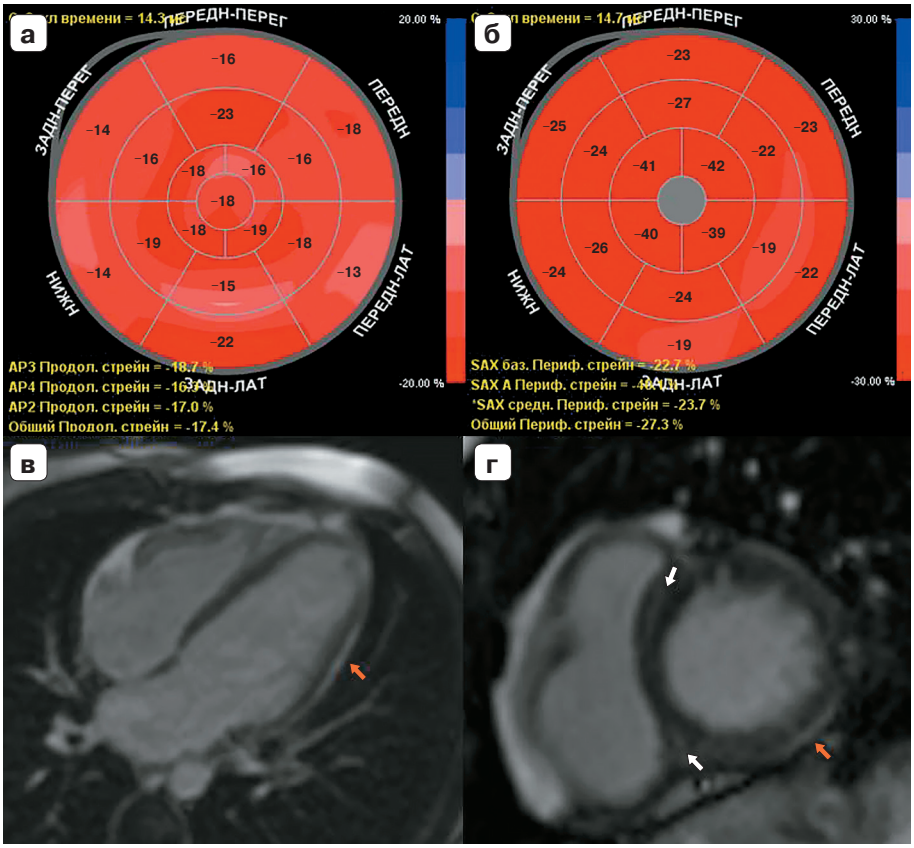


Рис. 2. Визуальная диагностика ЛЖ у ребенка 13 лет после коррекции АОЛКА от ЛА в возрасте 3 лет. Эхокардиография с применением методики speckle tracking. **а** – карта продольной деформации миокарда ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на базальном уровне в переднем, переднебоковом, нижнебоковом и нижнем сегментах; **б** – карта циркулярной деформации ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на базальном и среднем уровнях в переднеперегородочном и нижнебоковом сегментах. МРТ сердца; **в** – 4-камерная проекция сердца; **г** – короткая ось сердца. Интрамиокардильное накопление контрастного препарата по переднеперегородочному и нижнеперегородочному сегментам на базальном уровне ЛЖ (белые стрелки), субэпикардиальное накопление контрастного препарата по нижнебоковому сегменту ЛЖ на базальном и среднем уровнях (оранжевая стрелка).

Fig. 2. Left ventricle multimodality imagings in a 13-year-old child after AOLCA from PA correction at the age of 3 years. **а** – speckle tracking echocardiography shows impaired longitudinal deformation (pink segment) at the basal level in the anterior, anterolateral, inferolateral and inferior segments; **б** – speckle tracking echocardiography shows impaired circumferential deformation (pink segment) at the basal and middle levels in the anterio-septal and inferio-lateral segments. Cardiac MRI; **в** – 4-chamber view of the heart; **г** – Short axis view. Intramyocardial contrast agent accumulation in the anterio-septal and inferio- septal segments at the LV basal level (white arrows), subepicardial contrast agent accumulation in the LV inferio-lateral segments at the basal and middle levels (orange arrow).

зом фиброза максимальные фиброзные изменения выявлены по заднеперегородочному сегменту на уровне средней трети и межжелудочковой перегородки на уровне нижней трети. При сопоставлении 17-сегментарной продольной и 16-сегментарной циркулярной карт деформации с помощью метода speckle tracking с локализацией фиброза по сегментам по данным МРТ была выявлена площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72) для сегментарной продольной деформации с точкой cut-off локальной продольной деформации 9,5% с чувствительностью 92% и специфичностью 85% и 0,48 (0,40–0,56) для циркулярной сегментарной деформации (рис. 2–4).

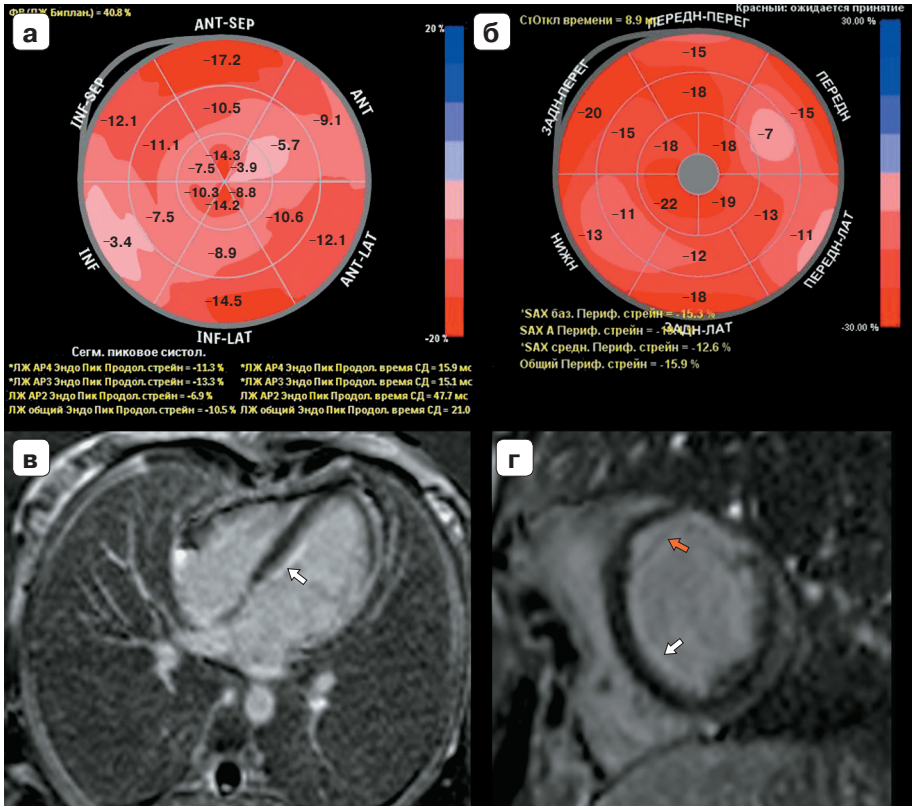


Рис. 3. Визуальная диагностика ЛЖ у ребенка 14 лет после коррекции АОЛКА от ЛА в возрасте 6 лет. Эхокардиография с применением методики speckle tracking. **а** – карта продольной деформации миокарда ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на всех уровнях преимущественно в переднем, переднебоковом, нижнеперегородочном и нижнем сегментах; **б** – карта циркулярной деформации ЛЖ. Снижение деформации (розовый цвет) на базальном и среднем уровнях в переднебоковом, переднем и нижнем сегментах. МРТ сердца; **в** – 4-камерная проекция сердца; **г** – короткая ось сердца. Субэндокардиальное накопление контрастного препарата по нижнеперегородочному сегменту на базальном уровне ЛЖ (белые стрелки), практически трансмуральное накопление контрастного препарата по переднему и переднебоковому сегментам ЛЖ на базальном и среднем уровнях (оранжевая стрелка).

Fig. 3. Left ventricle multimodality imagings in a 14-year-old child after AOLCA from PA correction at the age of 6 years. **а** – speckle tracking echocardiography shows impaired longitudinal deformation (pink segment) at all levels, mainly in the anterior, anterolateral, inferio- septal, and inferior segments; **б** – Speckle tracking echocardiography shows impaired circumferential deformation (pink segment) at the basal and middle levels in the antero-lateral, anterior and inferior segments. Cardiac MRI; **в** – 4-chamber view; **г** – Short axis view. Subendocardial contrast agent accumulation in the inferio-septal segment at the LV basal level (white arrows), almost transmural contrast agent accumulation in the anterior and antero-lateral LV segments at the basal and middle levels (orange short arrow).

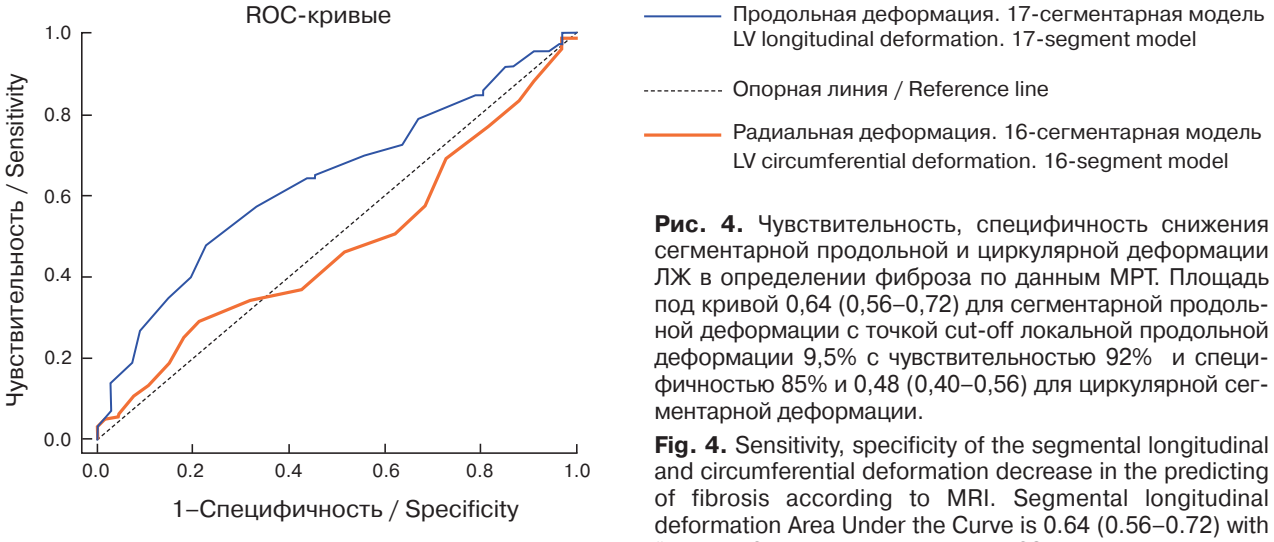


Рис. 4. Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной и циркулярной деформации ЛЖ в определении фиброза по данным МРТ. Площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72) для сегментарной продольной деформации с точкой cut-off локальной продольной деформации 9,5% с чувствительностью 92% и специфичностью 85% и 0,48 (0,40–0,56) для циркулярной сегментарной деформации.

Fig. 4. Sensitivity, specificity of the segmental longitudinal and circumferential deformation decrease in the predicting of fibrosis according to MRI. Segmental longitudinal deformation Area Under the Curve is 0.64 (0.56–0.72) with "cut-off" 9.5% with a sensitivity of 92% and a specificity of 85% and circumferential segmental deformity Area Under the Curve is 0.48 (0.40–0.56).

Обсуждение

АОЛКА от ЛА крайне редкий врожденный порок, который не проявляется внутриутробно из-за особенностей кровообращения плода, включающих почти равное давление в легочной артерии и аорте, а также высокое сопротивление легочных сосудов и относительно одинаковую концентрацию кислорода в магистральных сосудах. Эти факторы способствуют нормальной внутриутробной перфузии миокарда [3, 4]. Также в первые дни после рождения высокое легочное сосудистое сопротивление позволяет поддерживать перфузионное давление в аномально отходящей левой коронарной артерии. У детей с АОЛКА от ЛА патологические изменения миокарда начинают развиваться при снижении давления в легочной артерии. Ретроградный поток в левой коронарной артерии, притекающий из правой коронарной артерии через естественные коллатерали к легочной артерии вследствие низкого давления в ней, вызывает обширную ишемию миокарда, которая возникает из-за потери перфузионного давления в коронарных артериях в результате синдрома обкрадывания. Степень ишемии миокарда зависит от количества коллатералей, развитых между правой и левой коронарными артериями. Обычно АОЛКА от ЛА проявляется симптомами застойной сердечной недостаточности и при отсутствии лечения смертность достигает 90% на первом году жизни. Предоперационная ишемия миокарда приводит к снижению фракции выброса ЛЖ, митральной регургитации и расширению ЛЖ [3]. Лечение выбора заключается в немедленной хирургической реимплантации ЛКА в аорту или создании внутрилегочного тоннеля/перегородки, когда ее перемещение невозможно (операция Такеуши).

Синдром АОЛКА от ЛА – это уникальная клиническая модель для изучения влияния хронической гипоперфузии и последующей реперфузии на функцию ЛЖ без сопутствующих заболеваний, таких как гипертония, курение табака, диабет или дислипидемия [4]. Успешная реваскуляризация инициирует процесс обратного ремоделирования ЛЖ, но, несмотря на нормализацию общей функции ЛЖ после операции, могут существовать остаточные поражения коронарных артерий или фиброз. Наконец, миокард у пациентов с АОЛКА от ЛА может быть хронически гипоперфузирован. Совершенствование методов неинвазивной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы у детей играет ключевую роль в улучшении не только результатов хирургического и медикаментозного лечения, но и способствует доклиническому выявлению нарушения функции миокарда и своевременной диагностике осложнений у оперированных пациентов. Проблема раннего выявления ишемии миокарда ЛЖ и ПЖ сердца остается полностью нерешенной во взрослой кардиологии и является крайне актуальной у детей/подростков после коррекции пороков сердца с компрометированным коронарным кровотоком. Деформация миокарда – это новый метод, разработанный для количественной оценки регионарной и глобальной функций миокарда. Концепция применения ультразвуковых методик для оценки деформации миокарда в детской кардиологии является новой, малоизученной.

Проведенные исследования и сообщения разных авторов свидетельствуют о недостаточности оценки функции ЛЖ обычными методами эхокардиографии. Были представлены случаи внезапной сердечной смерти у пациентов после операции с сохранной функцией ЛЖ и без значимой недостаточности митрального клапана [6, 7]. Несмотря на хорошую первичную диагностику и хирургическое пособие, в послеоперационном периоде необходимо динамическое наблюдение за пациентами для оценки митральной регургитации и функции миокарда, но наилучший метод для наблюдения пока не определен.

L. Mertens и соавт. сообщили о результатах динамического наблюдения за показателями деформации миокарда у новорожденных детей, которым выполнена операция в связи с АОЛКА от ЛА. Они обнаружили, что в послеоперационном периоде восстановление значений глобальной продольной деформации миокарда ЛЖ было дольше, чем значения радиальной деформации, особенно при выполнении тестов с физической нагрузкой [8]. G. Di Salvo и соавт. получили аналогичные данные при наблюдении 30 пациентов в течение 12 мес после реимплантации левой коронарной артерии при таком пороке [9]. Напротив, A.G. Cabrera и соавт. показали несколько другие результаты: глобальная продольная и радиальная деформации у 11 (79%) из 14 пациентов с АОЛКА от ЛА, обследованных через 6 лет после хирургического вмешательства, оставались сниженными [10]. Наши данные согласуются с результатами вышеуказанных авторов частично. В отдаленном послеоперационном периоде у пациентов с АОЛКА от ЛА мы получили практически полное восстановление глобальной продольной деформации ЛЖ и не полностью глобальной циркулярной деформации ЛЖ 19,0 ± 2,8 (14,0–23,5) и 19,1 ± 4,8 (8,1–31,0) соответственно. Это может свидетельствовать о том, что при адекватном восстановлении коронарного кровотока субэндокардиальная ишемия регрессирует быстрее, поскольку значения глобальной продольной деформации ЛЖ достигают нормальных значений раньше циркулярных. Учитывая это, можно предположить, что у наших пациентов отсутствовало трансмуральное фиброзное поражение миокарда по данным МРТ из-за восстановления коронарного кровотока после операции.

Снижение продольной деформации в послеоперационном периоде у детей с АОЛКА от ЛА отмечается в результатах исследований большинства авторов [8–10]. Но закономерности поражения зон миокарда не выявлено, что усложняет процесс динамического наблюдения за такими пациентами. Это также подтверждается в исследовании A. Secinaro и соавт. [11]. У 6 пациентов в возрасте от 6 лет до 21 года была выполнена МРТ сердца, где выявили нарушение кинетики миокарда преимущественно в переднебоковой стенке ЛЖ. В нашем исследовании максимальные фиброзные изменения локализованы по переднеперегородочному сегменту ЛЖ у пациентов с ишемическим генезом фиброза (бассейн передней межжелудочковой ветви левой коронарной артерии) и по заднеперегородочному сегменту ЛЖ и межжелудочковой перегородке у пациентов с неишемическим генезом фиброза (вероятно, на фоне ремоделирования миокарда ЛЖ). В исследовании A. Dabrowska-Kugacka и соавт. снижение показателей деформации миокарда локализовалось преимущественно в заднебоковой стенке ЛЖ и в верхушечной области. В других исследованиях региональные нарушения кинетики миокарда определялись также в бассейне правой коронарной артерии [4, 8–10]. Некоторые авторы наблюдали сохранение кинетики миокарда апикальных сегментов в послеоперационном периоде наряду со снижением показателей деформации миокарда в переднебоковых отделах ЛЖ [9, 11].

A. Dabrowska-Kugacka и соавт. представили отдаленные результаты наблюдений за 24 пациентами после коррекции АОЛКА от ЛА [4]. Пациенты наблюдались в среднем 17 лет (16,8 ± 7,8; от 1,2 до 23,3 года). Только у 4 пациентов были симптомы сердечной недостаточности II класса по Нью-Йоркской классификации сердечной недостаточности. Среднее значение глобальной продольной деформации ЛЖ было снижено и составило –15,8 ± 3,3% в группе с АОЛКА от ЛА и –21,9 ± 1,7% в контрольной группе ($p < 0,001$). Исследователи выявили, что худшие показатели продольной деформации наблюдались в базальных боковых сегментах ЛЖ (–8,9 ± 8,9%), а также что у каждого пациента в группе с АОЛКА от ЛА был хотя бы один сегмент ЛЖ с аномальным значением продольной деформации миокарда. Это также частично согласуется с нашими данными: максимальное количество сегментов с клинически значимым значением сниженной деформации (менее 16%, в абсолютных цифрах) – базальные передний, переднеперегородочный, нижний, нижнебоковой, переднебоковой, а также средний нижний, что соответствует 1, 2, 4, 5, 6 и 11-му сегментам общепринятой 17-сегментарной модели ЛЖ.

Глобальная продольная деформация миокарда ЛЖ более чувствительный параметр, чем фракция выброса ЛЖ, для выявления субклинической дисфункции миокарда. Поскольку пациенты с АОЛКА от ЛА представляют уникальную модель развития

ишемии и фиброза, мы проанализировали полученные результаты сегментарной продольной и циркулярной деформации миокарда ЛЖ в сравнительном анализе с данными фиброзных изменений миокарда методом МРТ у 15 детей этой группы. Была рассчитана площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72) только для сегментарной продольной деформации с точкой cut-off 9,5% с чувствительностью 92% и специфичностью 85%. Несмотря на то что все пациенты имели фиброзные изменения миокарда ЛЖ ишемического или неишемического генеза, относительно малую площадь под кривой следует связывать с тем, что результат сниженной сегментарной продольной деформации миокарда ЛЖ, полученной с помощью двухмерной методики speckle tracking, может быть следствием фиброза миокарда лишь косвенно. В основе патологического функционирования миокарда наряду с фиброзом могут лежать другие факторы: геометрия ЛЖ, частота сердечных сокращений, пред- и постнагрузка, деформация грудной клетки и, наконец, вендорные отличия [12–14].

Выводы

1. Наибольшее количество сегментов со сниженной деформацией было выявлено во 2-м сегменте (переднеперегородочный базальный), в 4-м сегменте (нижний базальный), 5-м сегменте (нижнебоковой базальный), в 6-м сегменте (переднебоковой базальный), в 11-м сегменте (нижнебоковой средний).

2. Не выявлено зависимости систолической и диастолической функций ЛЖ и ПЖ, оцененных с применением тканевой допплерографии и методики speckle tracking, у детей после коррекции АОЛКА от ЛА в отдаленном послеоперационном периоде (длительность наблюдения более 5 лет) от фракции выброса и размеров ЛЖ, степени митральной недостаточности и возраста на момент коррекции порока.

3. Чувствительность, специфичность снижения сегментарной продольной деформации ЛЖ менее 9,5% в определении фиброза по данным МРТ составили 92 и 85% соответственно (площадь под кривой 0,64 (0,56–0,72)).

4. Необходима регулярная динамическая оценка функции сердца с применением эхокардиографической методики speckle tracking у пациентов с АОЛКА от ЛА после хирургического вмешательства для выявления пациентов с субклинической ишемией при неполном восстановлении после коррекции и/или возникшей впоследствии и своевременного ее лечения.

Участие авторов

Барышникова И.Ю. – участие в научном дизайне, проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, написание текста, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Дарий О.Ю. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Ванеева А.М. – проведение исследования, сбор и обработка данных, ответственность за целостность всех частей статьи.

Рогова Т.В. – концепция и дизайн исследования.

Кожушная К.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Заварина А.Ю. – утверждение окончательной версии статьи.

Асланиди И.П. – утверждение окончательной версии статьи.

Authors' participation

Baryshnikova I.Yu. – participation in scientific design, conducting research, collection and analysis of data, writing text, preparation and creation of the published work.

Dariy OYu. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Vaneeva A.M. – conducting research, collection and analysis of data, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Rogova T.V. – concept and design of the study.

Kozhushnaya K.A. – conducting research, collection and analysis of data.

Zavarina A.Yu. – approval of the final version of the article.

Aslanidi I.P. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Бокерия Л.А., Алехин М.Н., Машина Т.В., Мрикаев Д.В., Голухова Е.З. Современные ультразвуковые технологии в кардиологии и кардиохирургии. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2018. 140 с.
   Bockeria L.A., Alekhin M.N., Mashina T.V., Mrikaev D.V., Golukhova E.Z. Actual ultrasound tools in cardiology and cardiac surgery. Moscow. Centre for CVS named A.N. Bakulev; 2018. 140 p. (In Russian)
2. Барышникова И.Ю., Ванеева А.М. Клиническое применение эхокардиографической методик speckle tracking для оценки функции левого желудочка у пациентов с врожденными пороками сердца. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2022; 64 (4): 370–377. https://doi.org/10.24022/0236-2791-2022-64-4-370-377
   Baryshnikova I.Yu., Vaneeva A.M. Left ventricular Speckle tracking echocardiography in patients with congenital heart disease in clinical practice. *Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery.* 2022; 64 (4): 370–377 https://doi.org/10.24022/0236-2791-2022-64-4-370-377 (In Russian)
3. Бокерия Л.А., Шаталов К.В. Детская кардиохирургия. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2016. 747с.

Bockeria L.A., Shatalov K.V. Pediatric cardiac surgery. Moscow. Centre for CVS named A.N. Bakulev; 2016; 2016. 747 p. (In Russian)
4. Dąbrowska-Kugacka A., Dorniak K., Meyer-Szary J. et al. Myocardial function in patients with anomalous left coronary artery from the pulmonary artery syndrome: A long-term speckle tracking echocardiographic study. *PLoS One.* 2019; 14 (10): e0223227. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223227
5. Potter E., Marwick T.H. Assessment of Left Ventricular Function by Echocardiography: The Case for Routinely Adding Global Longitudinal Strain to Ejection Fraction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (2, Pt 1): 260–274. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.11.017
6. Lange R., Vogt M., Hörer J. et al. Long-term results of repair of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery. *Ann. Thorac. Surg*. 2007; 83 (4): 1463–1471. https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2006.11.005
7. Dodge-Khatami A., Mavroudis C., Backer C.L. Anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery: collective review of surgical therapy. *Ann. Thorac. Surg*. 2002; 74 (3): 946–955. https://doi.org/10.1016/s0003-4975(02)03633-0
8. Mertens L., Weidemann F., Sutherland G.R. Left ventricular function before and after repair of an anomalous left coronary artery arising from the pulmonary trunk. *Cardiol. Young*. 2001; 11 (1): 79–83. https://doi.org/10.1017/s1047951100012464
9. Di Salvo G., Siblini G., Issa Z. et al. Left ventricular mechanics in patients with abnormal origin of the left main coronary artery from the pulmonary trunk late after successful repair. *Cardiology*. 2017; 136: 71–76. https://doi.org/10.1159/000447961
10. Cabrera A.G., Chen D.W., Pignatelli R.H. et al. Outcomes of anomalous left coronary artery from pulmonary artery repair: beyond normal function. *Ann. Thorac. Surg*. 2015; 99: 1342–1347. https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.12.035
11. Secinaro A., Ntsinjana H., Tann O. et al. Cardiovascular magnetic resonance findings in repaired anomalous left coronary artery to pulmonary artery connection (ALCAPA). *J. Cardiovasc. Magn. Reson*. 2011; 16: 13–27. https://doi.org/10.1186/1532-429X-13-27
12. Moharram M.A., Lamberts R.R., Whalley G. et al. Myocardial tissue characterisation using echocardiographic deformation imaging. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2019; 17 (1): 27. https://doi.org/10.1186/s12947-019-0176-9
13. Sonaglioni A., Nicolosi G.L., Rigamonti E. et al. Molecular Approaches and Echocardiographic Deformation Imaging in Detecting Myocardial Fibrosis. *Int. J. Mol. Sci*. 2022; 23 (18): 10944. https://doi.org/10.3390/ijms231810944
14. Lisi M., Cameli M., Mandoli G.E. et al. Detection of myocardial fibrosis by speckle-tracking echocardiography: From prediction to clinical applications. *Heart Fail. Rev*. 2022; 27: 1857–1867. https://doi.org/10.1007/s10741-022-10214-0

Для корреспонденции*: Барышникова Ирина Юрьевна – e-mail: iybaryshnikova@bakulev.ru; jatropha@mail.ru

Барышникова Ирина Юрьевна – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-8071-2531

Дарий Ольга Юрьевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог рентгенодиагностического отдела КТ и МРТ ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0003-0140-8166

Ванеева Анна Муратовна – младший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-2065-5720.

Рогова Татьяна Владимировна – доктор мед.наук, профессор, заведующая отделением реконструктивной хирургии новорожденных ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. https://orcid.org/000-0002-7610-1743

Кожушная Кристина Алексеевна – кардиолог ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-0223-2003

Заварина Анна Юрьевна – главный врач Реабилитационного центра для детей с пороками сердца ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-3091-9136

Асланиди Ираклий Павлович – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора, руководитель отдела ядерной диагностики ФГБУ “НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева” Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-6386-2378

Contact*: Irina Yu. Baryshnikova – e-mail: iybaryshnikova@bakulev.ru; jatropha@mail.ru

Irina Yu. Baryshnikova – Cand. of Sci. (Med.), Researcher, Department of ultrasound diagnostics, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0001-8071-2531

Olga Yu. Dariy – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, radiologist of the X-ray diagnostic department, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0003-0140-8166.

Anna M. Vaneeva – Researcher Assistant, Department of ultrasound diagnostics, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-2065-5720.

Tat’yana V. Rogova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of department of neonatal reconstructive surgery, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. https://orcid.org/000-0002-7610-1743

Kristina A. Kozhushnaya – cardiologist, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-0223-2003

Anna Yu. Zavarina – Chief Physician of the Rehabilitation Center for Children with Heart Defects, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-3091-9136

Irakly P. Aslanidis – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Nuclear Medicine Department, Head of the Department of Radiodiagnosis, Radiologist, A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow. https://orcid.org/0000-0001-6386-2378

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1380

Ультразвуковые предикторы тяжелого течения острого панкреатита

© **Руденко В.А.[1, 2*], Какаулина Л.Н.[1, 2], Какаулин А.Г.[2], Карамова И.М.[1], Фаизова А.И.[1]**

[1] ГБУЗ Республики Башкортостан "Клиническая больница скорой медицинской помощи города Уфы"; 450106 Уфа, ул. Батырская, д. 39/2, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО "Башкирский государственный медицинский университет" Минздрава России; 450008 Уфа, ул. Ленина, д. 3, Российская Федерация

Цель исследования: создание модели для прогнозирования тяжести острого панкреатита (ОП) с использованием ультразвуковых признаков.

Материал и методы. Проанализированы результаты обследования и лечения 322 пациентов с ОП. Пациентам были проведены ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерная томография (КТ) и лабораторные исследования. Полученные данные анализировались в отношении прогнозирования тяжелого ОП. Также на основании полученных данных была создана математическая модель прогнозирования степени тяжести ОП на основании ультразвуковых признаков.

Результаты. УЗИ продемонстрировало сопоставимые показатели прогностической эффективности (чувствительность (Se) 72,9 %, специфичность (Sp) 89,3, площадь под кривой ROC (AUC) 0,811) по сравнению с КТ (Se 85,4%, Sp 89,5%, AUC 0,854) и клинико-лабораторными системами (Se от 27,1 до 48,6%, Sp от 80,3 до 100%, AUC от 0,538 до 0,645).

Заключение. Прогностическая модель на основе ультразвуковых признаков позволяет стратифицировать пациентов с ОП по степени риска развития тяжелого ОП и не уступает существующим прогностическим шкалам.

Ключевые слова: острый панкреатит; ультразвуковое исследование; прогнозирование тяжелого панкреатита

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Руденко В.А., Какаулина Л.Н., Какаулин А.Г., Карамова И.М., Фаизова А.И. Ультразвуковые предикторы тяжелого течения острого панкреатита. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (2): 54–64. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1380

Поступила в редакцию: 03.07.2023. **Принята к печати:** 15.09.2023. **Опубликована online:** 25.12.2023.

Ultrasound predictors of severe acute pancreatitis

© **Valeria A. Rudenko[1, 2*], Lucia N. Kakaulina[1, 2], Andrey G. Kakaulin[2], Irina M. Karamova[1], Aliia I. Faizova[1]**

[1] Clinical Emergency Hospital of Ufa; 39/2, Batyrskaya str., Ufa 450106, Russian Federation

[2] Bashkir State Medical University; 3, Lenina str., Ufa 450008, Russian Federation

The objective of our study was to disclosed efficiency of ultrasound for the prediction of the severity of acute pancreatitis (AP).

Material and methods. Our study included 322 hospitalized patients with AP. We studied and compare the efficacy of clinical scoring systems and radiologic data.

Results. Ultrasound findings showed sensitivity (Se) 72,9%, and specificity (Sp) 89,3% compared with the clinical scoring systems (Se from 27,1% to 48,6%, Sp from 80,3% to 100%, AUC from 0,538 to 0,645) and computed tomography (Se 85,4%, Sp 89,5%). Ultrasound showed a trend of a higher AUC in the prediction of severe AP (0.811) compared with the clinical scoring systems (0,538 до 0,645) and computed tomography (AUC 0,854).

Conclusions. Abdominal ultrasound examination is a useful method for early prediction of the severity of acute pancreatitis.

Keywords: early prediction; severe acute pancreatitis; ultrasound

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

For citation: Rudenko V.A., Kakaulina L.N., Kakaulin A.G., Karamova I.M., Faizova A.I. Ultrasound predictors of severe acute pancreatitis. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 54–64. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1380

Received: 03.07.2023. **Accepted for publication:** 15.09.2023. **Published online:** 25.12.2023.

Введение

Острый панкреатит (ОП) – одно из сложнодиагностируемых и широко распространенных заболеваний. ОП является ведущей глобальной причиной госпитализаций [1, 2]. Примерно у 20% пациентов с ОП развивается тяжелое течение заболевания, приводящее к относительно высокой смертности [3, 4]. Было разработано множество прогностических систем оценки, как клинических, так и радиологических, однако они не обладают достаточной прогностической способностью [5–9]. Компьютерная томография (КТ) с контрастированием считается методом выбора для диагностики, стадирования и выявления осложнений ОП [10–18], в то же время выполнение КТ органов брюшной полости (ОБП) в ранние сроки рекомендуется только при неясности диагноза и дифференциальной диагностике с другими заболеваниями, при необходимости подтверждения тяжести по выявленным клиническим прогностическим признакам тяжелого ОП и при отсутствии эффекта от консервативного лечения [18]. УЗИ ОБП с диагностической целью рекомендуется выполнять у всех пациентов с подозрением на ОП [18]. Морфологическая оценка состояния поджелудочной железы и парапанкреатической области с целью прогнозирования тяжелого ОП при поступлении пациента в стационар рациональна с использованием ультразвукового метода диагностики, как высокоинформативного и высокодоступного.

Цель исследования: создание модели для прогнозирования тяжести ОП с использованием ультразвуковых признаков и сравнение ее с существующими прогностическими системами.

Материал и методы

Материалом данного исследования послужили результаты обследования и лечения 322 пациентов с ОП, которые находились на лечении в ГБУЗ Республики Башкортостан КБСМП г. Уфы. Анализировались результаты первичного осмотра хирурга и/или реаниматолога, лабораторные показатели общего и биохимического анализов крови, полученные на этапе приемно-диагностического отделения (ПДО) и в течение 72 ч госпитализации с подсчетом баллов по клиническим прогностическим шкалам Marshall, SOFA, Ranson, BISAP, APACHE-II. Также в условиях ПДО и в течение 72 ч госпитализации 322 (100%) пациентам было выполнено УЗИ ОБП с использованием расширенного протокола, включающего признаки, предположительно влияющие на течение заболевания. КТ проведена у 85 (26,4%) пациентов в раннюю фазу заболевания. Была оценена прогностическая эффективность КТ с оценкой тяжести ОП по Balthazar и составного КТ-индекса тяжести с учетом площади некроза. Классификация Balthazar, по мнению некоторых авторов, может применяться при других методах визуализации [19, 20] и была использована также при УЗИ. Больные были разделены на группы согласно степеням тяжести, определенным по классификации Российского общества хирургов, по факту законченного случая заболевания. В группе с легким течением ОП был 181 (56,21%) пациент, со средней степенью тяжести и с тяжелым течением ОП – 141 (43,79%) пациент. Также оценивались длительность госпитализации и развитие осложнений, необходимость в нахождении в условиях реанимационного отделения, необходимость в оперативном вмешательстве, летальный исход. В качестве ультразвуковых предикторов анализировались следующие признаки, аргументированные литературными данными [19–23]: увеличение размеров поджелудочной железы, наличие инфильтрации парапанкреатических тканей, отсутствие визуализации поджелудочной железы вследствие развития синдрома кишечной недостаточности (СКН 1-й степени), наличие жидкостного скопления, выявление слабоотграниченных жидкостных скоплений двух и более локализаций, объем жидкостного скопления, локализация и распространение жидкостного скопления в отношении анатомических ориентиров, наличие свободной жидкости в брюшной полости и в плевральных полостях, спленомегалия, выявление признаков, характерных для СКН 2-й и 3-й степени. В итоге была создана математическая модель прогнозирования степени тяжести ОП на основании ультразвуковых признаков и оценена диагностическая эффективность УЗИ в прогнозировании тяжелого панкреатита в сравнении с КТ и клинико-лабораторными прогностическими системами. Статистический анализ проводился с помощью программного обеспечения Jamovi 1.6.23 и SPSS Statistics. Связь между признаками, которые представлены количественной шкалой, и конечными точками исследования анализировали с помощью

ранговой корреляции Спирмена. Для оценки зависимости влияния факторов на степень тяжести ОП использовали логистическую регрессию. Коэффициенты для расчета прогностической формулы рассчитывали из линейного регрессионного анализа. Анализ диагностической точности тестируемой шкалы проводился путем построения характеристических кривых (ROC-кривых) для каждого диагностического критерия и вычисления площади под этими кривыми (AUC).

Результаты

В условиях ПДО и на госпитальном этапе в течение 72 ч всем пациентам было выполнено УЗИ, которое включало в себя трансабдоминальную визуализацию ОБП, поджелудочной железы и перипанкреатической области, осмотр полых органов, плевральных полостей с использованием В-режима исследования (рис. 1, 2). Ультразвуковые признаки, выявляемые у пациентов с ОП в условиях ПДО и при повторном динамическом

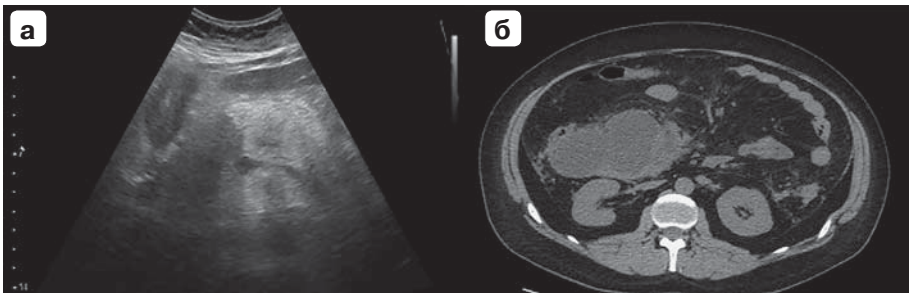


Рис. 1. Пациент А., 56 лет, болен в течение 5 сут. **а** – ультразвуковое изображение инфильтрации парапанкреатической области, скопления жидкости в проекции головки поджелудочной железы, полученное в условиях ПДО, по шкале тяжести 18 баллов (высокий риск); **б** – нативное КТ-изображение осумкованного некротического скопления жидкости в проекции головки поджелудочной железы, полученное на 28-й день заболевания. По факту законченного случая заболевания установлена средняя степень тяжести. Находился в ОРИТ, длительность госпитализации составила 24 дня. Лечение получал консервативное.

Fig. 1. Patient A., 56 years old, has been ill for five days. **а** – ultrasound image at admission of the hyperechoic bursa omentalis and acute peripancreatic fluid collection, on the severity score of 18; **б** – computed tomography native image of pseudocyst (28th day of the disease).

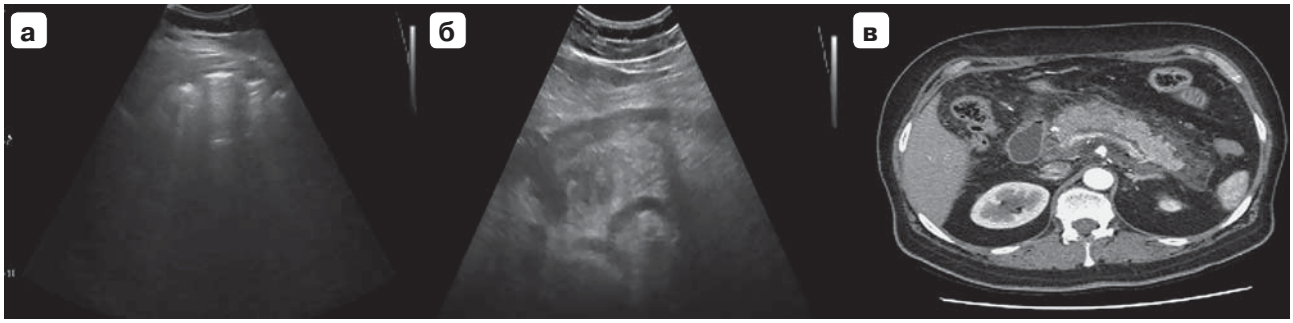


Рис. 2. Пациент М., 49 лет, болен в течение 3 ч, трое суток употреблял алкоголь. **а** – ультразвуковое изображение повышенной пневматизации кишечника, характерной для СКН 1-й степени, полученное в условиях ПДО; **б** – ультразвуковое изображение скопления жидкости по переднему контуру и в проекции головки поджелудочной железы, полученное на 3-й день госпитализации. По шкале тяжести 15 баллов (высокий риск); **в** – компьютерная томограмма на 14-й день госпитализации. В области малой сальниковой сумки, парапанкреатической клетчатке и забрюшинном пространстве слева определяется скопление жидкости. При постконтрастном внутривенном болюсном исследовании паренхима поджелудочной железы контрастируется фрагментарно (<30% некроза). Заключение: КТ-признаки острого панкреатита в стадии Balthazar E. КТ-индекс тяжести 6 баллов. По факту законченного случая заболевания установлена тяжелая степень тяжести. Находился в ОРИТ, длительность госпитализации 21 день. Лечение консервативное и оперативное (диагностическая лапароскопия, верхнесрединная лапаротомия). Вскрытие, санация, дренирование сальниковой сумки, забрюшинного пространства слева. Осложнения: острый ферментативный перитонит.

Fig. 2. Patient M., 45 years old, ill for 3 hours, 3 days consumed alcohol. **а** – The pancreas at admission wasn't visible by ultrasound because of the pneumatization of the intestine; **б** – Ultrasound image at admission of l acute peripancreatic fluid collection, on the severity score of 15; **в** – Contrast enhanced computed tomography image of pancreatic necrosis, parapancreatic infiltration and acute peripancreatic fluid collection (14th day of the disease). Grade E pancreatitis by Balthazar, CT severily Index 6.

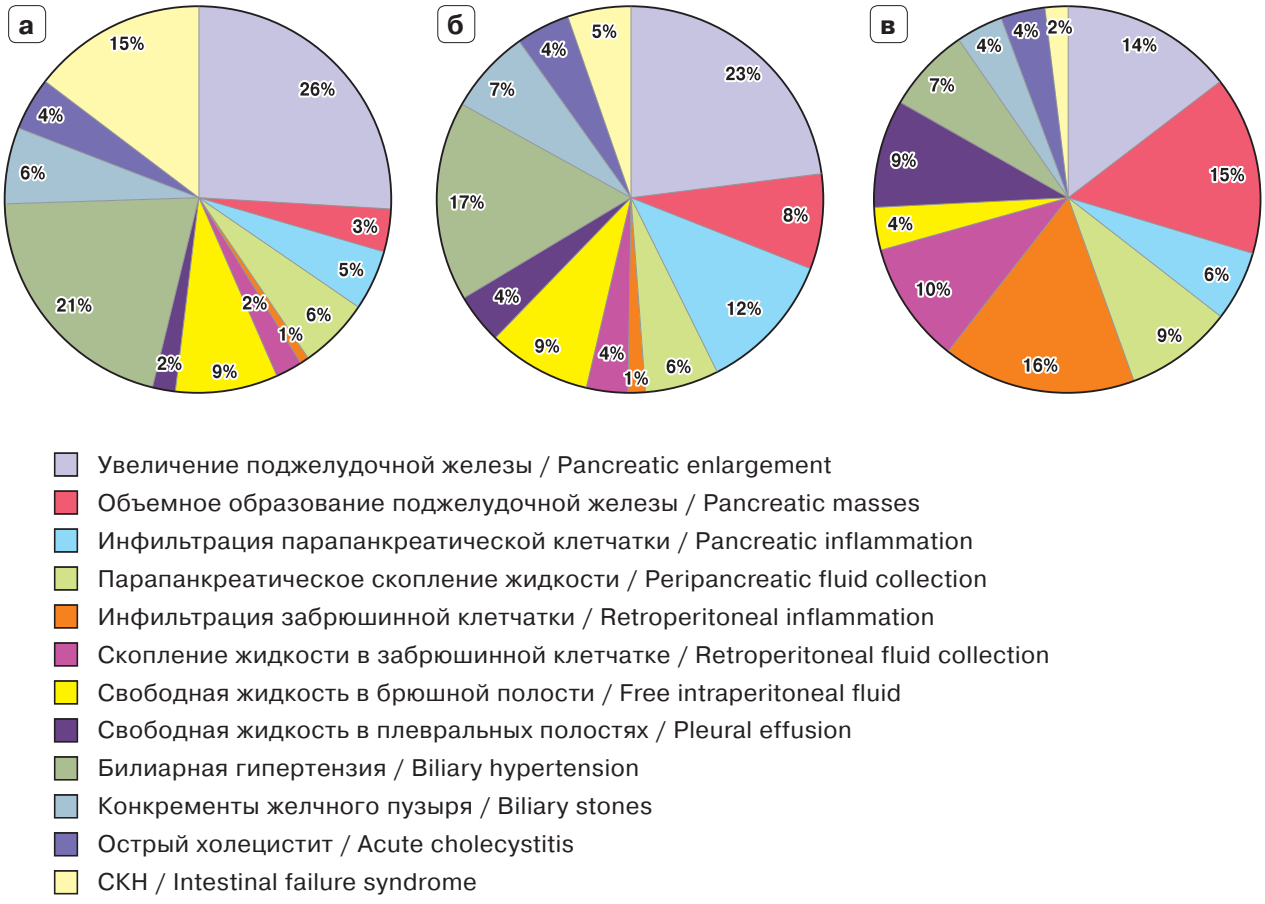


Рис. 3. Признаки ОП. **а** – выявляемые при УЗИ в условиях приемно-диагностического отделения; **б** – выявляемые при повторном динамическом УЗИ в течение 72 ч госпитализации; **в** – выявляемые при КТ.

Fig. 3. Signs of acute pancreatitis. **а** – ultrasound signs at admission; **б** – ultrasound signs after 72 hours of hospitalization; **в** – computed tomographic signs.

УЗИ в течение 72 ч госпитализации, отражены на рис. 3а, б. КТ в раннюю фазу заболевания (согласно клиническим рекомендациям Российского общества хирургов, соответствует давности заболевания менее 14 дней) была выполнена 85 (26.4%) пациентам, находящимся на госпитализации по поводу ОП. КТ в условиях ПДО проводилась 42 (49,41%) пациентам. Признаки ОП, выявляемые при КТ, отражены на рис. 3в.

На первом этапе анализировали применение шкалы Balthazar в ультразвуковой диагностике и КТ с целью прогнозирования тяжести ОП. Степень тяжести ОП по классификации Balthazar, учитывающая наличие и количество жидкостных скоплений в поджелудочной железе и экстрапанкреатической области, по результатам УЗИ и КТ продемонстрирована в табл. 1. Средний временно́й диапазон между проведением УЗИ и КТ составил 2,03 ± 1,25 дня. Расхождение стадии Balthazar по КТ и УЗИ, по нашему мнению, в большей степени обусловлено различными сроками проведения исследования. Соответствие радиологической картины ОП было в 85 (100%) случаях.

При проведении анализа опыта применения классификации Balthazar при УЗИ было установлено, что при тяжелом течении заболевания в 72,5% случаев выявлялись стадии Balthazar D и E при УЗИ в первые часы после поступления, при сред-

Таблица 1. Выявление КТ- и УЗ-признаков по классификации Balthazar

Table 1. CT and ultrasound findings on Balthazars grade

Стадия Balthazar / Grade	УЗИ / US	КТ / CT
A	n = 12	n = 15
B	n = 4	n = 5
C	n = 9	n = 13
D	n = 29	n = 18
E	n = 18	n = 34

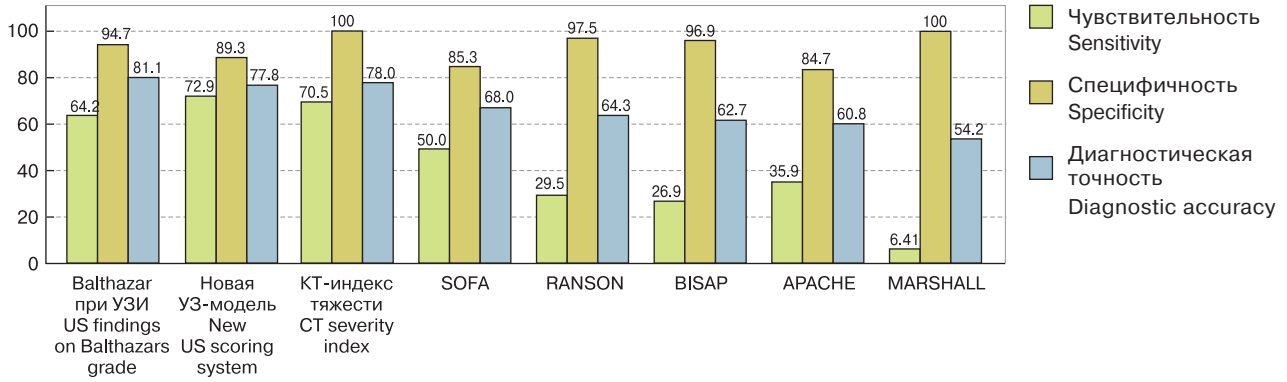


Рис. 4. Сопоставление диагностических показателей использования прогностических шкал в отношении тяжести заболевания.

Fig. 4. Results of linear regression analysis of the severe acute pancreatitis prediction of the clinical and radiological scoring systems.

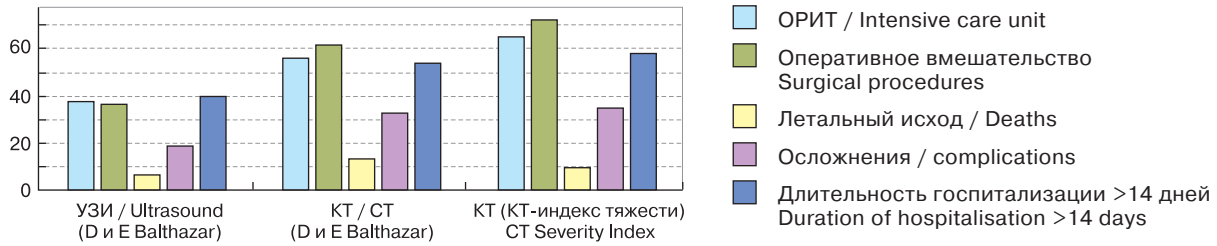


Рис. 5. Частота развития событий, отражающих тяжесть заболевания при использовании различных радиологических прогностических систем.

Fig. 5. Comparison of different radiological scoring systems of severity acute pancreatitis.

нетяжелом течении заболевания стадии Balthazar D и E выявлялись в 41,4% случаев. При тяжелом течении заболевания в 96,9% случаев выявлялись стадии Balthazar D и E при КТ, при среднетяжелом течении заболевания стадии Balthazar D и E выявлялись в 58,62% случаев.

При проведении рангового корреляционного анализа Спирмена была обнаружена заметная корреляция между цифровой оценкой по шкале Balthazar без учета площади некроза по двум методам визуализации ($r = 0,622$, $p < 0,001$). Также проанализировали диагностические показатели применения классификации Balthazar для прогнозирования среднетяжелого и тяжелого ОП (рис. 4) и взаимосвязь между результатом прогностических радиологических систем и частотой развития осложнений, оперативных вмешательств, необходимостью в нахождении в условиях ОРИТ, длительностью госпитализации и летальным исходом (рис. 5). Опыт применения классификации Balthazar продемонстривал ее несовершенство: она не учитывает признаки развития СКН и ультразвуковые признаки системных процессов (спленомегалия, выпот в брюшной и плевральных полостях), которые могут быть косвенными свидетелями или предшественниками развития органной недостаточности.

Также при проведении КТ ОБП с контрастным усилением подсчитывался составной КТ-индекс тяжести для оценки степени тяжести паренхиматозного некроза (баллы от 0 до 6) и экстрагландулярного воспалительного процесса (стадии A–E, баллы 0–4). При оценке корреляцияонной связи между количеством баллов по КТ-индексу тяжести с учетом площади некроза и степени тяжести была обнаружена высокая сила взаимосвязи ($r = 0,789$, $p < 0,001$). Для оценки информативности и прогностической способности КТ-исследования с подсчетом КТ-индекса тяжести с учетом площади некроза проводился ROC-анализ и расчет диагностических показателей, отрезной точкой служил результат более 4 баллов. На рис. 6 приведена ROC-кривая для идентификации риска тяжелого течения панкреатита, AUC составила 0,852 ($p < 0,001$), что свидетельствует о хорошем качестве модели.

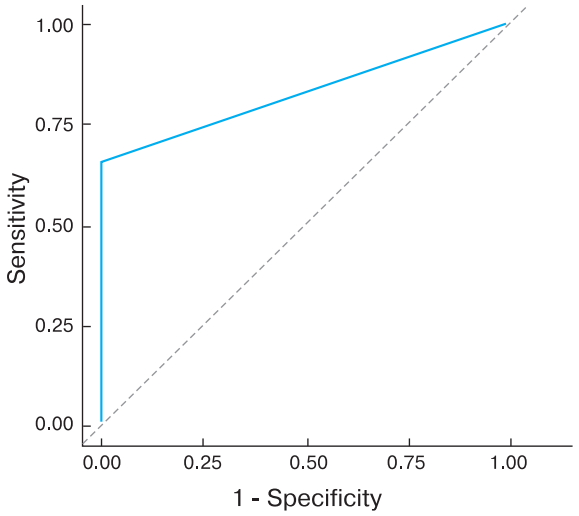


Рис. 6. ROC-кривая компьютерно-томографической прогностической модели, основанной на составном КТ-индексе тяжести с учетом площади некроза.

Fig. 6. Receiver operating curve (ROC) of CT Severity Index.

На начальном этапе создания новой ультразвуковой прогностической модели были выявлены различия в изучаемых параметрах между группой с легким течением панкреатита (n = 181) и группой с панкреатитом средней и тяжелой степени (n = 141) (табл. 2). Далее вышеперечисленные параметры, продемонстрировавшие статистическую значимость, были включены в модель логистического регрессионного анализа (табл. 3). По данным логистического регрессионного анализа шанс наличия панкреатита среднетяжелой и тяжелой степени увеличивался при выявлении признаков, характерных для СКН 1-й степени, в 2,4 раза, при наличии инфильтрации парапанкреатических тканей в 2,7 раза, слабоотграниченного жидкостного скопления в 14,6 раза, свободной жидкости в брюшной полости в 6,9 раза, свободной жидкости в плевральных полостях в 8,3 раза. Специфичность модели составила 88,8%, чувствительность – 72,9%, площадь ROC-кривой –0,856, что свидетельствует о хорошем качестве модели (<0,001) (рис. 7).

Для количественного определения шанса тяжелого течения панкреатита были взяты баллы, соответствующие значению экспоненты отдельного коэффициента показателя, взятого из модели логистического регрессионного анализа (которое интерпретируется как отношение шансов) (табл. 4). Пороговое значение шкалы составило 4 балла и имеет чувствительность 72,9% и специфичность 89,3%, AUC составила 0,811. Также была выявлена корреляционная связь (p < 0,001) между результатом подсчета по новой шкале и длительностью госпитализации (r = 0,489), развитием осложнений (r = 0,271), проведением оперативных вмешательств (r = 0,461), нахождением в ОРИТ (r = 0,448), летальным исходом (r = 0,164). Анализ прогностической эффективности ультразвукового метода в сравнении с существующими общепринятыми способами прогнозирования степени тяжести ОП продемонстрировал, что эффективность радиологических шкал превосходит клинические. Клинические шкалы показали невысокую прогностическую эффективность, среди которых наи-

Таблица 2. Различия в параметрах УЗИ между группой с легким течением панкреатита и группой с панкреатитом средней и тяжелой степени

Table 2. Ultrasound findings for mild acute pancreatitis as compared with severe acute pancreatitis

Параметр УЗИ **Ultrasound findings**	**Панкреатит легкой степени тяжести** **Mild acute pancreatitis** **n = 181**	**Панкреатит средней и тяжелой степени** **Severe acute pancreatitis** **n = 141**	**Отношение шансов** **Odds ratio**	**p**
Увеличение поджелудочной железы Pancreatic enlargement	97 (53.6%)	102 (72.3 %)	2.265 (1.415–3.626)	0.001
Наличие инфильтрации парапанкреатических тканей Pancreatic inflammation	20 (11%)	57 (40.4%)	5.463 (3.078–9.694)	<0.001
Выявление признаков СКН 1-й степени Sign of stage I intestinal failure syndrome (IFS) (pancreas wasn't visible)	23 (12.7%)	42 (29.8%)	2.77 (1.57–4.89)	<0.001
Наличие жидкостного скопления Peripancreatic fluid collection	6 (3.3%)	65 (46.1%)	24.945 (10.362–60.053)	<0.001

Таблица 2 *(окончание)*.
Table 2 *(end)*.

Параметр УЗИ Ultrasound findings	Панкреатит легкой степени тяжести Mild acute pancreatitis n = 181	Панкреатит средней и тяжелой степени Severe acute pancreatitis n = 141	Отношение шансов Odds ratio	p
Выявление слабоотграниченных жидкостных скоплений двух и более локализаций Two or more fluid collections	1 (0.6%)	9 (6.4%)	12.273 (1.536–98.056)	0.006
Объем жидкостного скопления, мл Fluid collections volume, ml	1.00 [1.00; 11.80]	8.30 [2.00; 34.50]	–	0.048
Локализация и распространение жидкостного скопления (полоса по переднему контуру поджелудочной железы) Localization and distribution of fluid collections (along the anterior contour of the pancreas)	4 (57.1%)	15 (17.6%)	0.161 (0.033–0.794)	0.031
Наличие свободной жидкости в брюшной полости Detection of free intraperitoneal fluid	9 (5.0%)	62 (44.0%)	14.999 (7.098–31.694)	<0.001
Наличие свободной жидкости в плевральных полостях Pleural effusion	3 (1.7%)	24 (17.0%)	12.171 (3.584–41.336)	<0.001
Спленомегалия Enlargement of the spleen	15 (8.3%)	24 (17.0%)	2.270 (1.142–4.513)	0.024
Выявление признаков, характерных для СКН 2-й и 3-й степени Signs of stage II–III intestinal failure syndrome (IFS)	2 (1.1%)	16 (11.3%)	11.456 (2.588–50.711)	<0.001

Таблица 3. Логистический регрессионный анализ шанса наличия панкреатита среднетяжелой и тяжелой степени по сравнению с легкой

Table 3. Logistic regression analysis of chance severe acute pancreatitis

Показатель Ultrasound findings	Коэффициент регрессии B Regression coefficient B	Exp(B)	95% ДИ нижний 95% CI is lower	95% ДИ верхний 95% CI is upper	p
Выявление признаков СКН 1-й степени Signs of stage I intestinal failure syndrome (IFS) (pancreas wasn't visible)	0.887	2.429	1.157	5.097	0.019
Наличие инфильтрации парапанкреатических тканей против отсутствия Pancreatic inflammation	0.990	2.692	1.252	5.792	0.011
Выявление жидкостного скопления против отсутствия Peripancreatic fluid collection	2.683	14.631	6.182	34.631	<0.001
Наличие свободной жидкости в брюшной полости против отсутствия Detection of free intraperitoneal fluid	1.933	6.913	2.668	17.912	<0.001
Наличие свободной жидкости в плевральных полостях против отсутствия Pleural effusion	2.115	8.292	1.538	44.702	0.014

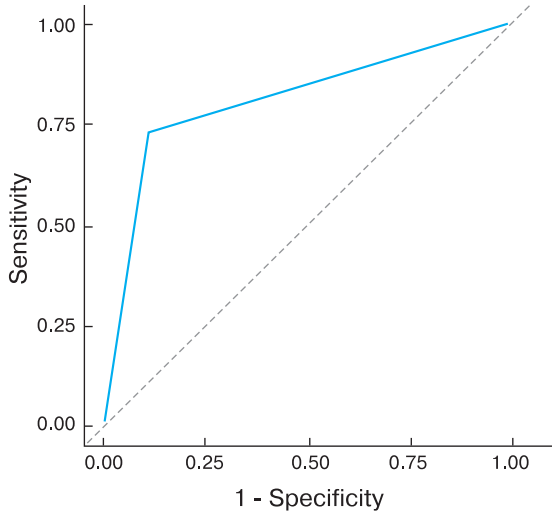


Рис. 7. ROC-кривая для идентификации риска тяжелого течения панкреатита по предложенной ультразвуковой шкале.

Fig. 7. Receiver operating curve (ROC) of new scoring system.

Таблица 4. Баллы, присвоенные изучаемым параметрам

Table 4. New scoring system

Показатель / Ultrasound findings	Балл / Points
Наличие инфильтрации парапанкреатических тканей Pancreatic inflammation (hyperechoic bursa omentalis)	3
Выявление слабоотграниченного жидкостного скопления Peripancreatic fluid collection	15
Наличие свободной жидкости в брюшной полости Free intraperitoneal fluid	7
Наличие свободной жидкости в плевральных полостях Pleural effusion	8
Выявление признаков СКН 1-й степени Sign of stage I intestinal failure syndrome (IFS) (pancreas wasn't visible)	2

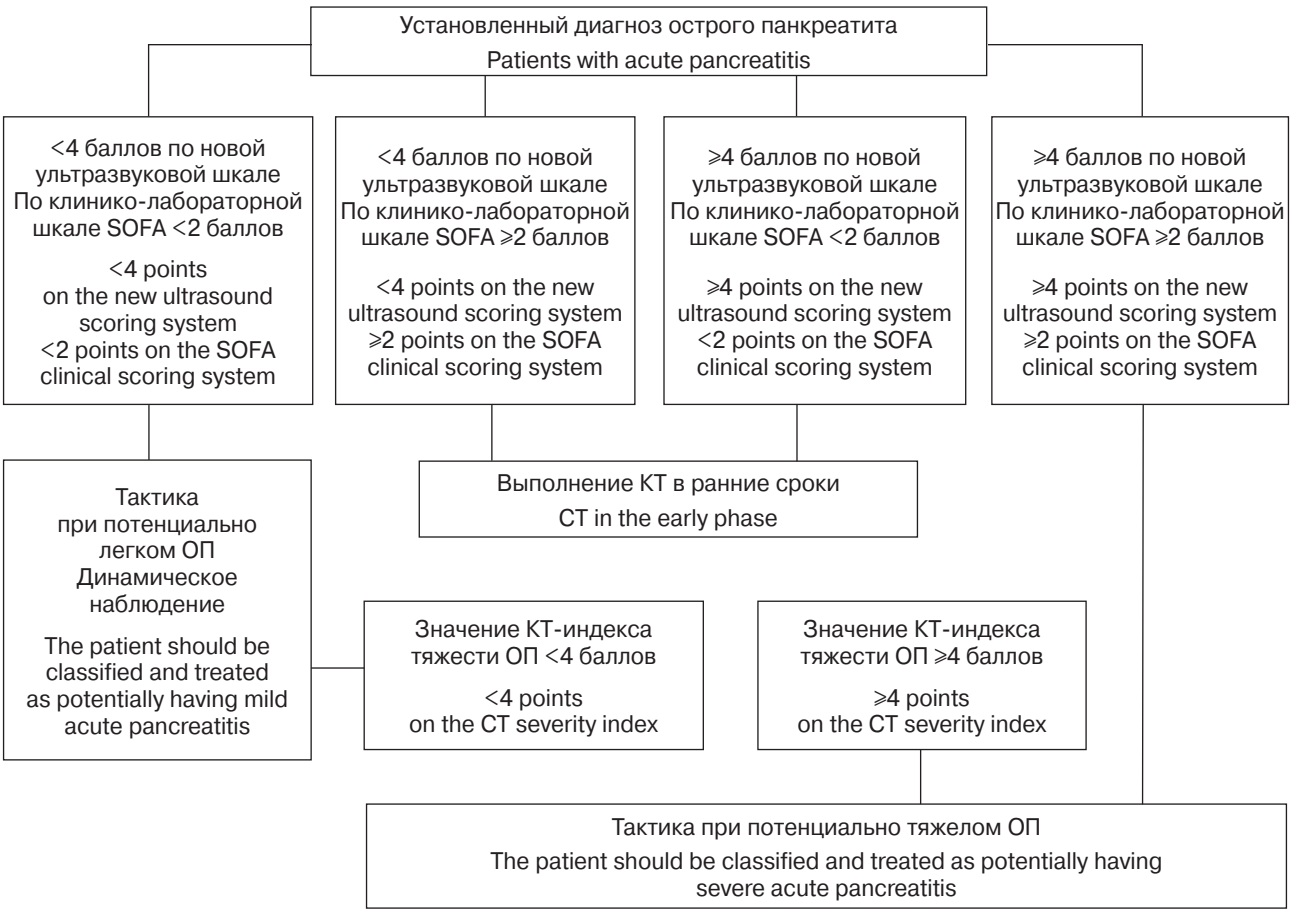


Рис. 8. Модель-алгоритм раннего прогнозирования степени тяжести ОП.

Fig. 8. Model for early prediction of the severity of acute pancreatitis.

более высокие диагностические показатели продемонстрировала шкала SOFA (см. рис. 4).

Таким образом, пациентам с предварительным диагнозом ОП в условиях ПДО и стационарных условиях с целью раннего прогнозирования тяжелого течения заболевания рекомендуется выполнять УЗИ с использованием расширенного протокола, включающего, помимо оценки состояния ОБП с осмотром поджелудочной железы и парапанкреатической области, обязательную оценку полых органов для выявления признаков СКН, а также осмотр плевральных полостей для выявления свободной жидкости и интерпретировать полученные данные с использованием новой балльной системы. Для комплексной и наиболее достоверной оценки вероятности тяжелого течения заболевания рационально использовать клинико-лабораторные шкалы (наиболее удобной в практике и эффективной оказалась шкала SOFA) в совокупности с ультразвуковыми маркерами. При необходимости подтверждения тяжести по выявленным прогностическим признакам тяжелого ОП выполнять КТ ОБП с внутривенным контрастным усилением в ранние сроки (рис. 8).

Обсуждение

Роль ультразвукового метода диагностики в оценке тяжести ОП оценивалась ранее в других исследованиях. В исследовании S. Rickes оценивали диагностические показатели контраст-усиленного УЗИ в отношении клинического исхода ОП и сравнивали с КТ. Сильная корреляция была продемонстрирована между КТ-индексом тяжести и ультразвуковым индексом тяжести ($r = 0{,}807$, $p < 0{,}01$) [20]. В настоящем исследовании использовали методику стандартного трансабдоминального УЗИ без использования контрастного вещества. Основным ограничением стандартного трансабдоминального УЗИ считается то, что при УЗИ невозможно выявить некроз поджелудочной железы, поскольку метод не позволяет оценить перфузию органа. Но по результатам исследования прогностическая значимость выявления некроза на компьютерной томограмме и подсчета КТ-индекса тяжести сопоставима с простым и доступным методом визуализации – стандартным УЗИ. Ранговый корреляционный анализ продемонстрировал заметную корреляционную связь между цифровой оценкой по шкале Balthazar по ультразвуковым и КТ-данным ($r = 0{,}622$, $p < 0{,}001$), что позволяет подтвердить, что КТ-классификация Balthazar может применяться при УЗИ.

КТ показала высокую эффективность в прогнозировании степени тяжести ОП. Несмотря на то что информация, полученная при КТ с контрастным усилением, имеет некоторое превосходство в отношении прогнозировании степени тяжести ОП в сравнении со стандартным УЗИ, учитывая доступность, распространенность и безопасность метода, использование УЗИ с целью прогнозирования при поступлении пациента в стационар рационально. Используя новый простой способ прогнозирования тяжести ОП, который не требует дополнительных усилий, времени и использования сложных технологий и методов, возможно получать большую информацию при рутинном УЗИ.

В 2013 г. A. Popescu и соавт. также исследовали влияние ультразвуковых признаков на течение заболевания [21]. Из ультразвуковых признаков инфильтрация в проекции сальниковой сумки, как предиктор тяжести, наблюдалась у значительно большего числа пациентов с тяжелым ОП по сравнению с легким ОП. Также было выявлено, что поджелудочная железа визуализировалась при УЗИ в момент поступления в значительно большем числе случаев при легкой форме ОП по сравнению с тяжелой формой. В настоящем исследовании также определили, что инфильтрация сальниковой сумки и повышение пневматизации кишечника, характерное для СКН 1-й степени, являются неблагоприятными признаками среднетяжелого и тяжелого течения заболевания. Таким образом, возможность отсутствия визуализации поджелудочной железы из-за повышенной пневматизации кишечника при ОП не является ограничением ультразвукового метода.

Так как ключевую роль в определении степени тяжести ОП играет выявление органной недостаточности, оценка органных дисфункций при поступлении пациента необходима. Для комплексной достоверной оценки тяжести состояния пациента необходимо учитывать два аспекта, влияющих на тяжесть заболевания: системные органные функции и морфологические изменения, которые наряду с органной дисфункцией оказывают влияние на тяжесть заболевания. Использование ультразвуковых маркеров ОП в совокупности с данными клинико-лабораторных шкал позволит наиболее достоверно прогнозировать степень тяжести ОП.

Представленная шкала и алгоритм прогнозирования могут быть использованы для пациентов с диагнозом ОП при поступлении в ПДО. При УЗИ стандартные признаки ОП и описанные в работе прогностически неблагоприяные признаки могут быть распознаны в условиях ПДО, что позволит избежать задержек в диагностике и лечении. Использование ультразвуковых маркеров ОП в совокупности с данными клинико-лабораторных шкал позволит наиболее достоверно прогнозировать степень тяжести ОП.

Заключение

Выявленные при УЗИ жидкостное скопление различной локализации и объема, свободная жидкость в брюшной и плевральных полостях, признаки СКН 1-й степени являются ультразвуковыми предикторами тяжелого течения острого панкреатита. Представленная прогностическая модель на основе ультразвуковых признаков может быть использована для пациентов с диагнозом острого панкреатита при поступлении в приемно-диагностическое отделение.

Участие авторов

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

Какаулина Л.Н. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Какаулин А.Г. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста.

Карамова И.М. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне.

Фаизова А.И. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Authors' participation

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

Kakaulina L.N. – concept and design of the study, conducting research, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Kakaulin A.G. – concept and design of the study, text preparation and editing.

Karamova I.M. – concept and design of the study, participation in scientific design.

Faizova A.I. – conducting research, collection and analysis of data.

Список литературы [References]

1. Ревишвили А.Ш., Оловянный В.Е., Сажин В.П., Нечаев О.И. и др. Хирургическая помощь в Российской Федерации. М., 2019. 36 с.
   Revishvili A.Sh., Olovyannyi V.E., Sazhin V.P., Nechaev O.I. et al. Surgical care in the Russian Federation. M., 2019. 36 p. (In Russian)
2. Ревишвили А.Ш., Оловянный В.Е., Сажин В.П., Анищенко М.М. Хирургическая помощь в Российской Федерации в период пандемии – основные итоги 2020 года. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2021; 12: 5–14. https://doi.org/10.17116/hirurgia20211215
   Revishvili A.Sh., Olovyanniy V.E., Sazhin V.P., Anishchenko M.M. Surgical care in the Russian Federation during the pandemic — the main results of 2020. *Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova*. 2021; 12: 5–14. https://doi.org/10.17116/hirurgia20211215 (In Russian)
3. Singh V.K., Bollen T.L., Wu B.U. et al. An assessment of the severity of interstitial pancreatitis. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2011; 9 (12): 1098–1103. http://doi.org/10.1016/j.cgh.2011.08.026
4. van Santvoort H.C., Bakker O.J., Bollen T.L. et al.; Dutch Pancreatitis Study Group. A conservative and minimally invasive approach to necrotizing pancreatitis improves outcome. *Gastroenterology*. 2011; 141 (4): 1254–1263. http://doi.org/10.1053/j.gastro.2011.06.073
5. Chauhan S., Forsmark C.E. The difficulty in predicting outcome in acute pancreatitis. *Am. J. Gastroenterol.* 2010; 105 (2): 443–445. http://doi.org/10.1038/ajg.2009.623
6. Mounzer R., Langmead C.J., Wu B.U. et al. Comparison of existing clinical scoring systems to predict persistent organ failure in patients with acute pancreatitis. *Gastroenterology*. 2012; 142 (7): 1476–1482; quiz e15–6. http://doi.org/10.1053/j.gastro.2012.03.005
7. Wang X., Xu Y., Qiao Y. et al. An evidence-based proposal for predicting organ failure in severe acute pancreatitis. *Pancreas.* 2013; 42 (8): 1255–1261. http://doi.org/10.1097/MPA.0b013e3182a5d6a7
8. Yang C.J., Chen J., Phillips A.R. et al. Predictors of severe and critical acute pancreatitis: a systematic review. *Dig. Liver Dis.* 2014; 46 (5): 446–451. http://doi.org/10.1016/j.dld.2014.01.158
9. Kwong W.T., Ondrejková A., Vege S.S. Predictors and outcomes of moderately severe acute pancreatitis – Evidence to reclassify. *Pancreatology.* 2016; 16 (6): 940–945. http://doi.org/10.1016/j.pan.2016.08.001
10. Труфанов Г.Е., Рудь С.Д., Багненко С.С. Лучевая диагностика заболеваний поджелудочной железы. Изд. 2-е, испр. СПб.: Элби, 2011: 119–136. ISBN: 978-5-93979-235-6
    Trufanov G.E., Rud' S.D., Bagnenko S.S. Radiation diagnosis of pancreatic diseases. 2nd ed. SPb.: Elbi, 2011: 119–136. ISBN: 978-5-93979-235-6 (In Russian)
11. Bollen T.L., Singh V.K., Maurer R. et al. A comparative evaluation of radiologic and clinical scoring systems in the early prediction of severity in acute pancreatitis. *Am. J. Gastroenterol.* 2012; 107 (4): 612–619. http://doi.org/10.1038/ajg.2011.438
12. Pezzilli R., Zerbi A., Di Carlo V. et al.; Working Group of the Italian Association for the Study of the Pancreas on Acute Pancreatitis. Practical guidelines for acute pancreatitis. *Pancreatology.* 2010; 10 (5): 523–535. http://doi.org/10.1159/000314602
13. Expert Panel on Gastrointestinal Imaging; Porter K.K., Zaheer A., Kamel I.R. et al. ACR Appropriateness Criteria® Acute Pancreatitis. *J. Am. Coll. Radiol*. 2019; 16 (11S): S316–S330. http://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.05.017
14. Arvanitakis M., Delhaye M., De Maertelaere V. et al. Computed tomography and magnetic resonance imaging in the assessment of acute pancreatitis. *Gastroenterology*. 2004; 126 (3): 715–723. http://doi.org/10.1053/j.gastro.2003.12.006
15. 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
    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)
16. 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.
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)
17. Паклина О.В., Кармазановский Г.Г., Сетдикова Г.Р. Патоморфологическая и лучевая диагностика хирургических заболеваний поджелудочной железы. М.: Издательский дом Видар-М, 2014. 188 с. ISBN: 978-5-88429-191-1
Paklina O.V., Karmazanovsky G.G., Setdikova G.R. Pathomorphological and radiological diagnosis of surgical diseases of the pancreas. M.: Vidar-M, 2014. 188 p. ISBN: 978-5-88429-191-1 (In Russian)
18. Острый панкреатит. Клинические рекомендации. 2020 (20.04.2021) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/326_4
Acute pancreatitis. Clinical recommendations. 2020 (20.04.2021) https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/326_4 (In Russian)
19. D'Onofrio M. (Ed.) Ultrasonography of the Pancreas. Imaging and Pathologic Correlations. Springer-Verlag Italia, 2012: 83–86.
ISBN-10: 8847023785. ISBN-13: 978-8847023789
20. Rickes S., Uhle C., Kahl S. et al. Echo enhanced ultrasound: a new valid initial imaging approach for severe acute pancreatitis. *Gut.* 2006; 55 (1): 74–78.
https://doi.org/10.1136/gut.2005.070276
21. Popescu A., Sporea I., Bota S. et al. The Usefulness of Abdominal Ultrasound for the Evaluation of Patients With Acute Pancreatitis. *Ultrasound Med. Biol.* 2013; 39 (5): S2.
https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.02.024
22. Choi H.W., Park H.J., Choi S.Y. et al. Early Prediction of the Severity of Acute Pancreatitis Using Radiologic and Clinical Scoring Systems With Classification Tree Analysis. *Am. J. Roentgenol*. 2018; 211 (5): 1035–1043.
https://doi.org/10.2214/AJR.18.19545
23. Balthazar E.J. Acute pancreatitis: assessment of severity with clinical and CT evaluation. *Radiology*. 2002; 223 (3): 603–613. https://doi.org/10.1148/radiol.2233010680

Для корреспонденции*: Руденко Валерия Александровна – e-mail: ler.varlamowa@yandex.ru

Руденко Валерия Александровна – врач ультразвуковой диагностики отделения функциональной и ультразвуковой диагностики ГБУЗ РБ "Клиническая больница скорой медицинской помощи города Уфы"; аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, ядерной медицины и радиотерапии с курсами ИДПО ФГБОУ ВО "Башкирский государственный медицинский университет" Минздрава России, Уфа. https://orcid.org/0000-0002-1289-8108

Какаулина Люция Назифовна – канд. мед. наук, заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ГБУЗ РБ "Клиническая больница скорой медицинской помощи города Уфы"; доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, ядерной медицины и радиотерапии с курсами ИДПО ФГБОУ ВО "Башкирский государственный медицинский университет" Минздрава России, Уфа. https://orcid.org/0000-0003-4489-4678

Какаулин Андрей Германович – канд. мед. наук, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии с курсом ИДПО ФГБОУ ВО "Башкирский государственный медицинский университет" Минздрава России, Уфа. https://orcid.org/0000-0003-1564-3909

Карамова Ирина Марсиловна – доктор мед. наук, профессор, главный врач ГБУЗ РБ "Клиническая больница скорой медицинской помощи города Уфы", Уфа. https://orcid.org/0000-0002-8594-737X

Фаизова Алия Ириковна – врач ультразвуковой диагностики отделения функциональной и ультразвуковой диагностики ГБУЗ РБ "Клиническая больница скорой медицинской помощи города Уфы", Уфа. https://orcid.org/0009-0008-2040-8405

Contact*: Valeria A. Rudenko – e-mail: ler.varlamowa@yandex.ru

Valeria A. Rudenko – Ultrasound diagnostics doctor at the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, Clinical Emergency Hospital of Ufa; Graduate Student of the department of radiation diagnostics and radiation therapy, nuclear medicine and radiotheraphy, Bashkir State Medical University, Ufa. https://orcid.org/0000-0002-1289-8108

Lucia N. Kakaulina – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, Clinical Emergency Hospital of Ufa; Associate Professor of the department of radiation diagnostics and radiation therapy, nuclear medicine and radiotheraphy, Bashkir State Medical University, Ufa. https://orcid.org/0000-0003-4489-4678

Andrey G. Kakaulin – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the department of Anesthesiology and Intensive Care, Bashkir State Medical University, Ufa. https://orcid.org/0000-0003-1564-3909

Irina M. Karamova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Physician of Clinical Emergency Hospital of Ufa, Ufa. https://orcid.org/0000-0002-8594-737X

Aliia I. Faizova – Ultrasound diagnostics doctor at the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, Clinical Emergency Hospital of Ufa, Ufa. https://orcid.org/0009-0008-2040-8405

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1386

Прогностические возможности КТ в диагностике хронических воспалительных осложнений дивертикулярной болезни ободочной кишки

© **Белов Д.М.*, Зароднюк И.В., Москалев А.И., Майновская О.А.**

ФГБУ "НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих" Минздрава России; 123423 Москва, ул. Саляма Адиля, д.2, Российская Федерация

Цель исследования: определить диагностическую эффективность компьютерной томографии (КТ) в прогнозировании течения заболевания у больных с хроническими воспалительными осложнениями дивертикулярной болезни (ДБ).

Материал и методы. В исследование включено 70 пациентов с осложненным течением ДБ ободочной кишки в фазу обострения хронического воспалительного процесса. Всем пациентам выполнена КТ брюшной полости с внутривенным контрастированием для оценки вида и тяжести воспалительных изменений ободочной кишки и окружающих тканей в области локализации дивертикулов. Все пациенты получили консервативное лечение и находились под наблюдением в рамках проводимого исследования в течение 12 мес с момента первичного обращения в Центр. Оперативное вмешательство в связи с неэффективностью консервативной терапии или рецидивом воспалительного процесса в установленный период наблюдения рассматривалось как неблагоприятный исход заболевания (42/60%). Положительный эффект лекарственной терапии без признаков возврата клинической картины воспаления в течение 12 мес рассматривался как благоприятный исход (28/40%). Проведен статистический анализ КТ-признаков воспалительных изменений при различных исходах ДБ для выявления прогностических КТ-параметров.

Результаты. Выявлены статистически значимые различия между выраженностью воспалительных изменений по данным КТ при различных исходах заболевания. В группе благоприятного исхода основную часть (23/28,82%) составили пациенты с дивертикулитом, в группе неблагоприятного исхода у 2/3 больных (29/42,64%) диагностированы паракишечные инфильтраты, в том числе с абсцессами/полостями, и свищи ободочной кишки. Установлено, что толщина кишечной стенки, протяженность воспалительных изменений кишечной стенки, протяженность воспалительной инфильтрации периколической клетчатки, симптом "сороконожки", скопление жидкости в периколической области статистически значимо различались при разных исходах хронических воспалительных осложнений ДБ. Многофакторный Кокс-регрессионный анализ выявил два основных предиктора наступления неблагоприятного исхода – утолщение кишечной стенки и наличие жидкости в периколической области. Утолщение кишечной стенки при значениях, равных или более 0,6 см, в 4,69 раза увеличивало риск наступления неблагоприятного исхода, а наличие жидкости в 4,52 раза.

Заключение. Применение в клинической практике выявленных КТ-предикторов наступления неблагоприятного исхода при хронических воспалительных осложнениях ДБ может послужить одним из факторов для принятия решения о плановом хирургическом вмешательстве у этой категории пациентов.

Ключевые слова: воспалительные осложнения дивертикулярной болезни; компьютерная томография; хронические воспалительные осложнения дивертикулярной болезни; рецидивирующее течение дивертикулярной болезни

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Белов Д.М., Зароднюк И.В., Москалев А.И., Майновская О.А. Прогностические возможности КТ в диагностике хронических воспалительных осложнений дивертикулярной болезни ободочной кишки. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 65–79. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1386

Поступила в редакцию: 18.07.2023. **Принята к печати:** 22.09.2023. **Опубликована online:** 25.12.2023.

Prognostic possibilities of CT in the diagnosis of chronic inflammatory complications of diverticular disease

© **Denis M. Belov*, Irina V. Zarodnyuk, Alexey I. Moskalev, Olga A. Maynovskaya**

National Medical Research Center of Coloproctology named after A.N. Ryzhikh; 2, Salyam Adil' str., Moscow 123423, Russian Federation

Objective: to determine the diagnostic effectiveness of computed tomography (CT) in predicting the course of the disease in patients with chronic inflammatory complications of diverticular disease (DD).

Material and methods. The study included 70 patients with a complicated course of colon diverticular disease in the phase of exacerbation of the chronic inflammatory process. All patients underwent CT of the abdominal cavity with intravenous contrast to assess the type and severity of inflammatory changes in the colon and surrounding tissues in the area of localization of diverticula. All patients received conservative treatment and were monitored as part of the ongoing study for 12 months from the moment of initial treatment at the Center. Surgical intervention due to the ineffectiveness of conservative therapy or the recurrence of the inflammatory process during the established follow-up period was considered as an unfavorable outcome of the disease (42/60%). The positive effect of drug therapy without signs of a return of the clinical picture of inflammation within 12 months was considered as a favorable outcome (28/40%). A statistical analysis of CT signs of inflammatory changes in various DD outcomes was performed to identify prognostic CT parameters.

Results. Statistically significant differences were revealed between the severity of inflammatory changes according to CT data for different outcomes of the disease. In the favorable outcome group, the main part (23/28.82%) were patients with diverticulitis, in the unfavorable outcome group, 2/3 of patients (29/42.64%) were diagnosed with pericolic infiltrates, including abscesses/cavities, and colon fistulas. It was found that the thickness of the intestinal wall, the extent of inflammatory changes in the intestinal wall, the extent of inflammatory infiltration of pericolic fiber, the symptom of "centipede", the accumulation of fluid in the pericolic region statistically significantly differed with different outcomes of chronic inflammatory complications of diverticular disease. Multivariate Cox proportional hazard model revealed two main predictors of the onset of an unfavorable outcome – thickening of the intestinal wall and the presence of fluid in the pericolic region. Thickening of the intestinal wall at values equal to or greater than 0,6 cm increased the risk of an unfavorable outcome by 4.69 times, and the presence of fluid by 4.52 times.

Conclusion. The use in clinical practice of the revealed CT predictors of the onset of an unfavorable outcome in chronic inflammatory complications of DB can serve as one of the factors for deciding on elective surgery in this category of patients.

Keywords: inflammatory complications of diverticular disease; computed tomography; chronic inflammatory complications of diverticular disease; recurrent acute diverticulitis

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

For citation: Belov D.M., Zarodnyuk I.V., Moskalev A.I., Maynovskaya O.A. Prognostic possibilities of CT in the diagnosis of chronic inflammatory complications of diverticular disease. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 65–79. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1386

Received: 18.07.2023. **Accepted for publication:** 22.09.2023. **Published online:** 25.12.2023.

Введение

Дивертикулярная болезнь (ДБ) ободочной кишки является одним из наиболее распространенных заболеваний желудочно-кишечного тракта, которое называют болезнью "западной цивилизации". Так, в США ежегодно госпитализируется более 300 тыс. пациентов с осложненным течением ДБ [1]. В течение последнего десятилетия в Западной Европе и США отмечен почти двукратный рост числа оперативных вмешательств по поводу этого заболевания [2, 3]. В России, согласно статистическим данным Минздрава РФ, в 2018 г. с диагнозом ДБ было госпитализировано 27 тыс. больных [3].

Согласно классификации, разработанной Ассоциацией колопроктологов России, наличие хотя бы одного ложного дивертикула в ободочной кишке позволяет установить диагноз ДБ [4]. По клиническому течению выделяют бессимптомную, неосложненную и осложненную формы. Последняя включает острые и хронические воспалительные осложнения и толстокишечные кровотечения [3]. Острый воспалительный процесс

сопровождается каскадом типовых реакций, которые направлены на ликвидацию повреждающего фактора. Если повреждающий фактор продолжает воздействовать, происходит наслаивание разных фаз воспаления друг на друга и заболевание приобретает хроническое течение. К хроническим формам ДБ относят ситуации, при которых не удается ликвидировать воспалительный процесс в течение более чем 6 нед, или же в этот срок и позже развивается рецидив воспаления [3].

Выявление и лечение воспалительных осложнений ДБ до сих пор остается одной из актуальных проблем колопроктологии и хирургии. Как показал ряд исследований, диагноз воспалительных осложнений ДБ, поставленный лишь на основании клинической картины, точен только у 43–68% пациентов [5–7]. На сегодняшний день общепризнано, что компьютерная томография (КТ) наряду с ультразвуковым исследованием (УЗИ) является методом выбора для оценки распространенности и выраженности воспалительных изменений при ДБ [8–13]. Как показал метаанализ, проведенный W. Lameris и соавт., КТ обладает высокой чувствительностью (94%) и специфичностью (99%) в выявлении воспалительных осложнений ДБ и нередко позволяет получить дополнительную информацию о клинически важных патологических изменениях в других органах брюшной полости и забрюшинного пространства [10].

В настоящее время КТ рассматривается рядом авторов не только как рутинный метод выявления и оценки различных воспалительных осложнений ДБ (перфорация дивертикула, перитонит, дивертикулит, абсцессы, свищи), но и как инструмент для прогнозирования течения заболевания и стратификации пациентов для хирургического лечения [14, 15]. Это особенно важно, учитывая тот факт, что, несмотря на эффективность современной консервативной терапии и малоинвазивных способов лечения, рецидивы острого воспалительного процесса развиваются у 11,2–36% пациентов [5–7, 16]. Точный прогноз течения заболевания поможет избежать у этой категории больных длительного периода наблюдения и консервативной терапии и позволит своевременно провести плановое хирургическое лечение [17].

Следует подчеркнуть, что большинство работ по лучевой диагностике осложненных форм ДБ, включая и исследования по КТ-предикторам течения заболевания, посвящено острым воспалительным осложнениям, а вопросы КТ-диагностики хронического воспалительного процесса при ДБ освещены в недостаточной мере.

Цель исследования: определить диагностическую эффективность КТ в прогнозировании течения заболевания у больных с хроническими воспалительными осложнениями дивертикулярной болезни.

Материал и методы

Материалом для работы послужили данные КТ-исследований 70 пациентов, находившихся на лечении в “НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих” по поводу воспалительных осложнений ДБ в период с 2020 по 2021 г. Среди больных было 43 женщины и 27 мужчин в возрасте от 42 до 76 (62 ± 7) лет. В соответствии с критериями включения в исследование вошли пациенты с клинической картиной воспалительных осложнений ДБ, которым была выполнена КТ с внутривенным контрастированием и которые дали письменное согласие на участие в настоящей работе. Пациенты с воспалительными изменениями в толстой кишке другой этиологии были исключены из исследования.

У 58 (83%) пациентов до обращения в Центр в анамнезе отмечалось более двух атак острого воспалительного процесса, у 12 (17%) больных – одна атака. Период времени с момента первой атаки до поступления в Центр колебался от 3 мес до 5,5 лет, что свидетельствовало о переходе воспалительного процесса в хроническую форму. При поступлении клиническая картина заболевания включала жалобы на диарею или неустойчивый стул (63, 90%), боли преимущественно в левой подвздошной области (52, 74%), периодическое выделение газа и кала из уретры (2, 3%), из влагалища (1, 1%), наличие при пальпации живота болезненного инфильтрата в левой подвздошной области (47, 67%), повышение температуры тела до 37,4–38 °С (54, 77%), повышение уровня С-реактивного белка до 25–63 мг/л (65,93%). Все пациенты получили консервативное лечение и находились под наблюдением в рамках проводимого исследования в течение 12 мес с момента настоящего обращения в Центр. 23 (33%) пациента в связи с неэффективностью консервативной терапии были оперированы в сроки от 1 до 6 мес по поводу свищей, паракишечных инфильтратов, в том числе осложнившихся формированием абсцессов/полостей. Всем этим пациентам выполнена резекция измененных отделов ободочной кишки. У 19 (27%) больных, преимущественно с дивертикулитом, отмечен рецидив воспалительного процесса (повышение температуры тела до 37,5–38 °С, повышение уровня С-реактивного белка, боли внизу живота и/или левой подвздошной области, признаки воспалительных изменений при УЗИ) в сроки от 3 до 12 мес и им повторно был назначен курс консервативной терапии.

Оперированные больные и пациенты с рецидивом отнесены нами в группу неблагоприятного исхода (42/70,60%) заболевания (табл. 1). У остальных 28 (28/70,40%) пациентов, преимущественно с дивертикулитом, отмечен положительный эффект консервативного лечения без признаков возврата клинической картины воспалительного процесса в течение 12 мес, что в рамках исследования трактовалось как благоприятный исход (см. табл. 1).

КТ-исследование проводилось без подготовки или после назначения бесшлаковой диеты не менее чем за 2 дня до процедуры. Для антеградного контрастирования толстой кишки больной перорально принимал 1000–1500 мл воды дробно за полтора часа до исследования. Исследование проводилось на томографе Aquilion Prime (160 срезов). Сканирование органов брюшной полости и малого таза с толщиной среза 2 мм выполнялось до внутривенного введения контрастного препарата и в портовенозную фазу на 50–70-й секунде после болюсного введения неионного контрастного вещества объемом 70–100 мл со скоростью 2,5–3 мл/с. Для снижения лучевой нагрузки на пациента с клиническими проявлениями воспалительного процесса дивертикулярной природы мы, как и другие авторы [10, 12], считаем целесообразным ограничивать контрастное исследование портовенозной фазой как наиболее информативной для визуализации кишечной стенки и распространения воспалительных изменений на окружающие ткани.

Оценка выявленных воспалительных изменений проводилась в соответствии с классификацией, предложенной Ассоциацией колопроктологов России, Российской гастроэнтерологической ассоциацией и Российским обществом хирургов [4].

Протокол КТ-исследования включал оценку следующих качественных и количественных параметров: 1) наличие дивертикулов, их локализация и состояние (утолщение стенки, косвенные признаки деструкции дивертикула); 2) протяженность воспалительных изменений в ободочной кишке; 3) толщина кишечной стенки в зоне изменений (в норме толщина стенки не превышает 3 мм) [18]; 4) состояние параколической клетчатки (инфильтрация, пузырьки газа, свободная или осумкован-

Таблица 1. Характер исхода заболевания при различных видах воспалительных осложнений ДБ по данным КТ (n = 70)
Table 1. Type of the outcome of the disease in various types of inflammatory complications of DB according to CT (n = 70)

Вид воспалительных осложнений по данным КТ Type of inflammatory complications according to CT data	Неблагоприятный исход Unfavorable outcome (n = 42)		Благоприятный исход Favorable outcome (n = 28)
	оперированные пациенты Operated patients (n = 23)	пациенты с рецидивом заболевания Patients with disease recurrence (n = 19)	пациенты без рецидива заболевания Patients without disease recurrence (n = 28)
Дивертикулит* Diverticulitis*	0	15	23
Паракишечный инфильтрат* Pericolic infiltrate*	13	4	4
Паракишечный инфильтрат с абсцессом/полостью* Pericolic infiltrate with abscess/cavity*	7		1
Свищ ободочной кишки** Colonic fistula**	3	0	0

* Так как с момента первой атаки острого воспаления до обращения пациентов в клинику прошло от 3 мес до 5,5 лет, выявленные при КТ осложнения следует рассматривать как КТ-проявления воспалительного процесса при хронической форме воспалительных осложнений ДБ.
Since from the moment of the first attack of acute inflammation to the patients income to the clinic, from 3 months to 5.5 years have passed, the complications detected during CT should be considered as CT manifestations of the inflammatory process in the chronic form of inflammatory complications of DB.

** Согласно клинической классификации, свищи ободочной кишки относятся к хроническим воспалительным осложнениям ДБ [4].
According to the clinical classification, colon fistulas belong to chronic inflammatory complications of diverticular disease [4].

ная жидкость, характер сосудистого рисунка); 5) наличие абсцессов/полостей (размеры, количество, локализация); 6) наличие свободного газа или свободной жидкости в брюшной полости; 7) наличие и локализация свищей ободочной кишки; 8) вовлечение в воспалительный процесс прилежащих органов и структур.

Результаты КТ-исследований 23 оперированных пациентов сопоставлены с данными морфологического исследования препаратов удаленных отделов ободочной кишки.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с применением программного пакета Microsoft Office Excel 2022, SPSS, RStudio.

Результаты исследования

В большинстве случаев (68/70,98%) воспалительные изменения, выявленные при КТ, локализовались в сигмовидной кишке и в двух наблюдениях – в дистальной трети нисходящей кишки.

Основными КТ-признаками воспалительных изменений при ДБ, на которые мы опирались при интерпретации полученных данных, были: утолщение кишечной стенки свыше 3 мм, инфильтрация параколической клетчатки, наличие абсцессов/полостей, кишечных свищей, определяемых на фоне поражения ободочной кишки единичными или множественными дивертикулами. Предложенная нами КТ-семиотика воспалительных осложнений ДБ разработана на основе данных литературы [10, 12, 14, 15], собственного опыта [17] и в соответствии с классификацией Ассоциации колопроктологов России, Российской гастроэнтерологической ассоциации и Российского общества хирургов [4].

Дивертикулит при КТ-исследовании диагностирован у 38 (54% от общего числа больных) пациентов. При этом 23 (23/38, 61%) из них включены в группу с благоприятным исходом, что составило 82% от всех благоприятных исходов, а у остальных 15 (15/38, 39%) пациентов отмечен неблагоприятный исход (рецидив воспаления), что составило 36% от всех неблагоприятных исходов (различия между группами статистически значимы, $p < 0,005$) (табл. 2).

КТ-семиотика дивертикулита включала утолщение стенки кишки от 0,4 до 0,7 см протяженностью от 0,8 до 6 см, локальную инфильтрацию параколической клетчатки вокруг одного или нескольких дивертикулов с утолщенными стенками или вдоль кишечной стенки, как правило, по брыжеечному краю кишки (рис. 1а). У трети пациентов с дивертикулитом (13/38, 34%) при внутривенном контрастировании выявлялось выраженное кровенаполнение *vasa recta* брыжейки сигмовидной кишки (симптом “сороконожки”) [18, 19], что свидетельствовало о значительной выраженности воспалительного процесса (рис. 1б,в).

Паракишечные инфильтраты выявлены у 29 (41% от общего числа больных) пациентов, в том числе у 8 (12% от общего числа больных) в сочетании с абсцессом/полостью. У большинства пациентов (24/29,83%) отмечен неблагоприятный исход заболевания (рецидив или оперативное вмешательство), что составило 57% от всех неблагоприятных исходов. Благоприятный исход выявлен только у 5 больных (5/29, 17%), что составило 18% всех благоприятных исходов (различия между группами статистически значимы, $p < 0,005$) (см. табл. 2). Семь пациентов с абсцессами /поло-

Таблица 2. Распределение видов воспалительных осложнений ДБ по данным КТ при различных исходах заболевания (n = 70)

Table 2. Distribution of types of inflammatory complications of diverticular disease according to CT data for different outcomes of the disease (n = 70)

Вид воспалительных осложнений по данным КТ **Type of inflammatory complications according to CT data**	**Неблагоприятный исход** **Unfavorable outcome (n=42)**	**Благоприятный исход** **Favorable outcome (n=42)**	**p***
Дивертикулит / Diverticulitis	15 (36%)*	23 (82%)*	<0,005
Паракишечный инфильтрат Pericolic infiltrate	24 (57%)*	5 (18%)*	<0,005
Свищ ободочной кишки / Colonic fistula	3 (7%)	0 (0%)	Не оценивался
Всего / Total	42 (100%)	28 (100%)	

* Различия статистически значимы (критерий согласия Пирсона).
Differences in indicators are significant (Pearson Chi-squared).

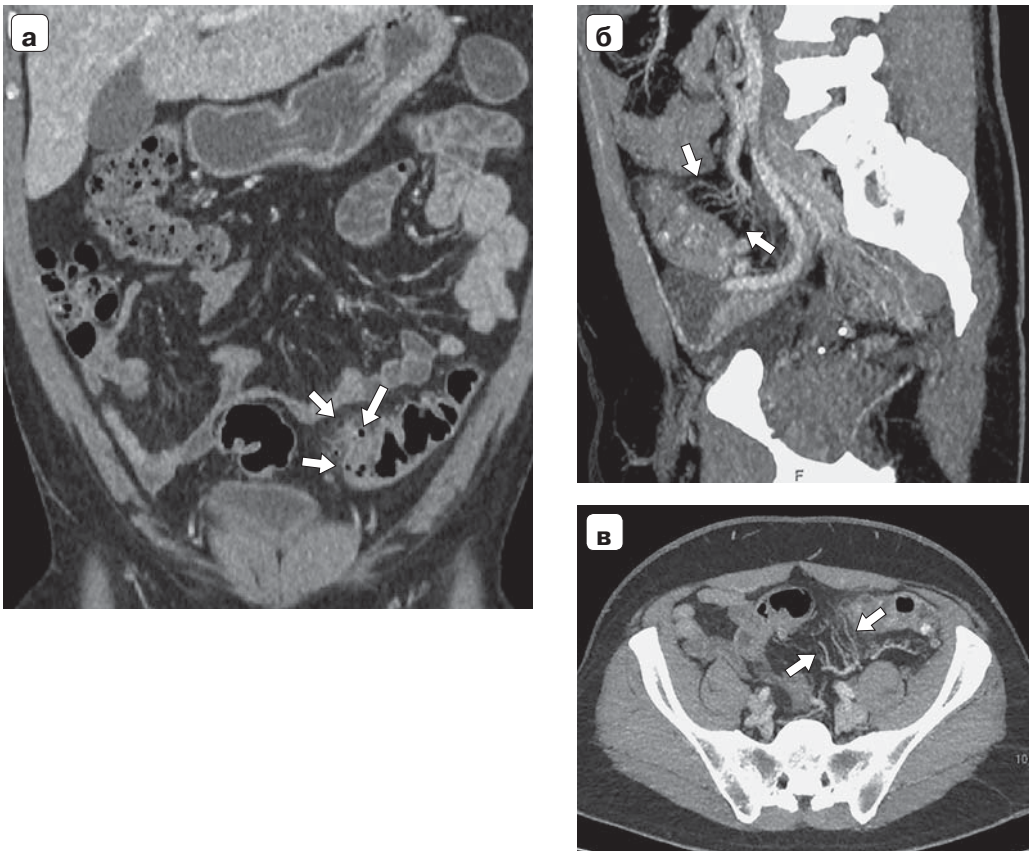


Рис. 1. КТ брюшной полости с внутривенным контрастированием. Дивертикулит. **а** – фронтальная проекция; визуализируется дивертикул, заполненный воздухом (длинная стрелка), с локальной инфильтрацией периколической клетчатки по брыжеечному краю сигмовидной кишки (короткие стрелки); **б, в** – MIP-реконструкция в сагиттальной (**б**) и аксиальной (**в**) проекциях; выявляются признаки повышенного кровенаполнения *vasa recta* брыжейки сигмовидной кишки – симптом “сороконожки” (стрелки).

Fig. 1. CT of the abdomen with intravenous contrast. Diverticulitis. **а** – frontal projection; a diverticulum filled with air (long arrow), with local infiltration of pericolic fat along the mesenteric edge of the sigmoid colon (short arrows); **б, в** – MIP reconstruction in sagittal (**б**) and axial (**в**) projections; signs of increased blood filling of the *vasa recta* mesentery of the sigmoid colon – “centipede” symptom (arrows).

стями вошли в группу с неблагоприятным исходом и только один – в группу с благоприятным исходом. При КТ у этого больного был выявлен небольшой абсцесс до 1,2 см, содержащий воздух и жидкость в сочетании с утолщением кишечной стенки до 0,6 см на протяжении 6,5 см и локальной воспалительной инфильтрацией клетчатки вокруг абсцесса. При контрольном УЗИ после курса консервативной терапии было отмечено существенное уменьшение размера полости и воспалительных изменений кишечной стенки и окружающей клетчатки, что позволило воздержаться от оперативного вмешательства на момент проведения нашего исследования.

КТ-картина паракишечных инфильтратов характеризовалась утолщением кишечной стенки от 0,6 до 1,2 см на протяжении от 7 до 14 см. Отмечалось уплотнение параколической клетчатки в виде облаковидной или тяжистой инфильтрации на протяжении 4–6 см (рис. 2). Более чем у 2/3 больных (20/29,69%) определялся симптом “сороконожки”, у каждого второго (15/29, 51%) выявлялось скопление жидкости (от 5 до 50 мм) в параколической области и/или полости таза. Во всех случаях в воспалительный процесс были вовлечены соседние органы и структуры (матка, яичники, мочевой пузырь, тазовая брюшина). В 8 (8/29, 28%) наблюдениях паракишечный инфильтрат осложнился формированием абсцесса или полости, которые локализовались в брыжейке сигмовидной кишки вблизи воспалительно измененного участка ободочной кишки (рис. 3). Размеры их варьировались от 1,2 до 4,3 см. В трех наблюдениях абсцесс имел вид жидкостного образования, окруженного тонкой (1–2 мм) капсулой, накапливающей контрастное вещество.

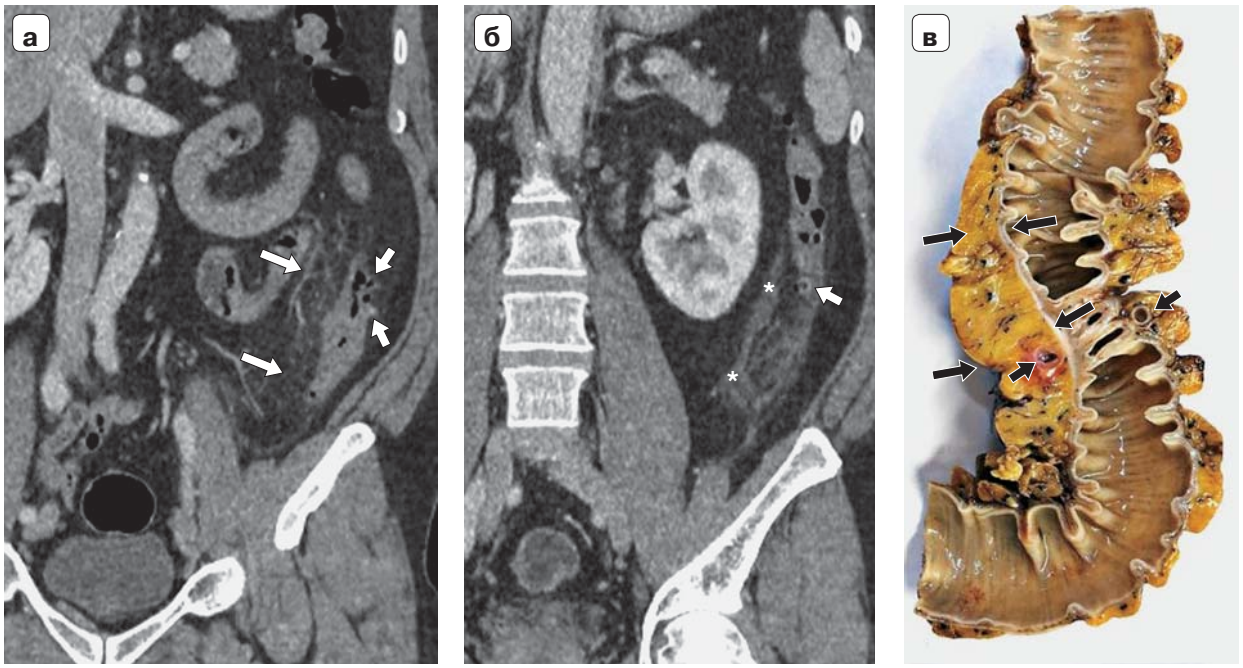


Рис. 2. а, б – КТ брюшной полости с внутривенным контрастированием, фронтальная проекция. Паракишечный инфильтрат. Стенка нисходящей кишки утолщена до 0,9 см, отмечается инфильтрация периколической клетчатки на протяжении не менее 5 см с повышенной васкуляризацией (длинные стрелки); выявляются отдельные дивертикулы (короткие стрелки) и скопление жидкости в периколической области (звездочки); **в** – макропрепарат резецированного отдела ободочной кишки. Брыжейка и стенка кишки на участке протяженностью 6 см утолщены, уплотнены (длинные стрелки), видны единичные дивертикулы (короткие стрелки).

Fig. 2. а, б – CT of the abdomen with intravenous contrast, frontal projection. Inflammatory infiltrate. The wall of the descending intestine is thickened to 0.9 cm, there is infiltration of pericolic fat for at least 5 cm with increased vascularization (long arrows); several diverticula (short arrows) and fluid in the pericolic region (asterisks) are detected; **в** – macropreparation of the colon. The mesentery and the wall of the intestine in a 6 cm long section are thickened, compacted (long arrows), single diverticula are visible (short arrows).

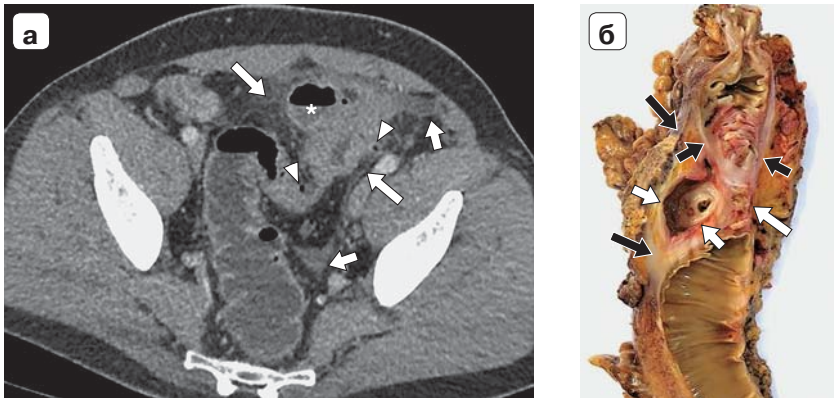


Рис. 3. а – КТ малого таза с внутривенным контрастированием, аксиальная проекция. Паракишечный инфильтрат с абсцессом. Стенка сигмовидной кишки утолщена до 1,2 см; просвет кишки сужен; выявляется периколический абсцесс до 3,2 см с уровнем жидкости и газа (звездочка); клетчатка инфильтрирована с вовлечением тазовой брюшины (длинные стрелки); выявляются скопления жидкости (короткие стрелки); видны отдельные дивертикулы (головки стрелок); **б** – макропрепарат резецированного отдела ободочной кишки; на протяжении 9 см выявляется уплотнение периколической клетчатки с фиброзными изменениями (черные длинные стрелки); стенки кишки утолщены (черные короткие стрелки); вскрытая полость абсцесса до 3,7 см в диаметре, с гладкими стенками (белые короткие стрелки); просвет кишки на уровне абсцесса деформирован и сужен (белая длинная стрелка).

Fig. 3. а – CT of the pelvis with intravenous contrast, axial projection. Pericolic infiltrate with abscess. The wall of the sigmoid colon is thickened to 1.2 cm; the lumen of the intestine is narrowed; a pericolic abscess of up to 3.2 cm with a level of liquid and gas (asterisk) is detected; fat is infiltrated with the involvement of the pelvic peritoneum (long arrows); fluid accumulations are detected (short arrows); individual diverticula (arrow heads) are visible; **б** – a macropreparation of the resected colon guts; during 9 cm, a pericolic fiber seal with fibrous changes is revealed (black long arrows); the intestinal walls are thickened (black short arrows); the opened cavity of the abscess is up to 3.7 cm in diameter, with smooth walls (white short arrows);

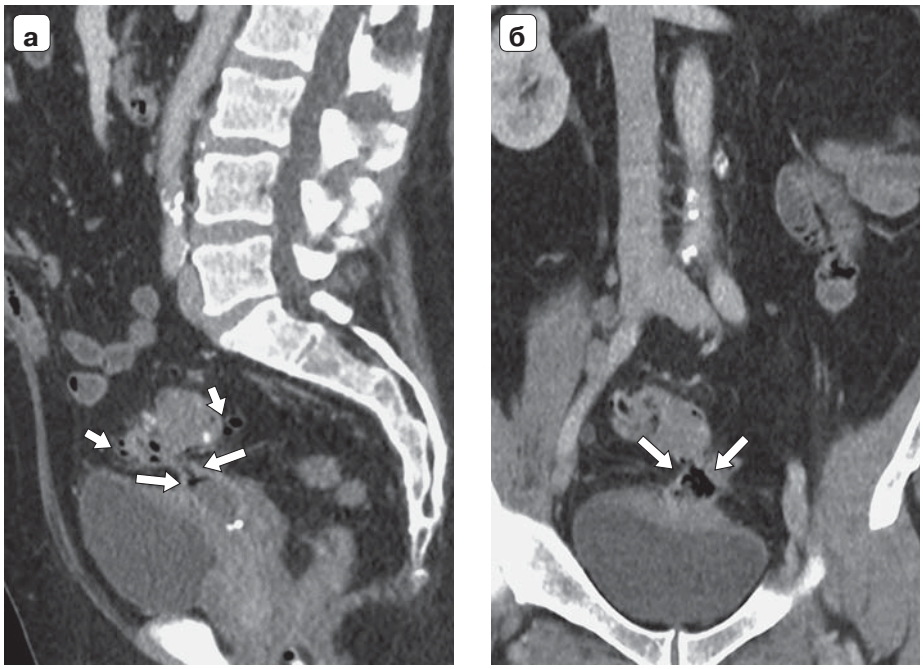


Рис. 4. КТ малого таза с внутривенным контрастированием, сагиттальная (**а**) и фронтальная (**б**) проекции. Сигмовезикальный свищ. Выявляется сигмовезикальный свищ с полостью 3,5 × 1,5 см (длинные стрелки) между утолщенными стенками сигмовидной кишки и мочевого пузыря; видны дивертикулы (короткие стрелки).

Fig. 4. Pelvic CT with intravenous contrast, sagittal (**а**) and frontal (**б**) projections. Colovesical fistula. A colovesical fistula with a cavity of 3.5 × 1.5 cm (long arrows) is revealed between the thickened walls of the sigmoid colon and bladder; diverticula detected (short arrows).

В остальных 5 случаях содержимое полостного образования было представлено газом и жидкостью, толщина капсулы составляла 3–4 мм.

Двадцать (20/29, 69%) пациентов с паракишечными инфильтратами были оперированы. При морфологическом изучении в резецированных отделах ободочной кишки выявлялись множественные псевдодивертикулы, в стенке кишки и брыжейке сигмовидной кишки определялись лимфоплазмоцитарная инфильтрация, скопления макрофагов, гигантских многоядерных клеток и участки фиброзных изменений. В 5 случаях при микроскопическом исследовании обнаружены признаки микроперфорации дивертикула с выраженной воспалительной инфильтрацией клетчатки брыжейки сигмовидной кишки. При наличии абсцесса выявлялся разрушенный дивертикул с фрагментами стенки полости с признаками воспалительных и фиброзных изменений по границам полости.

Трое пациентов (4% от общего числа больных) были оперированы по поводу **свищей ободочной кишки** и вошли в группу неблагоприятного исхода заболевания, что составило 7% всех неблагоприятных исходов (см. табл. 2).

При КТ в этих наблюдениях визуализировался короткий свищевой ход, сообщающийся в двух случаях с мочевым пузырем и в одном случае с культей влагалища (рис. 4). При морфологическом исследовании препаратов удаленной кишки определялся разрушенный дивертикул или фрагмент свищевого хода на фоне фиброзных изменений и признаков лимфоплазмоцитарной инфильтрации клетчатки.

Нами проведен сравнительный анализ основных КТ-симптомов воспалительных изменений при различных исходах осложненного течения ДБ и выявлены статистически значимые различия для следующих признаков: толщина кишечной стенки ($p = 0{,}002$), протяженность воспалительных изменений стенки кишки ($p < 0{,}001$), протяженность воспалительной инфильтрации периколической клетчатки ($p < 0{,}001$), симптом “сороконожки” ($p = 0{,}003$), скопление жидкости в периколической области ($p = 0{,}002$) (табл. 3). При проведении ROC-анализа для трех параметрических признаков были выявлены пороговые значения, при которых можно с высокой степенью вероятности судить о возможности неблагоприятного исхода (график 1). Наличие симптома “сороконожки” и скопления жидкости в периколической клетчатке указывало на бóльшую вероятность неблагоприятного течения заболевания (график 2).

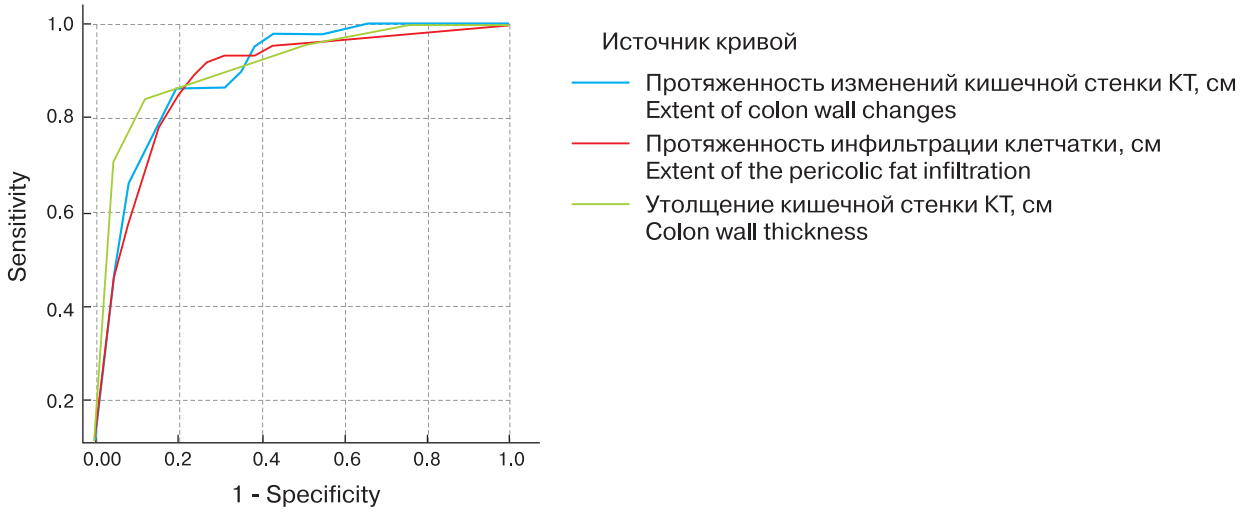
Значения параметрических КТ-признаков, равные или превышающие пороговые, симптом “сороконожки” и наличие жидкости в периколической клетчатке рассматриваются нами как предикторы неблагоприятного исхода при воспалительных осложнениях ДБ ободочной кишки.

Однофакторный Кокс-регрессионный анализ продемонстрировал статистически значимое влияние выявленных КТ-предикторов на повышение рисков наступления неблагоприятного исхода (табл. 4). Многофакторный анализ выявил два

Таблица 3. КТ-признаки воспалительных изменений при различных исходах осложненного течения ДБ (n = 70)
Table 3. CT-signs of inflammatory changes in various outcomes of complicated diverticular disease (n = 70)

КТ-признак CT-sign	Неблагоприятный исход Unfavorable outcome (n = 42)	Благоприятный исход Favorable outcome (n=42)	p*
Утолщение кишечной стенки Colon wall thickness	От 0.5 до 1.8 см	От 0.4 до 0.7 см	0.002
Протяженность изменений кишечной стенки Extent of colon wall changes	От 3.5 до 14.2 см	От 2.1 до 6.9 см	<0.001
Протяженность инфильтрации периколической клетчатки Extent of the pericolic fat infiltration	От 1.5 до 5.9 см	От 0.8 до 2.1 см	<0.001
Симптом “сороконожки” The “centipede” symptom	33	3	0.003
Скопление жидкости в периколической области Fluid accumulation in the pericolic zone	19	4	0.002

* Различия статистически значимы (критерий согласия Пирсона).
Differences in indicators are significant (Pearson Chi-squared).

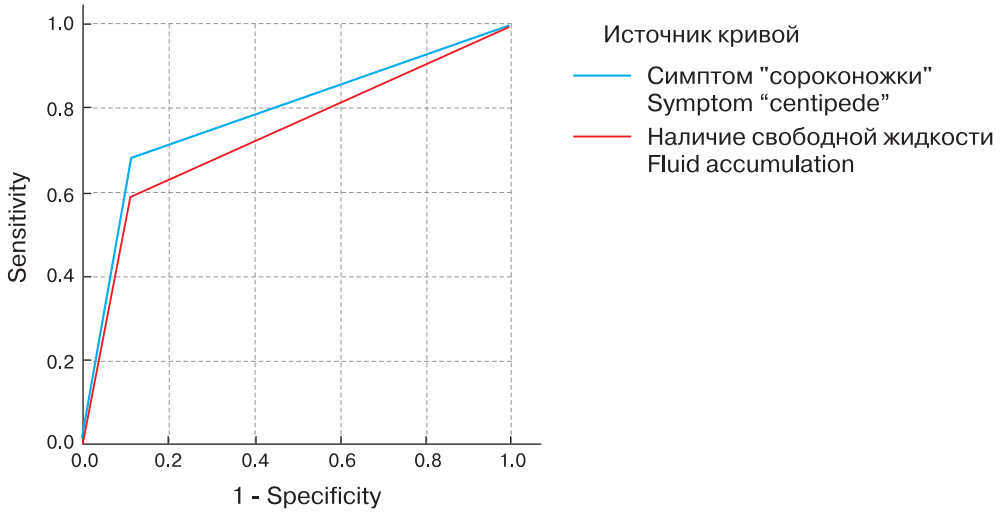


КТ-признак CT signs	Пороговое значение при КТ Threshold value CT	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %	Площадь под кривой (95% ДИ)* AUC
Утолщение кишечной стенки Colon wall thickness	0.6 (см)	84.0	88.4	0.92
Протяженность изменений кишечной стенки Extent of colon wall changes	5.2 (см)	86.2	80.1	0.90
Протяженность инфильтрации периколической клетчатки Extent of the pericolic fat infiltration	2.1 (см)	88.6	80.1	0.89

Неблагоприятный исход заболевания прогнозировался при значении выше выявленной величины (см) или равном ей.
*Полученные модели статистически значимы (p < 0,001).

График 1. ROC-анализ пороговых значений параметрических КТ-признаков воспалительных изменений при ДБ ободочной кишки.

Graph 1. ROC analysis of threshold values of parametric CT signs of inflammatory changes colonic diverticular disease.



КТ-признак CT signs	Пороговое значение при КТ Threshold value CT	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %	Площадь под кривой (95% ДИ)* AUC
Симптом “сороконожки” Symptom “centipede”	Наличие признака	68.0	88.4	0.78
Скопление жидкости Fluid accumulation	Наличие признака	59.8	86.2	0.73

*Неблагоприятный исход заболевания прогнозировался при выявлении КТ-признака. Полученные модели статистически значимы (p < 0,001).

*An unfavorable outcome of the disease was predicted when a CT sign was detected. The obtained models are statistically significant (p < 0.001).

График 2. ROC-анализ КТ-признаков “сороконожки” и скопления жидкости.

Graph 2. ROC analysis of CT signs of “centipede” and fluid accumulation.

Таблица 4. Однофакторный и многофакторный Кокс-регрессионный анализ КТ-предикторов наступления неблагоприятного исхода при воспалительных осложнениях ДБ ободочной кишки

Table 4. Univariate and multifactorial Cox-regression analysis of CT predictors of the onset of an unfavorable outcome in inflammatory complications of colon DB

Переменные Variables	Однофакторный анализ Univariate analysis		Многофакторный анализ Multifactorial analysis	
	отношение рисков (HR) с ДИ 95% Hazard rate	p	отношение рисков (HR) с ДИ 95% Hazard rate	p
Утолщение кишечной стенки ⩾0,6 см Colon wall thickness	7.3 (3.6–14.83)	<0.005	4.69 (2.03–10.84)	<0.005
Протяженность изменений кишечной стенки ⩾5,2 см Extent of colon wall changes	7.6 (3.5–16.8)	<0.005	3.58 (0.87–14.7)	0.77
Протяженность инфильтрации параколической клетчатки ⩾2,1 см Extent of the pericolic fat infiltration	9.0 (3.7–21.2)	<0.005	1.33 (0.26–6.66)	0.72
Симптом “сороконожки” The “centipede” symptom	7.4 (3.7–14.9)	<0.005	1.20 (0.39–3.65)	0.74
Скопление жидкости в периколической области Fluid accumulation in the pericolic zone	5.0 (2.6–9.5)	<0.005	4.52 (1.68–12.64)	0.003

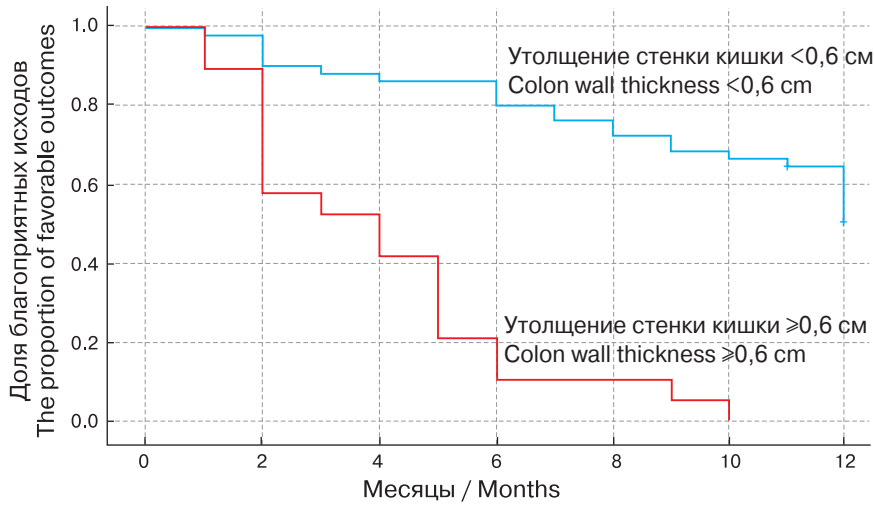


График 3. Доля благоприятных исходов при различной толщине кишечной стенки по данным КТ за период 12 мес (метод Каплана–Мейера).

Graph 3. The proportion of favorable outcomes with different intestinal wall thickness according to CT data for a period of 12 months (Kaplan–Meyer method).

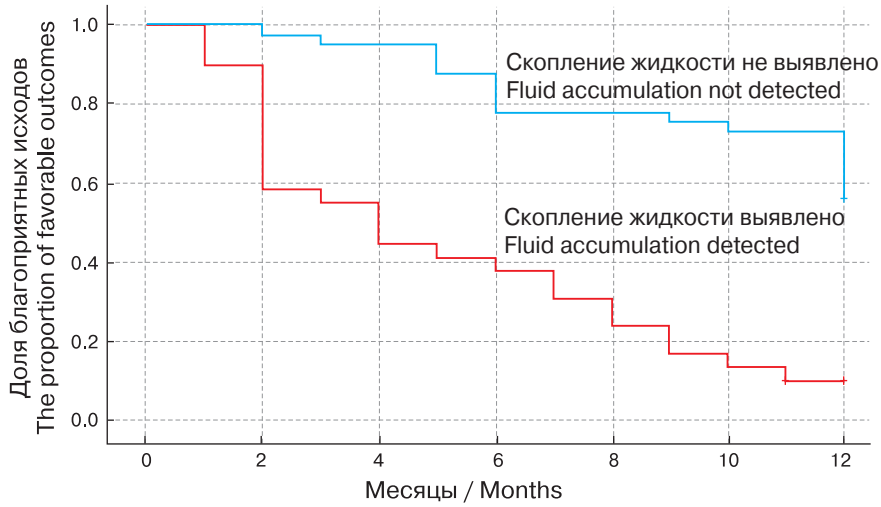


График 4. Доля благоприятных исходов при наличии и отсутствии скопления жидкости в перикалической области по данным КТ за период 12 мес (метод Каплана–Мейера).

Graph 4. The proportion of favorable outcomes in the presence and absence of fluid accumulation in the pericolic zone according to CT data for a period of 12 months (Kaplan–Meyer method).

статистически значимых предиктора – утолщение кишечной стенки и наличие жидкости в перикалической области (см. табл. 4). Утолщение кишечной стенки при значениях, равных или более 0,6 см, в 4,69 раза увеличивало риск наступления неблагоприятного исхода, а наличие жидкости – в 4,52 раза (см. табл. 4).

При толщине кишечной стенки менее 0,6 см доля благоприятных исходов в течение 6 мес плавно снижалась от 1,0 до 0,8, а в интервале от 6 до 12 мес – от 0,8 до 0,65. При толщине стенки 0,6 см и более через 2 мес отмечено резкое уменьшение доли благоприятных исходов до 0,58, а через 6 мес до 0,1. Через 10 мес наблюдения доля благоприятных исходов приближалась к нулю (график 3).

Доля благоприятных исходов при отсутствии жидкости в перикалической клетчатке через 6 мес составила 0,79, в через 12 мес – 0,75. При наличии жидкости через 6 мес доля благоприятных исходов не превышала 0,39, а через 12 мес – 0,1 (график 4).

Обсуждение

Прогноз дальнейшего течения заболевания после первой и повторных атак острого воспалительного процесса у пациентов с ДБ имеет важное значение для выбора тактики ведения этой категории больных, в том числе для определения показаний к плановому хирургическому лечению. До недавнего времени наличие двух атак острого дивертикулита в анамнезе или даже одной атаки у молодых пациентов рассматривалось как показание к резекции сигмовидной кишки с целью профилактики рецидива воспаления [20, 21]. Однако как показали дальнейшие наблюдения рецидивы развиваются лишь у определенной части пациентов и прогнозирование этого события имеет первостепенное значение [22]. Среди факторов риска рассматривались такие показатели, как уровень С-реактивного белка [23], возраст старше 50 лет [21], возраст моложе 50 лет [20], наличие атак дивертикулита в анамнезе [16], мужской пол

[24], женский пол [25], прием кортикостероидов [26] и т.д. Но эти параметры ненамного облегчили принятие клинического решения о плановом хирургическом вмешательстве [26].

Учитывая высокую диагностическую информативность КТ в выявлении воспалительных осложнений ДБ, ряд авторов провели исследования по изучению возможностей КТ в прогнозировании течения заболевания после первой атаки острого дивертикулита. Так, P. Ambrosetti и соавт. было установлено, что тяжесть воспалительных изменений, выявленная при КТ при первом эпизоде воспалительного процесса, увеличивала риск развития рецидива даже после успешной консервативной терапии [27]. В качестве факторов неблагоприятного прогноза рассматриваются такие параметры, как протяженность пораженного участка ободочной кишки и наличие абсцесса [16], максимальная толщина кишечной стенки и выраженность воспалительных изменений, оцениваемая по комплексу КТ-симптомов [15]. Исследование S.T. van Dijk и соавт. показало, что скопление жидкости в периколической клетчатке и протяженность воспалительно измененного отдела кишки, выявленные при неосложненном дивертикулите, могут служить показателями неблагоприятного течения заболевания с развитием более серьезных осложнений [28]. По мнению авторов, эти результаты должны помочь в отборе пациентов для обязательного включения антибиотиков в курс консервативной терапии дивертикулита.

Особенностью нашего исследования являлось включение в него только пациентов с хроническими воспалительными осложнениями ДБ. Среди больных не было ни одного пациента с первой атакой острого дивертикулита и у большинства из них (83%) на момент КТ-исследования это был как минимум третий эпизод обострения воспалительного процесса. Известно, что первая атака острого дивертикулита протекает наиболее тяжело, а при повторных эпизодах воспалительный процесс протекает менее остро [29, 30]. Это связывают с развитием фиброзных изменений вокруг дивертикула и в периколической клетчатке, что делает менее вероятным перфорацию дивертикула. Однако, по мнению J.F. Hall и соавт., это не исключает развитие перфоративного дивертикулита у небольшого числа больных и при повторных рецидивах воспаления [16].

В наших наблюдениях не было ни одного случая острого дивертикулита, осложненного периколической флегмоной или перитонитом. Основную часть составили пациенты с дивертикулитом и паракишечными инфильтратами. Все выявленные абсцессы локализовались в периколической клетчатке (не было тазовых и отдаленных абсцессов) и в большинстве случаев по своим визуальным характеристикам были ближе к хронической паракишечной полости.

Нами выявлены статистически значимые различия между выраженностью воспалительных изменений по данным КТ при различных исходах заболевания. В группе благоприятного исхода основную часть (23/28,82%) составили пациенты с дивертикулитом, а в группе неблагоприятного исхода у 2/3 больных (29/42,64%) диагностированы паракишечные инфильтраты, в том числе с абсцессами/полостями, и свищи ободочной кишки (рис. 5). Таким образом, и при повторных атаках острого воспалительного процесса проявилась та же зависимость между тяжестью воспалительных изменений и исходом заболевания, которую P. Ambrosetti и соавт. отметили при проведении КТ-исследования в момент первого эпизода острого дивертикулита [27].

При дальнейшем анализе нашего материала были выявлены 5 КТ-симптомов воспалительных изменений, которые статистически значимо различались при разных исходах хронических воспалительных осложнений ДБ: толщина кишечной стенки, протяженность воспалительных изменений кишечной стенки, протяженность воспалительной инфильтрации периколической клетчатки, симптом “сороконожки”, скопление жидкости в периколической области. При проведении ROC-анализа для трех параметрических признаков определены пороговые значения, которые с высокой степенью вероятности позволяют судить о возможности неблагоприятного исхода. Таким образом, значения параметрических КТ-признаков, равные или превышающие пороговые, симптом “сороконожки” и наличие жидкости в периколической клетчатке рассматриваются нами как предикторы неблагоприятного исхода при хронических воспалительных осложнениях ДБ. Однофакторный Кокс-регрессионный анализ выявил статистически значимое влияние каждого из этих КТ-предикторов на повышение рисков наступления неблагоприятного исхода, но многофакторный анализ определил в качестве значимых только два из них – утолщение кишечной стенки и наличие жидкости в периколической области. Вместе с тем нельзя не сказать, что в нашем предыдущем исследовании, в которое вошло 70 пациентов, оперированных по поводу хронических воспалительных осложнений ДБ, такие КТ-симптомы, как утолщение кишечной стенки, протяженность воспалительных изменений стенки кишки и протяженность воспалительной инфильтрации периколической клетчатки, коррелировали с признаками разруше-

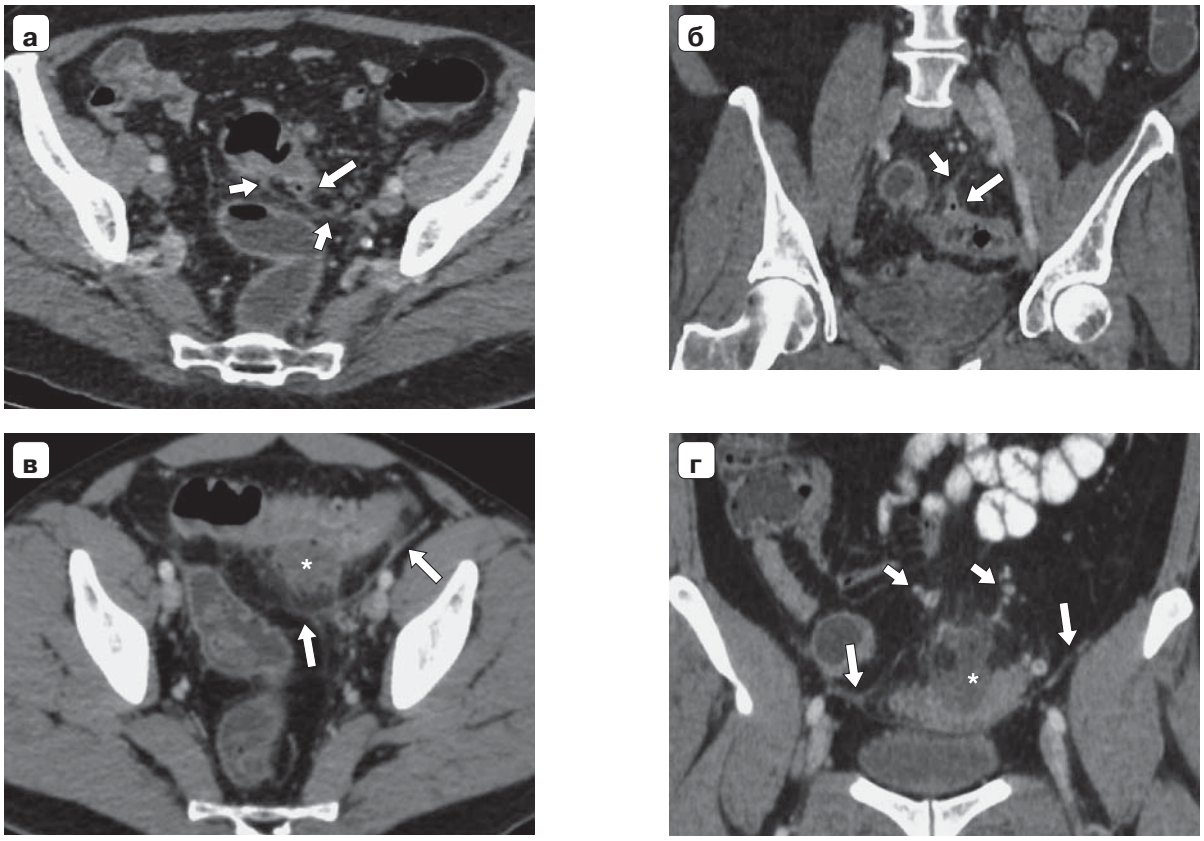


Рис. 5. КТ малого таза с внутривенным контрастированием, аксиальная (**а, в**) и фронтальная (**б, г**) проекции. **а, б** – дивертикулит, благоприятный исход. По брыжеечному краю средней трети сигмовидной кишки выявляется деформированный дивертикул с утолщенными стенками (длинная стрелка) и локальной инфильтрацией брыжейки в виде линейных тяжей (короткие стрелки); толщина стенки 0,6 см; **в, г** – паракишечный инфильтрат с абсцессом, неблагоприятный исход. В средней трети сигмовидной кишки на протяжени 7 см отмечается утолщение кишечной стенки до 1,2 см с формированием по брыжечному краю абсцесса 3,5 × 3,8 см (звездочка) с инфильтрацией клетчатки, тазовой брюшины (длинные стрелки), повышенной васкуляризацией (короткие стрелки).

Fig. 5. Pelvic CT with intravenous contrast, axial (**а, в**) and frontal (**б, г**) projections. **а, б** – diverticulitis, a favorable outcome. Along the mesenteric edge of the middle third of the sigmoid colon, a deformed diverticulum with thickened walls (long arrow) and local infiltration of the mesentery in the form of linear strands (short arrows) is revealed; the wall thickness is 0.6 cm; **в, г** – paracystic infiltrate with abscess, unfavorable outcome. In the middle third of the sigmoid colon for a length of 7 cm, there is a thickening of the intestinal wall up to 1.2 cm with a 3.5 × 3.8 cm abscess along the mesenteric edge (asterisk) with infiltration fat, pelvic peritoneum (long arrows), increased vascularization (short arrows).

ния дивертикула (как макро-, так и микроперфорации) при морфологическом исследовании резецированных отделов ободочной кишки [17]. Наличие признаков разрушения одного из дивертикулов является основным предиктором неэффективности консервативного лечения и делает целесообразным проведение планового хирургического лечения [3]. Мы не исключаем, что увеличение числа наблюдений может внести определенные коррективы в полученную нами на сегодняшний момент многофакторную модель.

Наше исследование имело ряд ограничений. Первое из них обусловлено относительно небольшим количеством пациентов, так как исследование носило проспективный характер и было ограничено периодом наблюдения за каждым больным в течение 12 мес. Второе ограничение связано с тем, что изначально мы ставили задачу выделить только два исхода заболевания: благоприятный и неблагоприятный. Поэтому в группу неблагоприятных исходов вошли как пациенты, оперированные в связи с неэффективностью консервативной терапии, так и больные с рецидивом воспалительного процесса. Определенные трудности возникли при определении толщины кишечной стенки, так как нам не всегда удавалось получить адекватное заполнение просвета кишки водой при антеградном контрастировании и это могло

повлиять на точность измерений. Установленные нами пороговые значения для трех параметрических КТ-признаков, хотя и были статистически значимы, тем не менее получены на небольшой выборке пациентов.

Таким образом, полагаем целесообразным продолжить дальнейший набор клинического материала с целью усовершенствования многофакторной КТ-модели для оценки риска наступления неблагоприятного исхода при хронических воспалительных осложнениях ДБ с последующим проведением валидации на независимой когорте пациентов.

Заключение

Выявленные при КТ в фазу обострения хронического воспалительного процесса при осложненном течении ДБ утолщение кишечной стенки ⩾0,6 см, протяженность изменений кишечной стенки ⩾5,2 см, протяженность инфильтрации ⩾2,1 см, симптом “сороконожки” и наличие жидкости в периколической клетчатке по результатам однофакторного анализа являются КТ-предикторами неблагоприятного исхода при хронических воспалительных осложнениях ДБ ободочной кишки. Однако многофакторный анализ показал статистически значимое повышение риска наступления неблагоприятного исхода только при выявлении двух из этих предикторов: утолщения кишечной стенки ⩾0,6 см и наличия жидкости в периколической клетчатке. Применение полученных результатов в клинической практике может послужить одним из факторов для принятия решения о плановом хирургическом вмешательстве у этой категории пациентов.

Участие авторов

Концепция и дизайн: Белов Д.М., Зароднюк И.В., Москалев А.И., Майновская О.А.

Сбор и обработка материала: Белов Д.М.

Написание текста: Белов Д.М., Зароднюк И.В., Москалев А.И.

Редактирование текста: Зароднюк И.В., Москалев А.И.

Authors contribution

Concept and design of the study: Belov D.M. , Zarodnyuk I.V. , Maynovskaya O. A. , Moskalev A.I.

Processing of the material: Belov D.M.

Writing of the text: Belov D.M., Zarodnyuk I.V., Moskalev A.I.

Editing: Zarodnyuk I.V., Moskalev A.I.

Список литературы [References]

1. Shaheen N.J., Hansen R.A., Morgan D.R. et al. The burden of gastrointestinal and liver diseases, 2006. *Am. J. Gastroenterol*. 2006; 101 (9): 2128–2138. https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2006.00723.x
2. Tănase I., Păun S., Stoica B. et al. Epidemiology of diverticular disease – systematic review of the literature. *Chirurgia (Bucur.)*. 2015; 110 (1): 9–14. PMID: 25800310
3. Ардатская М.Д., Ачкасов С.И., Веселов В.В. и др. Дивертикулярная болезнь. *Колопроктология*. 2021; 20 (3): 10–27. https://doi.org/10.33878/2073-7556-2021-20-3-10-27
   Ardatskaya M.D., Achkasov S.I., Veselov V.V. et al. Diverticular disease. *Koloproktologia.* 2021; 20 (3): 10–27. https://doi.org/10.33878/2073-7556-2021-20-3-10-27 (In Russian)
4. Шелыгин Ю.А., Ачкасов С.И., Москалёв А.И. Классификация дивертикулярной болезни. *Колопроктология*. 2014; 4 (50): 5–13
   Shelygin Yu.A., Achkasov S.I., Moskalev A.I. Classification of diverticular disease. *Koloproktologia.* 2014; 4 (50): 5–13. (In Russian)
5. Toorenvliet B.R., Bakker R.F., Breslau P.J. et al. Colonic diverticulitis: a prospective analysis of diagnostic accuracy and clinical decision-making. *Colorectal Dis.* 2010; 12 (3): 179–186. https://doi.org/10.1111/j.1463-1318.2009.01778.x
6. Laméris W., van Randen A., van Gulik T.M. et al. A clinical decision rule to establish the diagnosis of acute diverticulitis at the emergency department. *Dis. Colon Rectum*. 2010; 53 (6): 896–904. https://doi.org/10.1007/DCR.0b013e3181d98d86
7. Laurell H., Hansson L.E., Gunnarsson U. Acute diverticulitis – clinical presentation and differential diagnostics. *Colorectal Dis*. 2007; 9 (6): 496–502. https://doi.org/10.1111/j.1463-1318.2006.01162.x
8. Tursi A., Scarpignato C., Strate L.L. et al. Colonic diverticular disease. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 2020; 6 (1): 20. https://doi.org/10.1038/s41572-020-0153-5
9. Kishnani S., Ottaviano K., Rosenberg L. et al. Diverticular Disease – An Updated Management Review. *Gastroenterol. Insights*. 2022; 13 (4): 326–339. https://doi.org/10.3390/gastroent13040033
10. Laméris W., van Randen A., Bipat S. et al. Graded compression ultrasonography and computed tomography in acute colonic diverticulitis: meta-analysis of test accuracy. *Eur. Radiol.* 2008; 18 (11): 2498–2511. https://doi.org/10.1007/s00330-008-1018-6
11. Huang C.H., Liu K.L., Lim Z.J. et al. Colonic diverticulitis location affects the diagnostic accuracy of point-of-care ultrasound: a multicenter, 10-year study. *Ultrasound Med. Biol.* 2023; 49 (7): 1611–1615. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.03.010
12. Thorisson A., Nikberg M., Torkzad M.R. et al. Diagnostic accuracy of acute diverticulitis with unenhanced low-dose CT. *BJS Open*. 2020; 4 (4): 659–665. https://doi.org/10.1002/bjs5.50290
13. Трубачева Ю.Л., Орлова Л.П., Москалев А.И., Скридлевский С.Н., Белов Д.М., Шахматов Д.Г., Ачкасов С.И. Ультразвуковая диагностика хронического параколического инфильтрата при дивертикулярной болезни ободочной кишки. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2020; 9: 14–19. https://doi.org/10.17116/hirurgia202009114
    Trubacheva Yu.L., Orlova L.P., Moskalev A.I. et al. Ultrasound diagnosis of chronic paracolic inflammatory mass in diverticular disease. *Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova*. 2020; 9: 14–19. https://doi.org/10.17116/hirurgia202009114 (In Russian)

14. Unlü C., Beenen L.F., Fauquenot J.M. et al. Inter-observer reliability of computed tomographic classifications of diverticulitis. *Colorectal Dis.* 2014; 16 (6): O212–O219. https://doi.org/10.1111/codi.12533
15. Dickerson E.C., Chong S.T., Ellis J.H. et al. Recurrence of Colonic Diverticulitis: Identifying Predictive CT Findings-Retrospective Cohort Study. *Radiology*. 2017; 285 (3): 850–858. https://doi.org/10.1148/radiol.2017161374
16. Hall J.F., Roberts P.L., Ricciardi R. et al. Long-term follow-up after an initial episode of diverticulitis: what are the predictors of recurrence? *Dis. Colon. Rectum*. 2011; 54 (3): 283–288. https://doi.org/10.1007/DCR.0b013e3182028576
17. Белов Д.М., Зароднюк И.В., Москалев А.И., Майновская О.А. КТ признаки деструкции дивертикула при воспалительных осложнениях дивертикулярной болезни ободочной кишки. *Колопроктология*. 2022; 21 (1): 71–82. https://doi.org/10.33878/2073-7556-2022-21-1-71-82
Belov D.M., Zarodnyuk I.V., Maynovskaya O.A., Moskalev A.I. CT signs of diverticulum destruction in inflammatory complications of diverticular disease. *Koloproktologia*. 2022; 21 (1): 71–82. https://doi.org/10.33878/2073-7556-2022-21-1-71-82 (In Russian)
18. Fernandes T., Oliveira M.I., Castro R. et al. Bowel wall thickening at CT: simplifying the diagnosis. *Insights Imaging*. 2014; 5 (2): 195–208. https://doi.org/10.1007/s13244-013-0308-y
19. Pereira J.M., Sirlin C.B., Pinto P.S. et al. Disproportionate fat stranding: a helpful CT sign in patients with acute abdominal pain. *Radiographics*. 2004; 24 (3): 703–715. https://doi.org/10.1148/rg.243035084
20. Anaya D.A., Flum D.R. Risk of emergency colectomy and colostomy in patients with diverticular disease. *Arch. Surg*. 2005; 140 (7): 681–685. https://doi.org/10.1001/archsurg.140.7.681
21. Broderick-Villa G., Burchette R.J., Collins J.C. et al. Hospitalization for acute diverticulitis does not mandate routine elective colectomy. *Arch. Surg*. 2005; 140 (6): 576–583. https://doi.org/10.1001/archsurg.140.6.576
22. Eglinton T., Nguyen T., Raniga S. et al. Patterns of recurrence in patients with acute diverticulitis. *Br. J. Surg.* 2010; 97 (6): 952–957. https://doi.org/10.1002/bjs.7035
23. Buchs N.C., Konrad-Mugnier B., Jannot A.S. et al. Assessment of recurrence and complications following uncomplicated diverticulitis. *Br. J. Surg*. 2013; 100 (7): 976–979. https://doi.org/10.1002/bjs.9119
24. Kim S.Y., Oh T.H., Seo J.Y. et al. The clinical factors for predicting severe diverticulitis in Korea: a comparison with Western countries. *Gut Liver.* 2012; 6 (1): 78–85. https://doi.org/10.5009/gnl.2012.6.1.78
25. El-Sayed C., Radley S., Mytton J. et al. Risk of Recurrent Disease and Surgery Following an Admission for Acute Diverticulitis. *Dis. Colon. Rectum*. 2018; 61 (3): 382–389. https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000000939
26. Sallinen V., Mali J., Leppäniemi A., Mentula P. Assessment of risk for recurrent diverticulitis: a proposal of risk score for complicated recurrence. *Medicine (Baltimore).* 2015; 94 (8): e557. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000557
27. Ambrosetti P., Becker C., Terrier F. Colonic diverticulitis: impact of imaging on surgical management – a prospective study of 542 patients. *Eur. Radiol*. 2002; 12 (5): 1145–1149. https://doi.org/10.1007/s00330-001-1143-y
28. van Dijk S.T., Daniels L., Nio C.Y. et al. Predictive factors on CT imaging for progression of uncomplicated into complicated acute diverticulitis. *Int. J. Colorectal. Dis*. 2017; 32 (12): 1693–1698. https://doi.org/10.1007/s00384-017-2919-0
29. Ritz J.P., Lehmann K.S., Frericks B. et al. Outcome of patients with acute sigmoid diverticulitis: multivariate analysis of risk factors for free perforation. *Surgery.* 2011; 149 (5): 606–613. https://doi.org/10.1016/j.surg.2010.10.005
30. Chapman J.R., Dozois E.J., Wolff B.G. et al. Diverticulitis: a progressive disease? Do multiple recurrences predict less favorable outcomes? *Ann. Surg*. 2006; 243 (6): 876–883. https://doi.org/10.1097/01.sla.0000219682.98158.11

Для корреспонденции*: Белов Денис Мануэлевич – e-mail: belov_dm@gnck.ru

Белов Денис Мануэлевич – младший научный сотрудник, врач-рентгенолог ФГБУ "НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0003-2545-7966

Зароднюк Ирина Владимировна – доктор мед. наук, научный руководитель отделения рентгенодиагностики ФГБУ "НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-9442-7480

Москалев Алексей Игоревич – канд. мед. наук, руководитель научно-образовательного отдела ФГБУ "НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-3038-1524

Майновская Ольга Александровна – канд. мед. наук, руководитель отдела патоморфологии и иммуногистохимических исследований ФГБУ "НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-8189-3071

Contact*: Denis M. Belov – e-mail: belov_dm@gnck.ru

Denis M. Belov – Junior Researcher, radiologist, National Medical Research Center of Coloproctology named after A.N. Ryzhikh, Moscow. https://orcid.org/0000-0003-2545-7966

Irina V. Zarodnyuk – Doct. of Sci. (Med.), scientific director of the X-ray diagnostics department, National Medical Research Center of Coloproctology named after A.N. Ryzhikh, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-9442-7480

Alexey I. Moskalev – Cand. of Sci. (Med.), Head of Scientific and Educational department, National Medical Research Center of Coloproctology named after A.N. Ryzhikh, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-3038-1524

Olga A. Maynovskaya – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Pathomorphology and Immunohistochemical Research, National Medical Research Center of Coloproctology named after A.N. Ryzhikh, Moscow. https://orcid.org/0000-0001-8189-3071

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1399

Целиакия как редкий источник рецидивирующих тонкокишечных кровотечений. Обзор литературы и клиническое наблюдение

© **Кортиева А.Т.[1*], Крушельницкий В.С.[1, 2], Габриэль С.А.[1, 2], Дынько В.Ю.[1, 2], Гучетль А.Я.[1, 2]**

[1] ГБУЗ "Краевая клиническая больница №2" Минздрава Краснодарского края; 350012 Краснодар, ул. Красных Партизан, д. 6, корп. 2, Российская Федерация

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

Цель исследования: изучение эффективности эндоскопических вмешательств при осложненной целиакии.

Материал и методы. Проведен электронный поиск литературы с использованием баз данных PubMed, Medline, Cochrane Library. Описано клиническое наблюдение пациента с тонкокишечным кровотечением и целиакией.

Результаты. В данный обзор литературы включены клинические наблюдения, ретроспективные исследования и обзоры литературы. Представлено клиническое наблюдение пациента, отмечавшего в течение 2 лет периодические выделения крови из анального канала. По данным эзофагогастродуоденоскопии выявлен эрозивный гастрит, осложненный кровотечением (источник не выявлен) с подозрением на целиакию. По данным гистологического заключения целиакия исключена. При госпитализации решено выполнить капсульную эндоскопию с баллонно-ассистированной энтероскопией и последующим взятием биопсии. По данным комплексного эндоскопического исследования тонкой кишки выявлены разнокалиберные дефекты слизистой оболочки с признаками продолжающегося кровотечения. Выполнено эндоскопическое клипирование выявленных дефектов и взята биопсия. По результатам гистологического исследования диагностирована целиакия, осложненная тонкокишечным кровотечением.

Заключение. Применение эндоскопических терапевтических методик позволяет избежать хирургических вмешательств, а также сохраняет качество жизни пациента.

Ключевые слова: целиакия; капсульная эндоскопия; тонкокишечные кровотечения; баллонно-ассистированная энтероскопия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Кортиева А.Т., Крушельницкий В.С., Габриэль С.А., Дынько В.Ю., Гучетль А.Я. Целиакия как редкий источник рецидивирующих тонкокишечных кровотечений. Обзор литературы и клиническое наблюдение. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 80–86. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1399

Поступила в редакцию: 26.08.2023. **Принята к печати:** 15.12.2023. **Опубликована online:** 26.12.2023.

Celiac disease as a rare source of recurrent small intestinal bleeding

© **Alena T. Kortieva[1*], Vladimir S. Krushelnitskiy[1, 2], Sergei A. Gabriel[1, 2], Viktor Yu. Dynko[1, 2], Aleksandr Ya. Guchetl[1, 2]**

[1] State Budgetary Healthcare Institution "Regional Clinical Hospital No 2"; 6-2, Krasnykh Partizan str., Krasnodar 350012, Russian Federation

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

Aim: study of the effectiveness of endoscopic interventions in complicated celiac disease.

Material and methods. An electronic literature search was performed using databases: PubMed, Medline, Cochrane Library. A clinical case of a patient with small intestinal bleeding and celiac disease is described.

Results. This literature review includes case reports, retrospective studies, and literature reviews. Presented is a clinical case of a patient who noted periodic discharge of blood from the anal canal for 2 years. According to esophagogastroduodenoscopy, erosive gastritis was detected, complicated by bleeding (the source was not identified) with suspected celiac disease. According to the histological conclusion, celiac disease is excluded. During hospitalization, it was decided to perform capsule endoscopy with balloon-assisted enteroscopy followed by a biopsy. According to the data of a comprehensive endoscopic examination of the small intestine, various defects of the mucous membrane with signs of ongoing bleeding were revealed. Endoscopic clipping of the identified defects was performed and a biopsy was taken. According to the results of histological examination, celiac disease complicated by small intestinal bleeding was diagnosed.

Conclusions. The use of endoscopic therapeutic techniques avoids surgical interventions, and preserves the quality of life of the patient.

Keywords: celiac disease; capsular endoscopy; small intestine bleeding; balloon-assisted enteroscopy

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

For citation: Kortieva A.T., Krushelnitsky V.S., Gabriel S.A., Dynko V.Yu., Guchetl A.Ya. Celiac disease as a rare source of recurrent small intestinal bleeding. *Medical Visualization*. 2024; 28 (2): 80–86. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1399

Received: 26.08.2023. **Accepted for publication:** 15.12.2023. **Published online:** 26.12.2023.

Введение

Целиакия – врожденная патология, обусловленная непереносимостью глютена. Данная патология характеризуется развитием атрофии ворсинок слизистой оболочки тонкой кишки, приводящей к синдрому мальабсорбции [1]. Глютен представляет собой белковое соединение, присутствующее в пшенице, ржи, ячмене. Целиакия является одним из самых распространенных хронических заболеваний кишечника во всем мире и затрагивает людей всех возрастов [2]. Эпидемиологические данные о заболеваемости населения целиакией в России составляют не менее 1 случая на 133–380 человек [3]. Среди разнообразных форм целиакии наиболее часто встречающейся является типичная форма, при которой у пациента развивается классическая клиническая симптоматика: диарея, метеоризм, потеря аппетита. В случае атипичной формы у пациента развивается железодефицитная анемия, обусловленная развитием геморрагического синдрома, а также характерны внекишечные поражения (экстраинтестинальные). К внекишечным проявлениям относятся: артропатии, геморрагический диатез, бесплодие, язвенный стоматит и др. [4]. При отсутствии консервативной терапии и несоблюдения диеты у пациентов риск развития онкологических заболеваний, в частности злокачественной Т-клеточной лимфомы и аденокарциномы тонкой кишки, выше, чем у пациентов, находящихся в стадии ремиссии. При геморрагическом синдроме слизистая оболочка тонкой кишки выраженно атрофирована с множественными кровоизлияниями и эрозиями [5]. Также одним из грозных осложнений атипичной формы целиакии являются хронические рецидивирующие тонкокишечные кровотечения, обусловленные формированием язв тонкой кишки.

Цель данного обзора литературы: изучение эффективности эндоскопических вмешательств при осложненной целиакии.

Материал и методы

Проведен электронный поиск литературы с использованием баз данных PubMed, Medline, Cochrane Library. Данный обзор литературы включает клинические наблюдения, ретроспективные исследования и обзоры литературы, опубликованные с 2005 по 2023 г.

Результаты

В результате выполненного электронного поиска с использованием баз данных обнаружен 1 обзор литературы, 1 ретроспективное исследование, 2 исследования с описанием клинического наблюдение и 2 работы, включающие клиническое наблюдение и обзор литературы.

В обзоре литературы 2008 г. C. Spada и соавт. [6] изучили роль капсульной эндоскопии в диагностике целиакии. По данным авторов, существенным требованием для диагностики целиакии является гистопатологическая демонстрация атрофии ворсинок. По этой причине эндоскопия играет решающую роль, поскольку позволяет получить образцы из двенадцатиперстной кишки. Видеокапсульная эндоскопия обеспечивает хорошее качество изображения слизистой оболочки тонкой кишки, в том числе хорошо выраженный рисунок ворсинок у пациентов с целиакией.

Авторы утверждают, что в настоящее время капсульная эндоскопия может являться альтернативой традиционной эндоскопии и биопсии двенадцатиперстной кишки у пациентов с подозрением на целиакию, которые не могут или не хотят проходить обычную эндоскопию верхних отделов желудочно-кишечного тракта для подтверждения процесса атрофии ворсинок. Капсульная эндоскопия также полезна для получения информации о поражении тонкой кишки. Другими потенциальными показаниями к капсульной эндоскопии являются осложнения, связанные с целиакией, и длительное наблюдение для выявления злокачественных новообразований.

В исследовании M. Gwiggner и P. Patel (2011) [7] описывается клиническое наблюдение пациента с целиакией и неясным желудочно-кишечным кровотечением. Эндоскопия верхних и нижних отделов желудочно-кишечного тракта не выявила источника кровотечения, но при компьютерной томографии (КТ) брюшной полости обнаружена аномальная лимфаденопатия. Также была выполнена беспроводная капсульная эндоскопия, при которой диагностирована опухоль тощей кишки, далее удаленная хирургическим путем. Авторы отмечают, что желудочно-кишечные кровотечения при целиакии встречаются редко, но это заболевание представляет собой значительный фактор риска. Беспроводная капсульная эндоскопия показала значительную эффективность при диагностике у пациентов с неясными желудочно-кишечными кровотечениями.

N.A. Kimchi и соавт. [8] в 2005 г. описали клиническое наблюдение применения капсульной эндоскопии для диагностики целиакии и опухолей подвздошной кишки у пациента с меленой неясного происхождения. 74-летний пациент был госпитализирован с 24-часовой меленой и учащением стула в течение нескольких недель. Анамнез пациента без особенностей, за исключением спленэктомии по поводу эхинококковой кисты селезенки 17 лет назад. При физикальном обследовании отмечена бледность кожных покровов и тахикардия. Рутинные лабораторные анализы показали уровень гемоглобина 7 г/дл и легкую гипоальбуминемию (3,2 г/л). При проведении эзофагогастродуоденоскопии (ЭГДС), колоноскопии и КТ брюшной полости патологии не выявлено. Капсульная видеоэндоскопия обнаружила диффузный отек слизистой оболочки вдоль двенадцатиперстной и тощей кишки, а также две опухоли подвздошной кишки (1–2 см в размере). Энтероскопия выявила отечную слизистую оболочку. При биопсии обнаружена атрофия слизистой оболочки с характеристиками, совместимыми с целиакией, не диагностированной ранее. Позже серологические тесты показали повышенный уровень антиглиадинового иммуноглобулина G (33 МЕ/мл, норма 0–20 МЕ/мл), пограничный уровень антиэндомезиальных антител и высокий уровень антител к тканевой трансглутаминазе (>150 МЕ/мл, норма 0–20 МЕ/мл). Результаты лапаротомии были аналогичны таковым при капсульной эндоскопии. Выполнены две ограниченные резекции. Хирургическая патология показала карциноидную опухоль (размером 10–12 мм) с низкой митотической активностью в каждом из двух образцов резекции и гастроинтестинальную стромальную опухоль размером 1 см с доброкачественными признаками, расположенную рядом с одной из карциноидных опухолей.

A. Dima и соавт. (2018) [9] провели обзор литературы и описали клиническое наблюдение на тему геморрагических проявлений у взрослых пациентов с целиакией. Было представлено клиническое наблюдение 40-летнего пациента, госпитализированного по поводу спонтанных мышечных гематом с диагностированной целиакией. За 3 дня до обращения принимал нестероидные противовоспалительные препараты по поводу почечной колики. При осмотре отмечены выраженная бледность, множественные экхимозы на руках и большие мышечные гематомы на бедрах и левом предплечье. Лабораторное исследование выявило тяжелую железодефицитную анемию (гемоглобин 7,1 г/дл, сывороточное железо 20 мкг/дл), нормальное количество тромбоцитов, МНО, выраженный воспалительный синдром, низкий уровень кальция и альбумина в сыворотке. При обследовании были обнаружены утолщенные стенки нескольких петель тонкой кишки, что свидетельствует о внутристеночном кровоизлиянии. Пациент отрицал наличие явных кровотечений. Во время госпитализации было установлено тщательное хирургическое наблюдение. Специфическое коагуляционное исследование исключило гематологическое заболевание, сделан вывод о гипокоагуляции из-за дефицита витамина K. При тщательном сборе анамнеза пациент вспомнил, что в течение последних нескольких лет отмечает жидкий стул, что в сочетании с другими признаками мальабсорбции (гипокалиемия, гипоальбуминемия) побудило провести тест на антитела, которые были положительными: антитела IgA к тканевой трансглутаминазе (tTG) – 320 ЕД, а антиэндомизиальные антитела– 1:500. Эндоскопия выявила узелки и трещины как в луковице двенадцатиперстной кишки, так и в дистальном отделе двенадцатиперстной кишки. Были взяты многочисленные образцы биопсии. Гистопатология выявила поражение Marsh 3b. На 10-е сутки после поступления

пациент выписан (гемоглобин 10,1 г/дл). Начата безглютеновая диета, и через 3 мес наблюдения у пациента отмечены нормальные клинические показатели крови. В дальнейшем в течение двух лет наблюдения рецидивов геморрагических явлений не зарегистрировано, отмечено гистологическое восстановление слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки. Также авторы провели обзор литературы и обобщили опубликованные отчеты о случаях заболеваний 46 пациентов с болезнью Крона в возрасте от 19 до 74 лет, 64% мужчин. В 25% случаев симптоматика присутствовала в течение более 5 лет до постановки диагноза целиакии. Клинические геморрагические явления были следующими: у 15 больных выявлено желудочно-кишечное кровотечение, у 9 – кровохарканье, у 4 – носовое кровотечение, у 6 – гематурия, у 8 – кожные гематомы, петехии или экхимозы и у 1 – гемартроз, геморрагический везикулярный дерматит, подкорковое кровоизлияние или кровоизлияние в надпочечники. Синдром Лейна Гамильтона был определен у 15 пациентов. Улучшения при безглютеновой диете были отмечены в большинстве случаев.

В обзоре литературы 2020 г. B. Packova и соавт. [10] описано клиническое наблюдение пациентки, у которой диагностировали целиакию в возрасте 53 лет. После двух лет безглютеновой диеты у нее развилась сидеропеническая анемия. При ЭГДС и колоноскопии источник кровотечения не обнаружен. Видеокапсульная эндоскопия выявила эксульцерированный кровоточащий стеноз в тощей кишке, впереди которого залегала капсула. При одновременной КТ-энтерографии признаков инфильтрации не выявлено. Пациентка оперирована, инфильтрат тощей кишки резецирован. Образец был гистологически оценен как умеренно дифференцированная аденокарцинома. В связи с наличием факторов риска больной проведена адъювантная химиотерапия. Знание о злокачественных осложнениях целиакии, факторах риска и возможностях современных энтероскопических методов могло бы помочь в ранней диагностике и улучшении прогноза. Авторы отмечают, что из-за недостатка данных и клинических руководств лечение аденокарциномы тонкой кишки основывается на соглашении экспертов и рекомендациях по раку толстой кишки. Хирургическое пособие является единственным потенциально эффективным методом лечения.

В своем исследовании M.J. Mant и соавт. (2006) [11] оценили частоту скрытых желудочно-кишечных кровотечений при целиакии. Авторы измерили кровопотерю со стулом с помощью эритроцитов, меченных радиоактивным изотопом ^{51}Cr у 18 пациентов с целиакией. 12 из них были с полной атрофией ворсинок и 6 с частичной атрофией ворсинок до начала безглютеновой диеты. В результате среднесуточная кровопотеря превышала 1,5 мл только у 1 из 18 пациентов. Авторы предположили, что у этого пациента был альтернативный временный источник желудочно-кишечного кровотечения. В заключении отмечено, что колориметрические тесты дают высокую распространенность положительных результатов на скрытую желудочно-кишечную кровопотерю при целиакии, тогда как более специфичный и прямой радиохромный метод демонстрирует низкую распространенность. Эти результаты позволяют предположить, что кровотечения при целиакии встречаются редко и что положительные результаты колориметрических тестов могут быть связаны с избыточной потерей кишечных клеток и/или нарушением всасывания продуктов, содержащих пероксидазу. Результаты показывают, что кровотечение не является значимым фактором дефицита железа, часто обнаруживаемого у таких пациентов.

Клиническое наблюдение

Пациент М., 1955 года рождения, поступил в ГБУЗ “ККБ №2” Краснодара 26.06.23 с жалобами на боли в эпигастрии натощак, снижение массы тела, бледность кожных покровов, хроническую диарею и “черный стул”. Анамнез болезни: считает себя больным с августа 2022 г., когда появились жалобы на рвоту “кофейной гущей”, мелену. Был доставлен 22.08.22 в приемное отделение лечебно-профилактического учреждения по месту жительства с диагнозом: острый геморрагический гастрит. По данным ЭГДС, выполненной по месту жительства, выставлено заключение: эрозивно-геморрагическая гастропатия, осложненная кровотечением (источник кровотечения не выявлен). Целиакия под вопросом. По данным гистологического исследования диагноз целиакия исключен. Также по месту жительства выполнена колоноскопия, патологии не выявлено. Обращался к гематологу, который исключил свою патологию. Выписан в удовлетворительном состоянии после проведения гемотрансфузии.

31.05.23 в отделении эндоскопии нашей больницы выполнена видеокапсульная эндоскопия (ВКЭ), по данным которой выявлены множественные сосудистые мальформации (ангиоэктазии) тощей кишки (рис. 1) и единичные эрозии (рис. 2) без признаков кровотечения на момент осмотра. О больном доложено профессору, запланирована госпитализация на 26.06.23 для проведения баллонно-ассистированной энтероскопии (БАЭ).

26.06.23 пациент поступил в плановом порядке в ГБУЗ “ККБ №2” для выполнения БАЭ. Сопутствующая патология: артериальная гипертензия II стадии, 2-й сте-

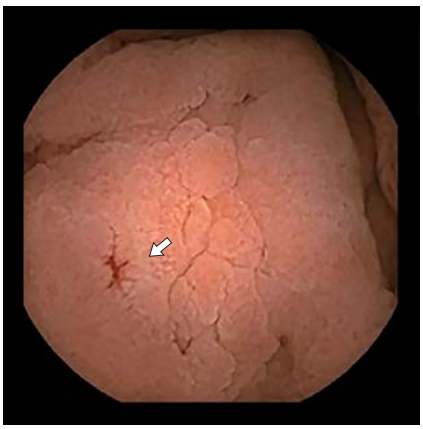


Рис. 1. Эндофото. Ангиоэктазия тощей кишки (стрелка).
Fig. 1. Endophoto. Angiectasia of the jejunum (arrow).

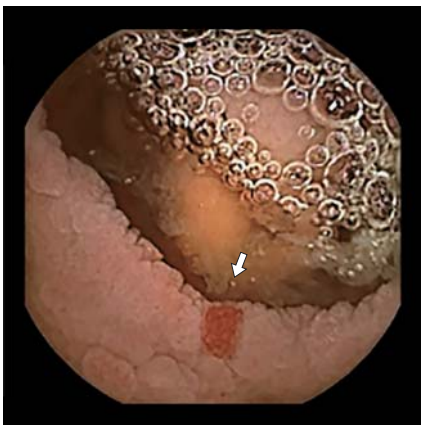


Рис. 2. Эндофото. Эрозия тощей кишки (стрелка).
Fig. 2. Endophoto.Erosion of the jejunum (arrow).

пени, риск развития сердечно-сосудистых осложнений 4; атеросклероз аорты; ИБС. Фибрилляция предсердий (персистирующая форма). Гиперплазия предстательной железы. Киста левой нёбной миндалины. Хронический рецидивирующий панкреатит с сохраненной внешнесекреторной функцией в фазе обострения. Холестероз желчного пузыря. Оперативных вмешательств не было. В анализах крови обращала на себя внимание выраженная железодефицитная анемия тяжелой степени: гемоглобин 70 г/л; ферритин 5,5 мкг/л. ПТВ-16,9/с. Инструментальные исследования: по данным ЭГДС на уровне верхнегоризонтальной ветви двенадцатиперстной кишки визуализируется истончение слизистой оболочки (слизистая оболочка “лысая”) (рис. 3), отмечается поступление сгустков “старой” крови из дистальных отделов тонкой кишки, источник кровотечения не визуализируется. Катаральный гастрит. При выполнении колоноскопии органической патологии не выявлено. По данным ультразвукового исследования брюшной полости (УЗИ-БП) признаки диффузных изменений поджелудочной железы. После соответствующей подготовки пациенту в условиях операционной под эндотрахеальным наркозом выполнена пероральная БАЭ. При БАЭ тонкая кишка осмотрена до уровня средней трети тощей кишки, на всем осмотренном протяжении слизистая оболочка истончена, ранима, отечна. На всем осмотренном протяжении выявлены единичные разнокалиберные эрозивные дефекты (до 5, рис. 4) слизистой оболочки с активным подтеканием свежей крови, также визуализируются единичные ангиоэктазии (до 8, рис. 5) тощей кишки. На источники кровотечения наложены эндоклипсы (рис. 6), эндоскопический гемостаз достигнут. Из слизистой оболочки верхнегоризонтальной ветви двенадцатиперстной кишки взята биопсия

Рис. 3. Эндофото. Слизистая оболочка тощей кишки “лысая”.
Fig. 3. Endophoto. The mucous membrane of the jejunum is “bald”.

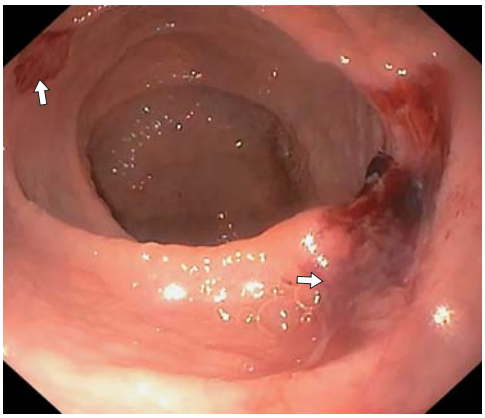


Рис. 4. Эндофото. Эрозии тощей кишки (стрелка).
Fig. 4. Endophoto.Erosion of the jejunum (arrow).

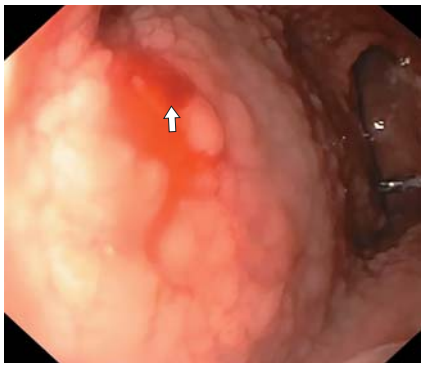


Рис. 5. Эндофото. Кровоточащая ангиоэктазия тощей кишки (стрелка).

Fig. 5. Endophoto. Bleeding angiectasia of the jejunum (arrow).

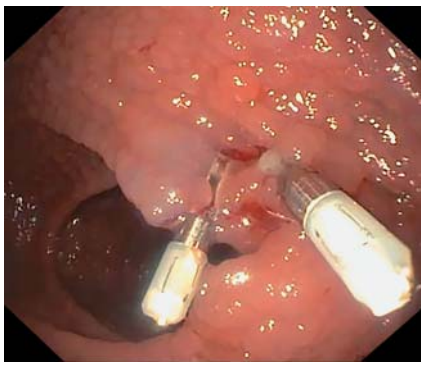


Рис. 6. Ушитая клипсами эрозия.

Fig. 6. Erosion sewn with clips.

для верификации диагноза. Признаков продолжающегося кровотечения не выявлено.

Результаты. После проведения БАЭ (27.06.23) пациент чувствовал себя удовлетворительно. Гемоглобин 127 г/л, гематокрит 37,8%. Течение послеоперационного периода без особенностей и осложнений. 01.07.23 выписан из отделения в удовлетворительном состоянии под наблюдение врача-гастроэнтеролога по месту жительства. Через 1 мес после тщательного комплексного эндоскопического (ВКЭ+БАЭ) и консервативного лечения больной отмечает улучшение общего состояния, анализ кала на скрытую кровь отрицательный.

По данным морфологического исследования выставлена гистологическая картина целиакии с расширением артериовенозных капилляров.

Обсуждение

Применение представленных методик обследования тонкой кишки играет важную роль в выявлении источника кровотечения и, как следствие, определении тактики ведения данной группы пациентов. Оптимальным является выполнение БАЭ после ВКЭ, позволяющей определиться с доступом (пероральный или трансоральный) и в ряде случаев избежать необоснованных вмешательств. Применение эндоскопических терапевтических методик позволяет избежать хирургических вмешательств, а также сохраняет качество жизни пациента [12]. Капсульная эндоскопия тонкой кишки широко используется из-за ее неинвазивного и удобного для пациента характера. ВКЭ способна визуализировать всю слизистую оболочку тонкой кишки и позволяет обнаружить ее аномалии [13]. Стоит отметить, что на сегодняшний день существует относительно небольшое количество новых исследований с хорошим дизайном и длительным периодом наблюдения за пациентами. Изучение тонкокишечных кровотечений, связанных с целиакией, и использование современных методов диагностики помогут развить научный и клинический интерес к данной проблеме.

Заключение

Применение эндоскопических терапевтических методик позволяет избежать хирургических вмешательств и значительно сохраняет качество жизни пациента. Новые проспективные исследования с большой выборкой пациентов и длительным периодом наблюдения могут быть полезны в развитии и дальнейшем изучении данного вопроса.

Участие авторов

Кортиева А.Т. – сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Крушельницкий В.С. – участие в научном дизайне, проведение исследования, ответственность за целостность всех частей статьи.

Габриэль С.А. – утверждение окончательного варианта статьи, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи.

Дынько В.Ю. – обзор публикаций по теме статьи.

Гучетль А.Я. – ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' participation

Kortieva A.T. – collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Krushelnitsky V.S. – participation in scientific design, conducting research.

Gabriel S.A. – approval of the final version of the article, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Dynko V.Yu. – review of publications.

Guchetl A.Ya. – responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы [References]

1. Aziz I., Sanders D. S. Are we diagnosing too many people with coeliac disease? *Proc. Nutr. Soc*. 2012; 71 (4): 538–544. http://doi.org/10.1017/S0029665112000262
2. Stevens F.M., McCarthy C.F. The endoscopic demonstration of coeliac disease. *Endoscopy.* 1976; 8 (4): 177–180. http://doi.org/10.1055/s-0028-1098406
3. Иськова И.А. Целиакия и глютенчувствительные заболевания. *Крымский терапевтический журнал.* 2006; 2: 83–89. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tseliakiya-i-glyutenchuvstvitelnye-zabolevaniya
   Isakova I.A. Celiac and glutensensetive diseases. *Crimean Therapeutic Journal.* 2006; 2: 83–89. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tseliakiya-i-glyutenchuvstvitelnye-zabolevaniya (In Russian)
4. Chen Y., Aguirre A.D., Hsiung P.L. et al. Ultrahigh resolution optical coherence tomography of Barrett's esophagus: preliminary descriptive clinical study correlating images with histology. *Endoscopy*. 2007; 39: 599-605. http://doi.org/10.1055/ s-2007-966648
5. Орешко Л.С., Бакулин И.Г., Авалуева Е.Б., Семенова Е.А., Ситкин С.И. Современное представление о целиакии взрослых. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2021; 188 (4): 84–95. http://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-188-4-84-95
   Oreshko L.S., Bakulin I.G., Avalueva E.B. et al. Modern understanding of adult celiac disease. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2021; 4: 84-95. https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-188-4-84-95 (In Russian)
6. Spada C., Riccioni M.E., Urgesi R., Costamagna G. Capsule endoscopy in celiac disease. *Wld J. Gastroenterol*. 2008; 14 (26): 4146–4151. https://doi.org/10.3748/wjg.14.4146
7. Gwiggner M., Patel P. An unusual case of obscure gastrointestinal bleeding in a patient with coeliac disease. *Case reports in gastrointestinal medicine.* 2011; 634684. https://doi.org/10.1155/2011/634684
8. Kimchi N.A., Broide E., Zehavi S. et al. Capsule endoscopy diagnosis of celiac disease and ileal tumors in a patient with melena of obscure origin. *Isr. Med. Assoc. J.* 2005; 7: 412–413.
9. Dima A., Jurcut C., Manolache A. et al. Hemorrhagic Events in Adult Celiac Disease Patients. Case Report and Review of the Literature. *J. Gastrointest. Liver Dis. (JGLD).* 2018; 27(1): 93–99. https://doi.org/10.15403/jgld.2014.1121.271.cld
10. Packová B., Kunovský L., Eid M. et al. Small bowel adenocarcinoma diagnosed by video capsule endoscopy in a patient with celiac disease: a case report and review of literature. Adenokarcinom tenkého střeva diagnostikovaný pomocí video kapslové endoskopie u pacientky s celiakií: kazuistika a přehled literatury. *Vnitr. Lek.* 2020; 66 (7): 39–42. PMID: 33380133
11. Mant M.J., Bain V.G., Maguire C.G. et al. Prevalence of occult gastrointestinal bleeding in celiac disease. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 2006; 4 (4): 451–454. https://doi.org/10.1016/j.cgh.2005.12.010
12. Pasha S.F., Hara A.K., Leighton J.A. Diagnostic evaluation and management of obscure gastrointestinal bleeding: a changing paradigm. *Gastroenterol. Hepatol. (NY)*. 2009; 5 (12): 839–850. PMID: 20567529
13. Hosoe N., Takabayashi K., Ogata H., Kanai T. Capsule endoscopy for small-intestinal disorders: Current status. *Digestive Endoscopy.* 2019; 31 (5): 498–507. https://doi.org/10.1111/den.13346

Для корреспонденции*: Кортиева Алена Таймуразовна – e-mail: kat_endo@mail.ru

Кортиева Алена Таймуразовна – врач-эндоскопист 1-й квалификационной категории ГБУЗ "Краевая клиническая больница №2", Краснодар. https://orcid.org/0000-0001-7431-4887. E-mail: kat_endo@mail.ru

Крушельницкий Владимир Станиславович – канд. мед. наук, первый заместитель главного врача, врач-эндоскопист высшей категории ГБУЗ "Краевая клиническая больница №2"; ассистент кафедры хирургии №3 ФПК и ППС ФГБОУ ВО "Кубанский государственный медицинский университет" Минздрава России, Краснодар. https://orcid.org/0000-0001-7862-8613. E-mail: kvs-endo@mail.ru

Габриэль Сергей Александрович – доктор мед. наук, профессор, врач-эндоскопист, главный врач ГБУЗ "Краевая клиническая больница №2"; профессор кафедры хирургии №3 ФПК и ППС ФГБОУ ВО "Кубанский государственный медицинский университет" Минздрава России, Краснодар. https://orcid.org/0000-0002-0755-903. E-mail: gabriel-sa@rambler.ru

Дынько Виктор Юрьевич – канд. мед. наук, заведующий отделением эндоскопии, врач-эндоскопист высшей категории ГБУЗ "Краевая клиническая больница №2"; доцент кафедры хирургии №3 ФПК и ППС ФГБОУ ВО "Кубанский государственный медицинский университет" Минздрава России, Краснодар. https://orcid.org/0000-0001-5594-5739 E-mail: dynko.viktor@yandex.ru

Гучетль Александр Якубович – канд. мед. наук, руководитель центра эндоскопических методов диагностики и лечения, врач-эндоскопист высшей категории ГБУЗ "Краевая клиническая больница №2"; доцент кафедры Хирургии №3 ФПК и ППС ФГБОУ ВО "Кубанский государственный медицинский университет" Минздрава России, Краснодар. http://orcid.org/0000-0001-8788-0749 E-mail: guchetl@mail.ru

Contact*: Alena T. Kortieva – e-mail: kat_endo@mail.ru

Alena T. Kortieva – Endoscopy department doctor, Regional Clinical Hospital No 2, Krasnodar. https://orcid.org/0000-0001-7431-4887. E-mail: kat_endo@mail.ru

Vladimir S. Krushelnitskiy – Cand. of Sci. (Med.), endoscopist, First Deputy Chief Physician of Regional Clinical Hospital No 2; Assistant at the Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. https://orcid.org/0000-0001-7862-8613. E-mail: kvs-endo@mail.ru

Sergei A. Gabriel – Doct. of Sci. (Med.), Professor, endoscopist, Chief Physician of Regional Clinical Hospital No 2; Professor of the Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. https://orcid.org/0000-0002-0755-903. E-mail: gabriel-sa@rambler.ru

Viktor Yu. Dynko – Cand. of Sci. (Med.), Head of endoscopy department, endoscopist, Regional Clinical Hospital No 2; Associate Professor, Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. https://orcid.org/0000-0001-5594-5739. E-mail: dynko.viktor@yandex.ru

Aleksandr Ya. Guchetl – Cand. of Sci. (Med.), Head of center for endoscopic diagnostic and treatment methods, Regional Clinical Hospital No 2; Associate Professor, Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. http://orcid.org/0000-0001-8788-0749. E-mail: guchetl@mail.ru

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1378

Лучевые методы исследования в диагностике острого аппендицита (обзор литературы)

© **Катрич А.Н.[1, 2], Польшиков С.В.[1*], Катрич Н.А.[2]**

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

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

Цель исследования: анализ литературы и сравнительная оценка данных об эффективности инструментальных радиологических методов диагностики у пациентов с подозрением на острый аппендицит (ОА).

Материал и методы. Проведен поиск научных публикаций, клинических рекомендаций, отчетов съездов и научных конференций в информационно-аналитических системах PubMed, Google Scholar и ELibrary за 2013–2022 гг. по следующим ключевым словам: acute appendicitis, diagnosis of acute appendicitis, intestinal ultrasound, computed tomography in the diagnosis of acute appendicitis, CT and acute appendicitis, MRI for acute appendicitis, radiodiagnosis of appendicitis, radiodiagnosis of intestinal pathology, диагностика острого аппендицита, УЗИ, КТ, МРТ в диагностике острого аппендицита. Дополнительно проведен анализ списков литературы для обнаружения статей, соответствующих критериям поиска.

Результаты. Были проанализированы 264 статьи, в том числе публикаций научных конференций и съездов, 50 из которых использованы для составления обзора. Из списков литературы дополнительно включено 9 статей за 2020–2022 гг. Результаты поиска – созданы блоки статей, внутри которых были проанализирован материал для изучения поставленных вопросов.

Заключение. Каждый из лучевых методов в диагностике ОА имеет сильные и слабые стороны. Знания этих особенностей, а также оснащенность стационара могут определять выбор метода лучевой диагностики при подозрении на ОА. Анализ литературных данных, посвященных сравнению эффективности лучевых методов и очередности их применения, диктует необходимость продолжения проведения исследований в этом направлении.

Ключевые слова: диагностика аппендицита; лучевая диагностика аппендицита; ультразвуковое исследование; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Катрич А.Н., Польшиков С.В., Катрич Н.А. Лучевые методы исследования в диагностике острого аппендицита (обзор литературы). *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 87–94. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1378

Поступила в редакцию: 27.06.2023. **Принята к печати:** 22.09.2023. **Опубликована online:** 27.12.2023.

Radiation methods in the diagnosis of acute appendicitis (literature review)

© **Aleksey N. Katrich[1,2], Sergey V. Polshikov[1*], Nikita A. Katrich[2]**

[1] Scientific Research Institute – The First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky; 167, 1 Maya str., Krasnodar 350086, Russian Federation

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

Aim. Analysis of the literature and comparative evaluation of data on the effectiveness of instrumental radiological diagnostic methods in patients with suspected acute appendicitis (AA).

Material and methods. A search was made for scientific publications, clinical recommendations, reports of congresses and scientific conferences in the information and analytical systems PubMed, Google Scholar and ELibrary for 2013–2022. by the following keywords: acute appendicitis (AA), diagnosis of acute appendicitis, intes-

tinal ultrasound, computed tomography in the diagnosis of acute appendicitis, CT and acute appendicitis, MRI for acute appendicitis, radiodiagnosis of appendicitis, radiodiagnosis of intestinal pathology, diagnosis of acute appendicitis, ultrasound, CT, MRI in the diagnosis of acute appendicitis. In addition, the literature lists were analyzed to find articles that match the search criteria.

Results. 264 articles were analyzed, including publications of scientific conferences and congresses, 50 of which were used to compile the review. From the lists of references, 9 articles for 2020–2022 were additionally included. Search results – blocks of articles were created, within which the material was analyzed to study the questions posed.

Conclusion. Each of the radiological methods in the diagnosis of AA has strengths and weaknesses. Knowledge of these features, as well as the equipment of the hospital, can determine the choice of the method of radiation diagnostics in case of suspected AA. An analysis of the literature data on the comparison of the effectiveness of ray methods and the sequence of their application dictates the need to continue research in this direction.

Keywords: diagnosis of appendicitis; radiation diagnosis of appendicitis; ultrasound; computed tomography; magnetic resonance imaging

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

For citation: Katrych A.N., Poshikov S.V., Katrich N.A. Radiation methods in the diagnosis of acute appendicitis (literature review). *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 87–94. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1378

Received: 27.06.2023. **Accepted for publication:** 22.09.2023. **Published online:** 27.12.2023.

Введение

Среди пациентов, обращающихся в отделения неотложной хирургии, острый аппендицит (ОА) является самой распространенной патологией [1] с частотой примерно 100 случаев на 100 000 человеко-лет и распространенностью в течение жизни 7–8% среди населения [2]. Несмотря на высокую заболеваемость, диагностический подход к ОА все еще обсуждается: в некоторых руководствах используются системы оценки, в других предлагается только клиническая оценка врачом, а некоторые исследователи эффективно применяют лучевые диагностические методы [3, 4]. Поздняя диагностика ОА связана с высоким риском осложнений и, как следствие, длительностью пребывания пациентов в стационаре. До введения лучевых методов в диагностике ОА частота отрицательных аппендэктомий была выше [5]. Сегодня в клинической практике применяются диагностические шкалы вероятности ОА, основанные на клинических данных, наиболее часто используемые – Альварадо (Alvarado), AIR (Appendicitis Inflammatory Response Score), RIPASA (Raja Isteri Pengiran Anak Saleha Appendicitis) и AAS (Adult Appendicitis Score). Чувствительность и специфичность всех перечисленных шкал обратно пропорциональны [6]. В международных научных статьях, а также в клинических рекомендациях РФ по диагностике и лечению ОА, помимо клинической оценки симптомов по диагностическим шкалам, большое значение уделяется и неинвазивным лучевым методам, позволяющим с высокой долей вероятности диагностировать ОА. Для лучевой неинвазивной диагностики доступны три метода: ультразвуковое исследование, нативная спиральная компьютерная томография (КТ) и модифицированные протоколы КТ, магнитно-резонансная томография (МРТ) с режимом диффузно-взвешенного изображения (DWI – diffusion weighted imaging). Каждый из методов имеет свои сильные и слабые стороны. В нашей работе проводится сравнительный обзор достоинств и недостатков перечисленных лучевых методов, а также оценка их эффективности в диагностике ОА.

Цель исследования: анализ литературы и сравнительная оценка данных об эффективности инструментальных радиологических методов у пациентов с подозрением на ОА.

Материал и методы

Проведен поиск научных публикаций, клинических рекомендаций, отчетов съездов и научных конференций в информационно-аналитических системах PubMed, Google Scholar и ELibrary за 2013–2022 гг. по следующим ключевым словам: acute appendicitis, diagnosis of acute appendicitis, intestinal ultrasound, computed tomography in the diagnosis of acute appendicitis, CT and acute appendicitis, MRI for acute appendicitis, radiodiagnosis of appendicitis, radiodiagnosis of intestinal pathology, диагностика острого аппендицита, УЗИ, КТ, МРТ в диагностике острого аппендицита. Дополнительно проведен анализ списков литературы для обнаружения статей, соответствующих критериям поиска.

Ультразвуковое исследование

Традиционное ультразвуковое исследование (УЗИ) характеризуется высокой доступностью и безопасностью. Поскольку в нескольких европейских исследованиях было продемонстрировано заметное снижение частоты негативных результатов лапаротомии при использовании УЗИ

брюшной полости перед операцией [7], последние рекомендации EFSUMB указывают на применение УЗИ кишечника у каждого пациента с подозрением на аппендицит [4, 8]. Действительно, чувствительность и специфичность УЗИ, выполняемого опытными специалистами, превышает 90%, что эквивалентно КТ или МРТ, при этом метод неинвазивен и не обладает ионизирующим излучением [9]. УЗИ позволяет дифференцировать неосложненный и осложненный аппендицит, что влияет на тактику лечения пациентов [10]. М.Н. Каминский в исследовании 2017 г. [11] описал частоту встречаемости и значимость наиболее частых ультразвуковых признаков в диагностике ОА, которые представлены в табл. 1.

Автор выделяет дополнительные часто встречающиеся признаки ОА: нарушение эхоструктуры стенки (изменение эхогенности, зоны деструкции), локальная болезненность при сканировании ультразвуковым датчиком в проекции аппендикса, увеличение регионарных лимфатических узлов, изменения структуры стенки купола слепой кишки [11].

Согласно данным зарубежных источников, диагностические показатели УЗИ в предоперационной оценке “симптомных” пациентов сильно различаются: чувствительность составляет от 21,0 до 100%, специфичность – от 71,4 до 97,9%, положительное прогностическое значение – от 41,2 до 100% и отрицательное прогностическое значение – от 49 до 100%, частота отрицательных аппендэктомий – от 4,4 до 28,2% [12, 13]. По данным K. Šuta Kimle, УЗИ является подходящим методом визуализации для подтверждения диагноза ОА, но не для его исключения [14]. Большое клиническое значение имеют опыт оператора и использование сочетания методов ультразвуковой диагностики. Так, G. Mostbeck и соавт. указывают, что чувствительность УЗИ выше в учреждениях, применяющих ультразвук для диагностики ОА чаще [15]. В исследовании С.А. Ахматова и соавт. были сопоставлены данные УЗИ с результатами гистологии удаленного аппендикулярного отростка, полученные результаты указывают на наибольшую информативность УЗИ при деструктивных формах аппендицита [16]. Актуальна проблема диагностики атипичных форм ОА. В нескольких исследованиях проанализированы результаты применения УЗИ у пациентов с атипичными лабораторными и клиническими проявлениями ОА. Чувствительность, специфичность, отрицательная прогностическая ценность и точность УЗИ, по данным авторов, составили: 71,4, 78,5, 94,8, 33,3 и 72,5% соответственно. Было установлено, что диагностическая эффективность прямо пропорциональна опыту исследователя (врачи скорой помощи, прошедшие короткий цикл обучения, выявили 33,3% пациентов с ОА, а радиологи, в свою очередь, – 59,2% (p = 0,005), что свидетельствует о довольно высокой операторозависимости метода) [11]. В других исследованиях установлено, что самые высокие показатели чувствительности (97,3%), специфичности (91,0%) УЗИ в диагностике ОА у женщин были достигнуты при сочетании трансабдоминального и трансвагинального исследований, которые выполняются одним опытным опера-

Таблица 1. Чувствительность, специфичность и точность наиболее частых ультразвуковых диагностических признаков ОА [11]
Table 1. Sensitivity, specificity and accuracy of the most common ultrasound diagnostic signs of AA [11]

Признаки Symptoms	Диагностические параметры / Diagnostic parameters		
	чувствительность sensitivity, %	специфичность specificity, %	точность accuracy, %
Диаметр аппендикса ⩾7 мм Appendix diameter ⩾7 mm	82.3	94.7	90.6
Утолщение стенки отростка >2 мм, ригидность стенки Thickening of the appendix wall >2 mm, appendix stiffness	74.3	95.1	87.1
Содержимое аппендикса (взвесь, копролиты) Contents of the appendix (suspension, coprolites)	15.1	98.8	66.6
“Повышение контрастности” стенки; усиление кровотока в стенке и окружающих тканях “Increasing the contrast” of the wall appendix; increased blood flow in the wall	35.5	87.0	42.3
Повышение эхогенности окружающих тканей Increased echogenicity of surrounding tissues	48.7	95.9	77.7
Локальный гидроперитонеум / Local hydroperitoneum	32.2	77.8	60.2

тором (95% ДИ) [17]. Определены факторы, влияющие на возможность ультразвуковой визуализации измененного отростка: ретроцекальное расположение, выраженное мышечное напряжение в области исследования, отсутствие дифференциации слоев стенки при гангренозном ОА, а также индекс массы тела пациента [11]. Для повышения диагностической эффективности УЗИ при ОА О.А. Хамидовым и С.Х. Атаевым была предложена техника дозированной мануальной компрессии правой подвздошной области [13]. В исследовании B.H. Shirah и соавт. [7] было установлено, что чувствительность и специфичность методики поэтапной компрессии правой подвздошной области при выполнении УЗИ опытным оператором у пациентов с подозрением на ОА могут достигать 93 и 100% соответственно. Особое внимание уделяется УЗИ у пациентов с избыточной массой тела. C. Keller и соавт. сообщили, что у людей с избыточной массой тела вероятность визуализации измененного отростка при помощи УЗИ в 5 раз ниже [18], а по данным M.O. Sauvain и соавт., у пациентов с индексом массы тела >25 кг/м^2 сомнительные ультразвуковые признаки ОА встречаются в 7 раз чаще [19].

Компьютерная томография

Высокая диагностическая информативность и точность метода сделали КТ брюшной полости и таза основным методом неинвазивной диагностики у пациентов с подозрением на ОА. К КТ брюшной полости рекомендуется прибегать после оценки общего состояния пациента и определения вероятности ОА, используя прогностические диагностические шкалы [6]. Согласно рекомендациям Американского колледжа радиологии (ACR), КТ с внутривенным усилением рекомендуется в качестве метода первой линии у пациентов с типичными и атипичными проявлениями ОА [20]. Согласно национальным клиническим рекомендациям РФ по диагностике и лечению ОА от 2020 г. со ссылкой на исследования авторов, рутинное использование КТ уменьшает число ненужных аппендэктомий и увеличивает выявляемость заболеваний органов брюшной полости. Основной недостаток КТ – лучевая нагрузка, поэтому необходимо соблюдать баланс соотношения риск/польза, особенно у пациентов молодого возраста и женщин детородного возраста [21]. Зарубежными авторами приведены данные чувствительности, специфичности и диагностической точности стандартного КТ-исследования в диагностике ОА. Данные представлены в табл. 2.

Н.Н. Крылов и А.В. Самохвалов доказали, что нативная КТ позволяет уменьшить частоту “негативных” аппендэктомий с 19 до 12%, при этом у женщин эти цифры оказались более значимыми – с 24 до 5% [27]. В исследовании M. Hwang проводилось сравнение эффективности стандартной КТ и УЗИ в диагностике ОА – получены высокие значения диагностической эффективности томографии (см. табл. 2), автор рекомендует выполнять КТ у пациентов с неубедительными ультразвуковыми признаками ОА [22]. Отдельного внимания заслуживает применение КТ после неинформативного УЗИ. В работе R. Jones и соавт. у пациентов с ОА, имевших отрицательные данные УЗИ, которым была выполнена в течение последующих 48 ч КТ, диагноз ОА был установлен у 17,1% пациентов, 2,9% пациентов нуждались в операции по поводу альтернативного хирургического диагноза [28]. Частота установленных при КТ альтернативных диагнозов у пациентов с неинформативным УЗИ может варьировать от 23,2% [29] до 45,3% [30]. По мнению A. Scott и соавт., КТ-визуализация брюшной полости рекомендована пациентам со средней вероятностью ОА (по AAS/AIR) и отсутствием ультразвуковых признаков аппендицита. При высокой вероятности ОА (по AAS/AIR) у пациентов моложе 40 лет КТ не рекомендована [31]. A.C. Thompson и соавт. указывают на высокую чувствительность и специфичность сочетания КТ-признаков утолщения стенки и отсутствия внутрипросветного воздуха

Таблица 2. Информативность нативного КТ-исследования в диагностике ОА
Table 2. Indicators of the informativeness of native CT examination in the diagnosis of AA

Авторы Authors	Показатели / Options		
	чувствительность sensitivity, %	специфичность specificity, %	точность accuracy, %
M. Hwang [22]	86	94	92
G. Davis, M. Swaminathan [23]	94.65	52.6	100
B. Rud et al.[24]	72–100	50–100	80–94
R. Verma et al. [25]	38	96	86
K. Eng et al. [26]	89.9	93.6	93.6

(92,6 и 82,4% соответственно), которые являются важными предикторами ОА при пограничных размерах отростка [32]. R. Verma и соавт. указывают, что в их исследовании признаки перфорации были диагностированы на дооперационном этапе у 38% пациентов с ОА, при этом специфичность КТ составила 96% [25]. На сегодняшний день активно развивается применение низкодозового и фокусированного протоколов КТ. Эти методики позволяют уменьшить лучевую нагрузку на пациента без ущерба для диагностической эффективности метода. В табл. 3 представлены значения чувствительности, специфичности и точности модифицированных протоколов КТ (низкодозовое и фокусированное КТ-исследования).

В исследовании, проведенном B. Rud и соавт., установлено, что вероятность наличия аппендицита после отрицательного результата КТ составляет не более 4%, а суммарная чувствительность и специфичность не отличались между низкодозовым и стандартным КТ-исследованием брюшной полости [24]. По мнению M. Tarulli и соавт., методика фокусированной КТ с внутривенным и пероральным контрастированием при подозрении на ОА позволяет визуализировать отросток в 95% случаев [33]. По данным некоторых авторов, модифицированные протоколы КТ даже более специфичны в сравнении с МРТ для осложненных форм ОА [34], в том числе и для детей с подозрением на ОА [35]. Еще одним важным преимуществом КТ является высокая информативность в диагностике новообразований аппендикса. Асимметрия стенки и увеличение диаметра отростка более 15 мм с высокой точностью позволяют диагностировать новообразование аппендикса [37].

МРТ брюшной полости и таза

Согласно литературным данным, МРТ при подозрении на ОА рекомендуется как основной метод исследования у беременных женщин с болью в правой подвздошной области при сомнительных или отрицательных данных УЗИ, а также в качестве уточняющего диагностического метода у детей [6, 35]. В исследованиях J. Church и соавт., J. Martin и соавт. при сравнении диагностической точности КТ и МРТ у пациентов с подозрением на ОА было установлено, что МРТ имеет бóльшую чувствительность – 86,7–90%, но меньшую специфичность – 74–97,1% (для КТ показатели представлены в табл. 3) [34, 35]. МРТ-технология DWI получила широкое применение при исследовании брюшной полости благодаря эхопланарной визуализации, которая ускоряет получение изображений и уменьшает артефакты. Добавление этой последовательности, по некоторым данным, позволяет добиться 100% специфичности [38]. Метаанализ 11 исследований в педиатрии показал, что МРТ улучшает точность диагностики ОА у детей, сокращает время до аппендэктомии и помогает в дифференциальной диагностике [26, 39]. В ретроспективном исследовании I. Petkovska и соавт. (2016) с участием 403 пациентов в возрасте от 3 до 49 лет было установлено, что количество как ургентных, так и не ургентных альтернативных диагнозов, выявленных с помощью МРТ, может достигать 83% [40]. Ограничением применения метода в детской практике являются: боязнь замкнутого пространства, невозможность длительного неподвижного положения пациента и шума, создаваемого МР-томографом, хотя эти проблемы в некоторых случаях могут быть решены с помощью седативных средств или психосоматических методик [38]. Активно разрабатываются и так называемые короткие протоколы исследования. Д.С. Калимуллина и соавт. предложили использовать МРТ-протоколы длительностью от 8 до 12 мин, которые позволяют визуализировать неизмененный червеобразный отросток, установить причину болевого синдрома и провести дифференциальную диагностику с другими заболеваниями в 20% наблюдений. По мнению авторов, оптимальными для визуализации являются режимы Т2ВИ с по-

Таблица 3. Информативность модифицированных протоколов КТ в диагностике ОА
Table 3. Indicators of information content of modified CT protocols in the diagnosis of AA

Авторы Authors	Показатели / Options		
	чувствительность sensitivity, %	специфичность specificity, %	точность accuracy, %
B. Rud et al. [24]	95	93–95	*
M. Tarulli et al. [33]	95	85–94	92
J. Church et al. [34]	68,4	92,4	*
J. Martin et al. [35]	88	98,6	*
S. Sippola et al. [36]	89	96	79

* – данные не предоставлены / data not provided.

давлением сигнала от жировой клетчатки и DWI. Чувствительность этой технологии МРТ составила 100%, специфичность – 90%, точность – 97,8% [40].

Заключение

Каждый из методов лучевой диагностики имеет свои сильные и слабые стороны. Знания этих особенностей, клиническая ситуация, а также уровень оснащенности стационара будут определять выбор метода лучевой диагностики. По данным ряда авторов, доступность КТ и МРТ связана с уровнем экономического развития страны [6], пациенты из стран с низким уровнем дохода не всегда имеют доступ к этим технологиям [42]. Внутри различных стран также существуют разногласия по поводу очередности и последовательности применения методов визуализации в диагностике ОА. Считается, что это связано с рядом факторов: долей особых групп населения в стране или регионе (пациенты старшего возраста, пациенты с ожирением, дети, беременные женщины), материально-техническим оснащением клиник, а также с наличием специалистов-радиологов в штате медицинских учреждений [43]. В хирургических стационарах экстренной службы Российской Федерации УЗИ часто используют только для поиска смежных патологий и выявления наличия жидкости в брюшной полости, как косвенного признака ОА [11]. КТ и МРТ в диагностике ОА применяют также достаточно редко. Причиной этого являются низкая доступность КТ/МРТ, малый охват исследованиями в популяции. Помимо недостаточного количества сканеров (13 на 1 млн населения в России против 42 в США [43]), остается низким и уровень эффективности использования имеющихся аппаратов. В России интенсивность использования этого вида оборудования в 1,5 раза меньше, чем средний показатель по странам Евросоюза (4300 в РФ против 6200 сканирований на каждый аппарат в Европе) [44].

Согласно проведенному нами анализу литературных данных, УЗИ брюшной полости при ОА рекомендован как инструментальный метод первой линии у “симптомных” пациентов ввиду высокой доступности, безвредности и относительно низкой стоимости. Применение его необходимо и достаточно у пациентов низкого риска ОА для исключения с высокой степенью достоверности диагноза ОА [6, 45]. Следует отметить, что большое влияние на результат оказывают опыт оператора, применение комбинации различных приемов УЗИ, а также индекс массы тела исследуемого. Данные отечественных и зарубежных авторов указывают на более высокую диагностическую эффективность КТ в сравнении с УЗИ. Это делает КТ основным неинвазивным методом лучевой диагностики у пациентов с подозрением на ОА (исключение составляют лица моложе 40 лет с высокой вероятностью ОА и беременные женщины). Огромную значимость как перспективной технологии визуализации в диагностике ОА имеют фокусированные и низкодозовые протоколы КТ, которые сопоставимы по информативности со стандартным КТ-исследованием, но имеют преимущества в снижении лучевой нагрузки, уменьшении времени и затратности исследования. Очевидно, что необходимо их активное внедрение в ежедневную клиническую практику, что нашло свое отражение в Национальных клинических рекомендациях РФ по диагностики и лечению ОА от 2020 г. [6]. Наиболее высокую чувствительность в диагностике ОА имеет МРТ с использованием режимов T2ВИ с подавлением сигнала от жировой клетчатки и DWI. Эти технологии МРТ-визуализации применимы у детей и беременных женщин, а также у пациентов, которым противопоказана КТ с контрастированием. В свою очередь, МРТ имеет ограничения в использовании у пациентов с выраженным болевым синдромом и боязнью замкнутых пространств, метод малодоступен и экономически затратен. Отсутствие крупных рандомизированных исследований и метаанализов посвященных сравнению эффективности лучевых методов и очередности их применения, диктует необходимость продолжения проведения исследований в этом направлении.

Участие авторов

Польшиков С.В. – поиск материала и анализ литературы, написание текста, создание опубликованной работы.

Катрич Н.А. – подготовка и редактирование текста.

Катрич А.Н. – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Author contributions

Pol’shkov S.V. – search for material and analysis of literature, writing a text, creating a published work.

Katrich N.A. – preparation and editing of the text.

Katrich A.N. – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Список литературы [References]

1. Ревишвили А.Ш., Федоров А.В., Сажин В.П., Оловянный В.Е. Состояние экстренной хирургической помощи в Российской Федерации. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2019; 3 (1): 88–97. http://doi.org/10.17116/hirurgia201903188
Revishvili A.Sh., Fedorov A.V., Sazhin V.P., Olovyannyi V.E.. Emergency surgery in the Russian Federation. *Pirogov*

Russian Journal of Surgery. 2019; 3 (1): 88–97. http://doi.org/10.17116/hirurgia201903188 (In Russian)
2. Bhangu A. RIFT Study Group on behalf of the West Midlands Research Collaborative. Evaluation of appendicitis risk prediction models in adults with suspected appendicitis. *Br. J. Surg.* 2020; 107 (1): 73–86. http://doi.org/10.1002/bjs.11440
3. Bom W., Scheijmans J., Salminen P. et al. Diagnosis of Uncomplicated and Complicated Appendicitis in Adults. *Scand. J. Surg.* 2021; 110 (2): 170–179. http://doi.org/10.1177/14574969211008330
4. Podda M., Pisanu A., Sartelli M. et al. Diagnosis of acute appendicitis based on clinical scores: is it a myth or reality? *Acta Biomed.* 2021; 92 (4): e2021231. http://doi.org/10.23750/abm.v92i4.11666
5. Sagaran D., Sagaran K. Role of clinical scoring system and imaging in acute appendicitis in adults: a review of literature Nicqeshen Nair. *Med. J. Malaysia.* Artigo em Inglês | WPRIM (Pacífico Ocidental) | ID: wpr-829510 Biblioteca responsável: WPRO. 2020; 316–321.
6. Di Saverio S., Podda M., De Simone B. et al. Diagnosis and treatment of acute appendicitis: 2020 update of the WSES Jerusalem guidelines. *Wld J. Emerg. Surg.* 2020; 15: 27. http://doi.org/10.1186/s13017-020-00306-3
7. Shirah B., Shirah H., Al Haidari W. et al. The role of preoperative graded compression ultrasound in detecting acute appendicitis and influencing the negative appendectomy rate. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2017; 42 (1): 109–114. http://doi.org/10.1007/s00261-016-0862-0
8. Dirks K., Calabrese E., Dietrich C. et al. EFSUMB Position Paper: Recommendations for Gastrointestinal Ultrasound (GIUS) in Acute Appendicitis and Diverticulitis. *Ultraschall Med*. 2019; 40 (2): 163–175. http://doi.org/10.1055/a-0824-6952
9. Zhang H., Liao M., Chen J. et al. Ultrasound, computed tomography or magnetic resonance imaging – which is preferred for acute appendicitis in children? A Meta-analysis. *Pediatr. Radiol*. 2017; 47 (2): 186–196. http://doi.org/10.1007/s00247-016-3727-3
10. Carpenter J., Orth R., Zhang W. et al. Diagnostic Performance of US for Differentiating Perforated from Nonperforated Pediatric Appendicitis: A Prospective Cohort Study. *Radiology*. 2017; 282 (3): 835–841. http://doi.org/10.1148/radiol.2016160175
11. Каминский М.Н. Деструктивный острый аппендицит: оценка эффективности ультразвуковой диагностики в рамках одного центра. *Тихоокеанский медицинский журнал.* 2017; 2: 70–73. http://doi.org/10.17238/PmJ1609-1175.2017.2.70-73
Kaminsky M.N. Destructive acute appendicitis: the assessment of ultrasound diagnostics effectiveness within the framework of a centre. *Pacific Medical Journal.* 2017; 2: 70–73. http://doi.org/10.17238/PmJ1609-1175.2017.2.70-73 (In Russian)
12. Lourenco P., Brown J., Leipsic J. et al. The current utility of ultrasound in the diagnosis of acute appendicitis. *Clin. Imaging*. 2016; 40 (5): 944–948. http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2016.03.012
13. Хамидов О.А., Атаева С.Х. Аудит ультразвукового исследования для диагностики острого аппендицита (ретроспективное исследование). *Uzbek Journal of Case Reports. Радиология*. 2022; 2 (1): 41–45. http://doi.org/10.55620/ujcr.2.1.2022.8
Khamidov O.A., Ataeva S.X. Audit of ultrasound examination for the diagnosis of acute appendicitis (retrospective study). *Uzbek Journal of Case Reports. Radiology*. 2022; 2 (1): 41–45. http://doi.org/10.55620/ujcr.2.1.2022.8 (In Russian)
14. Šuta Kimle K., Chrz K., Ulrych J. et al. Congruence of histological diagnosis with imaging and operation diagnosis in acute appendicitis. *Rozhl. Chir.* 2019; 98 (11): 457–461. http://doi.org/10.33699/PIS.2019.98.11.457-461
15. Mostbeck G., Adam E., Nielsen M. et al. How to diagnose acute appendicitis: ultrasound first. *Insights Imaging*. 2016; 7 (2): 255–263. http://doi.org/10.1007/s13244-016-0469-6
16. Ахматов С.А., Касымов А.А., Максут У.Э. Информативность ультразвукового исследования в диагностике острого аппендицита. *Вестник КРСУ*. 2022; 22 (1). http://doi.org/10.36979/1694-500X-2022-22-1-14-18
Akhmatov S.A., Kasymov A.A., Maksut U.E. Informative value of ultrasound in the diagnosis of acute appendicitis. *Bulletin of the KRSU*. 2022; 22 (1). http://doi.org/10.36979/1694-500X-2022-22-1-14-18 (In Russian)
17. D'Souza N., D'Souza C., Grant D. et al. The value of ultrasonography in the diagnosis of appendicitis. *Int. J. Surg*. 2015; 13: 165–169. http://doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.11.039
18. Keller C., Wang N., Imler D. et al. Predictors of Nondiagnostic Ultrasound for Appendicitis. *J. Emerg. Med.* 2017; 52 (3): 318–323. http://doi.org/10.1016/j.jemermed.2016.07.101
19. Sauvain M., Tschirky S., Patak M. et al. Acute appendicitis in overweight patients: the role of preoperative imaging. *Patient Saf. Surg*. 2016; 17 (10): 13. http://doi.org/10.1186/s13037-016-0102-0
20. Garcia E., Camacho M., Karolyi D. et al. ACR Appropriateness Criteria® Right Lower Quadrant Pain-Suspected Appendicitis. *J. Am. Coll. Radiol.* 2018; 15 (11S): 373–387. http://doi.org/10.1016/j.jacr.2018.09.033
21. Andersson M., Kolodziej B., Andersson R.; STRAPPSCORE Study Group. Randomized clinical trial of Appendicitis Inflammatory Response score-based management of patients with suspected appendicitis. *Br. J. Surg*. 2017; 104 (11): 1451–1461. http://doi.org/10.1002/bjs.10637
22. Hwang M. Sonography and Computed Tomography in Diagnosing Acute Appendicitis. *Radiol. Technol*. 2018; 89 (3): 224–237. PMID: 29298941
23. Davis G., Swaminathan M. Acute appendicitis – new diagnostic algorithm using RIPASA score and non-contrast Computeed Tomography Scan. *J. Pak. Med. Assoc*. 2019; 6 (1): 12–16. PMID: 30697011
24. Rud B., Vejborg T., Rappeport E. et al. Computed tomography for diagnosis of acute appendicitis in adults. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019; 19 (11): CD009977. http://doi.org/10.1002/14651858.CD009977.pub2
25. Verma R., Grechushkin V., Carter D. et al. Use and accuracy of computed tomography scan in diagnosing perforated appendicitis. *Am. Surg.* 2015; 81 (4): 404–407. PMID: 25831188
26. Eng K., Abadeh A., Ligocki C. et al. Acute Appendicitis: A Meta-Analysis of the Diagnostic Accuracy of US, CT, and MRI as Second-Line Imaging Tests after an Initial US. *Radiology*. 2018; 288 (3): 717–727. http://doi.org/10.1148/radiol.2018180318
27. Крылов Н.Н., Самохвалов А.В. Ультразвуковое исследование и компьютерная томография в диагностике острого аппендицита. *Врач*. 2016; 12: 39–41.
Krylov N.N, Samokhvalov A.V. Ultrasound examination and computed tomography in the diagnosis of acute appendicitis. *Doctor*. 2016; 12: 39–41 (In Russian)

28. Jones R., Jeffrey R., Shah B. et al. Journal Club: the Alvarado score as a method for reducing the number of CT studies when appendiceal ultrasound fails to visualize the appendix in adults. *Am. J. Roentgenol*. 2015; 204 (3): 519–526. http://doi.org/10.2214/AJR.14.12864
29. O'Malley M., Alharbi F., Chawla T. et al. CT following US for possible appendicitis: anatomic coverage. *Eur. Radiol*. 2016; 26 (2): 532–538. http://doi.org/10.1007/s00330-015-3778-0
30. Barksdale A.N., Hackman J.L., Gaddis M. et. al. Diagnosis and disposition are changed when board-certified emergency physicians use CT for non-traumatic abdominal pain. *Am. J. Emerg. Med.* 2015; 33 (11): 1646–1650. http://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.07.082
31. Scott A., Mason S., Arunakirinathan M. et al. Risk stratification by the Appendicitis Inflammatory Response score to guide decision-making in patients with suspected appendicitis. *Br. J. Surg*. 2015; 102 (5): 563–572. http://doi.org/10.1002/bjs.9773
32. Thompson A., Olcott E., Poullos P. et. al. Predictors of appendicitis on computed tomography among cases with borderline appendix size. *Emerg. Radiol*. 2015; 22 (4): 385–394. http://doi.org/10.1007/s10140-015-1297-6
33. Tarulli M., Rezende-Neto J., Vlachou P. Focused CT for the evaluation of suspected appendicitis. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2019; 44 (6): 2081–2088. http://doi.org/10.1007/s00261-019-01942-3
34. Church J., Coughlin M., Antunez A. et al. Creating diagnostic criteria for perforated appendicitis using cross-sectional imaging. *Pediatr. Surg. Int.* 2017; 33 (9): 1007–1012. http://doi.org/10.1007/s00383-017-4121-4
35. Martin J., Mathison D., Mullan P. et al. Secondary imaging for suspected appendicitis after equivocal ultrasound: time to disposition of MRI compared to CT. *Emerg. Radiol.* 2018; 25 (2): 161–168. http://doi.org/10.1007/s10140-017-1570-y
36. Sippola S., Virtanen J., Tammilehto V. et. al. The Accuracy of Low-dose Computed Tomography Protocol in Patients With Suspected Acute Appendicitis: The OPTICAP Study. *Ann. Surg*. 2020; 271 (2): 332–338. http://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000297
37. Hatch Q., Gilbert E. Appendiceal Neoplasms. *Clin. Colon. Rectal. Surg*. 2018; 31 (5): 278–287. http://doi.org/10.1055/s-0038-1642051
38. Duke E., Kalb B., Arif-Tiwari H. et. al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Diagnostic Performance of MRI for Evaluation of Acute Appendicitis. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 206 (3): 508–517. http://doi.org/10.2214/AJR.15.14544
39. Covelli J., Madireddi S., May L. et al. MRI for Pediatric Appendicitis in an Adult-Focused General Hospital: A Clinical Effectiveness Study-Challenges and Lessons Learned. *Am. J. Roentgenol*. 2019; 212: 180–187. http://doi.org/10.2214/AJR.18.19825
40. Petkovska I., Martin D., Covington M. et al. Accuracy of Unenhanced MR Imaging in the Detection of Acute Appendicitis: Single-Institution Clinical Performance Review. *Radiology*. 2016; 279 (2): 451–460. http://doi.org/10.1148/radiol.2015150468
41. Калимуллина Д.С., Егорова Е.А., Лежнев Д.А., Бажин А.В., Меркушева М.М. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике острого аппендицита у беременных в условиях многопрофильного стационара. *Хирургия. Журнал имени Н.И. Пирогова*. 2019; 7: 45–51. https://doi.org/10.17116/hirurgia201907145
Kalimullina D.S., Egorova E.A., Lezhnev D.A. et al. Possibilities of magnetic resonance imaging in the diagnosis of acute appendicitis in pregnant women in a multidisciplinary hospital. *Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zhurnal imeni N.I. Pirogova*. 2019; 7: 45–51. https://doi.org/10.17116/hirurgia201907145 (In Russian)
42. Teng T., Thong X., Lau K. et al. Acute appendicitis-advances and controversies. *Wld J. Gastrointest. Surg*. 2021; 27; 13 (11): 1293–1314. http://doi.org/10.4240/wjgs.v13.i11.1293
43. Debnath J., George R., Ravikumar R. Imaging in acute appendicitis: What, when, and why? *Med. J. Armed. Forces India*. 2017; 73: 74–79. http://doi.org/10.1016/j.mjafi.2016.02.005
44. Добровольский Т., Шубина Д., Малороев А. Луч без права передачи: почему 20-миллиардный рынок МРТ- и КТ-диагностики останавливается в развитии. *Vademecum.* 2019; 3.
Dobrovolsky T., Shubina D., Maloroev A. Beam without the right of transfer: why the 20 billion market of MRI and CT diagnostics stops in development. *Vademecum*. 2019; 3. (In Russian)
45. Altomare M., Cimbanassi S., Chiara O. et. al. Acute appendicitis. Update of clinical scores. *Ann. Ital. Chir*. 2019; 90: 231–237. PMID: 31354149

Для корреспонденции*: Польшиков Сергей Владимирович – e-mail: sergey.polshikov@mail.ru

Катрич Алексей Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделением ультразвуковой диагностики ГБУЗ "НИИ – ККБ №1 им. проф. С.В. Очаповского" Минздрава Краснодарского края; доцент кафедры хирургии № 1 ФГБОУ ВО "Кубанский государственный медицинский университет" Минздрава России, Краснодар. https://orcid.org/0000-0003-1508-203X

Польшиков Сергей Владимирович – врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой диагностики ГБУЗ "НИИ – ККБ №1 им. проф. С.В. Очаповского" Минздрава Краснодарского края, Краснодар. http://orcid.org/0000-0002-6291-9026

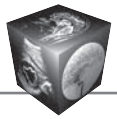
Катрич Никита Алексеевич – ординатор кафедры хирургии №3 ФГБОУ ВО "Кубанский государственный медицинский университет" Минздрава России, Краснодар. http://orcid.org/0000-0002-3189-1606

Contact*: Sergey V.Polshnikov – e-mail: sergey.polshikov@mail.ru

Aleksey N. Katrich – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Ultrasound Diagnostics Department, Scientific Research Institute – The First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky; Associate Professor of Surgery Department № 1, Kuban State Medical University, Krasnodar. https://orcid.org/0000-0003-1508-203X

Sergey V. Polshikov – Diagnostic Medical Sonographer, Ultrasound Diagnostics Department, Scientific Research Institute – the First Regional Clinical Hospital named after S.V. Ochapovsky, Krasnodar. http://orcid.org/0000-0002-6291-9026

Nikita A. Katrich – Resident of the Department of Surgery No. 3, Kuban State Medical University, Krasnodar. http://orcid.org/0000-0002-3189-1606



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1408

Показания, ограничения и возможности применения методов лучевой диагностики у беременных женщин

© **Павловская Е.А.[1]*, Багненко С.С.[1, 3], Буровик И.А.[1,2], Бусько Е.А.[1, 2], Тятьков С.А.[1], Гришко П.Ю.[1], Берлев И.В.[1, 4]**

[1] ФГБУ " Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет" Минздрава России; 199034 Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9, Российская Федерация

[3] ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет" Минздрава России; 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

[4] ФГБОУ ВО "Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова" Минздрава России; 191015 Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41, Российская Федерация

В обзоре представлены современные данные о безопасности различных методов лучевой диагностики. Основное внимание было сфокусировано на особенностях проведения диагностических исследований беременным женщинам как наиболее уязвимой категории пациентов. Проведен поиск научных статей в информационно-аналитических системах PubMed и Google Scholar за 2003–2023 гг. Большой временной интервал обусловлен тем, что информация о долгосрочных эффектах проведенных диагностических процедур могла быть опубликована в течение длительного времени. Использованные ключевые слова включали: MR-safety, pregnancy, safety during pregnancy, gadolinium, iodinanted contast media, cancer in pregnancy, CT, MRI, US, scintigraphy. Список литературы, включавший сочетания ключевых слов, превышал 2000 источников. Было проанализировано более 100 источников, как иностранных, так и зарубежных, преимущественно рекомендаций, основанных на проведенных исследованиях, а также статей с результатами крупных рандомизированных исследований побочных воздействий лучевых методов обследования на беременную женщину и плод, из которых 63 источника были использованы для составления обзора. Критериями отбора статей являлись: для регламентирующих документов – последняя версия, для клинических исследований – адекватная выборка, отчетливые критерии оценки возможных эффектов и наличие группы сравнения; в случае популяционных исследований – большая выборка и длительный период наблюдения. Проанализированы вопросы безопасности и реальных последствий применения ультразвуковой диагностики, магнитно-резонансной томографии, рентгеновских исследований (в том числе компьютерной томографии), изотопных методов (сцинтиграфии и позитронно-эмиссионной томографии). Изучены существующие методический подходы, направленные на снижение потенциального риска. Представленная информация позволит адекватно оценивать риски методов визуализации и поможет уменьшить обеспокоенность как медицинского персонала, так и пациенток.

Ключевые слова: лучевая диагностика; беременные; безопасность; УЗИ; МРТ; КТ; ионизирующее излучение; сцинтиграфия; ПЭТ; тератогенное воздействие

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Павловская Е.А., Багненко С.С., Буровик И.А., Бусько Е.А., Тятьков С.А., Гришко П.Ю., Берлев И.В. Показания, ограничения и возможности применения методов лучевой диагностики у беременных женщин. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 95–107. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1408

Поступила в редакцию: 26.09.2023. **Принята к печати:** 23.12.2023. **Опубликована online:** 11.04.2024.

Medical visualization in pregnancy: indications, limitations and prospects

© **Evgenia A. Pavlovskaya[1]*, Sergey S. Bagnenko[1,3], Ilya A. Burovik[1, 2], Ekaterina A. Busko[1, 2], Stanislav A. Tiatkov[1], Pavel Yu. Grishko[1], Igor V. Berlev[1, 4]**

[1] N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68, Leningradskaya str., Pesochny, St. Petersburg 197758, Russian Federation

[2] SaintPetersburg University; 7/9, University quay, St. Petersburg 199034, Russian Federation

[3] St. Petersburg State Pediatric Medical University; 2 lit. A, Litovskaya str., St. Petersburg 194100, Russian Federation

[4] I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University; 41, Kirochnaya str., St. Petersburg 191015, Russian Federation

The present paper reports available modern data about the safety of medical visualization, including US, MRI, CT, PET and scintigraphy. In all accessed papers, objects are pregnant women and fetuses – the most vulnerable of all groups of patients. We summarize data concerning exposure to radiodiagnostic procedures during pregnancy and approaches to diminish the potential risk. We analyzed articles published between 2003 and 2023 using PubMed and Google Scholar. Keywords included: MR-safety, pregnancy, CT, MRI, US, scintigraphy. The list of found articles consisted of more the 2000 items. We analyzed more than 100 articles in Russian and English and included 63 items in the current review. Primarily we dealt with clinical guidelines based on randomized trials on the safety of radiological methods during pregnancy. Hopefully, presented information, including the latest international recommendations, will help clinicians and patients pursue realistic and informed approaches and minimize anxiety.

Keywords: medical imaging; pregnancy; safety; US; MRI; computer tomography; ionization; scintigraphy; PET; teratogenic effect

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

For citation: Pavlovskaya E.A., Bagnenko S.S., Burovick I.A., Busko E.A., Tiatkov S.A., Grishko P.U., Berlev I.V. Medical visualization in pregnancy: indications, limitations and prospects. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 95–107. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1408

Received: 26.09.2023. **Accepted for publication:** 23.12.2023. **Published online:** 11.04.2024.

Актуальность проблемы

С момента открытия рентгеновских лучей безопасность лучевых методов исследования всегда вызывала закономерные опасения. Однако к настоящему времени накоплено достаточно данных, как в результате целенаправленных исследований, так и на основании наблюдений за здоровьем людей, пострадавших в результате ядерных катастроф, дающих хорошее представление о границах безопасных доз ионизирующего излучения для пациентов. При этом в стороне всегда остаются наиболее уязвимые категории – дети и беременные женщины. Общепринятым подходом является всячески оберегать беременных женщин от дополнительных факторов возможного вредного воздействия. Однако в клинической практике достаточно часто встречаются ситуации, требующие постановки точного диагноза и своевременного лечения. К таким ситуациям можно отнести тромбоэмболию легочных артерий, нередкое осложнение беременности, синдром острого живота, тупую травму живота. Немаловажным является своевременное подтверждение при подозрении на онкологическое заболевание и его стадирование. Кроме того, важной является роль магнитно-резонансной томографии (МРТ) в своевременном выявлении пороков плода, в особенности пороков развития центральной нервной системы, в случаях, когда ультразвукового исследования (УЗИ) может быть недостаточно [1].

Онкологическая патология, ассоциированная с беременностью,– возникшая в течение беременности или в первый год после нее, встречается нередко. Так, по данным руководства, опубликованного по результатам Третьего международного консенсуса по вопросам онкологии при беременности, частота этих состояний оценивается как 70–140 случаев на 100 000 беременностей. Непосредственно во время беременности онкологические заболевания выявляются в 17–25 случаях на 100 000 [2]. Наиболее частыми гистотипами являются меланома, рак молочной железы

и рак шейки матки [3]. За последние 20 лет изменилась тактика ведения беременных с онкологическими заболеваниями с тенденцией к максимальному пролонгированию беременности и проведению химиотерапии без ее прерывания, что делает точную диагностику и стадирование критически важными [4].

В таких случаях принято руководствоваться универсальным принципом “применение метода диагностики возможно, если польза от вмешательства превышает вред”. Современные представления о последствиях применения методов лучевой диагностики необходимы врачу не только для выбора оптимального, максимально информативного и при этом наиболее безопасного метода медицинской визуализации, но и для реалистичного информирования пациентки и снижения ее тревожности.

Методы лучевой диагностики развиваются с большой скоростью, появляются все новые возможности для определения диагноза, в то же время накапливаются данные об отсроченных эффектах исследования или их отсутствии, что делает актуальным научный поиск в этой области.

Ультразвуковая диагностика

Ультразвуковая диагностика – общепринятый стандарт безопасного обследования беременных женщин, применяемый как в рамках скрининга патологии плода и беременности, так и в случае возникновения сопутствующей патологии, в том числе онкологической (рис. 1).

Безопасность применения этого метода не вызывает сомнений [5, 6]. В то же время в связи с опасениями относительно воздействия и депонирования высоких энергий при допплерометрии с возможным нагревом тканей плода и механическим воздействием (кавитацией) были введены стандарты мощности выводного сигнала ультразвукового датчика, которых придерживаются производители аппаратуры [7]. В настоящее время именно ультразвуковая диагностика является первым методом обследования беременных женщин при наличии сопутствующей патологии молочных желез, органов брюшной полости, а также сосудов.

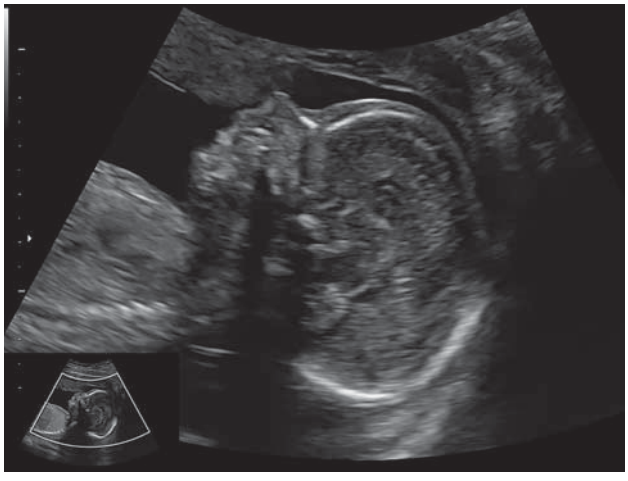


Рис. 1. Ультразвуковое исследование. Пациентка Н., 28 лет, беременность 20 нед. Плановое обследование.

Fig. 1. US. Patient N. 28 y.o. 20 weeks of gestation. Screening.

Новые возможности в ультразвуковой диагностике появились с применением контрастирования. Препарат для ультразвукового контрастирования представляет собой микропузырьки газа (например, гексофторида серы), окруженные слоем фосфолипидов. Эти пузырьки не проникают в ткани и контрастируют сосуды самого мелкого калибра. Приблизительно через 15–20 мин пузырьки разрушаются и газ выходит с выдыхаемым воздухом, а липидная оболочка утилизируется в печени. Были проведены крупные исследования побочных эффектов этих препаратов, продемонстрировавшие крайне редкие осложнения. В частности, при введении 78 000 доз гексафторида серы наблюдалось только 8 случаев тяжелых реакций (из них только 4 анафилактические), смертельных исходов не было [8]. По данным других авторов, отмечалось 29 случаев побочных явлений (из 23 188 обследованных человек), только два из которых классифицировались как тяжелые [9]. Кроме того, по результатам небольших выборок обследованных с помощью контрастного УЗИ беременных женщин данных о вреде плоду получено не было, однако ввиду отсутствия достаточного количества информации и опыта EFSUMB (Европейская федерация ассоциаций по ультразвуку в медицине и биологии) пока не рекомендует контрастирование при УЗИ у беременных женщин [10, 11].

Безопасность магнитно-резонансной томографии

В настоящее время применение МРТ на сканерах с напряженностью магнитного поля 1,5 и 3 Тл в период беременности считается безопасным, в особенности во II и III триместрах [11] (рис. 2).

Ранее высказывались опасения о проведении МРТ в I триместре беременности, связанные с нагреванием чувствительных тканей в радиочастотном поле, а также возможным повреждением слухового аппарата плода из-за громких звуков [11, 12], в дальнейшем одна из этих работ была отозвана. Эти опасения инициировали целый ряд

Рис. 2. МРТ. Пациентка А., 33 года, беременность 19–20 нед. Рак шейки матки T1b3N0. T2ВИ в сагиттальной плоскости. Тонкой стрелкой обозначена опухоль, широкой стрелкой – плод.

Fig. 2. MRI. Patient A. 33 years. 19–20 of gestation, cancer of coli uteri T1b3N0. T2WI in sagittal plane. Tumor is marked with an thin arrow, wide arrow – fetus.

научных исследований [13, 14], наиболее крупное из которых было проведено в Канаде и опубликовано в 2016 г. [15]. Научная работа проводилась на большой выборке архивных данных провинции Онтарио за период 2003–2015 гг. В этом популяционном когортном исследовании были проанализирована информация по всем родам на сроке более 20 нед беременности (n = 1 424 105). Полученные данные легли в основу последнего (2017 г.) пересмотра рекомендаций Американского колледжа акушеров и гинекологов (ACOG) по лучевой диагностике во время беременности и лактации. В работе J.G. Ray и соавт. [15] оценивались такие параметры, как риск проведения МРТ в I триместре беременности и применение контрастирования препаратами гадолиния на любом сроке беременности. Оценка влияния указанных факторов проводилась по данным о здоровье детей от рождения до 4-летнего возраста. При сравнении исходов беременности у группы женщин, проходивших МРТ-исследование в I триместре беременности (1,737), и контрольной группы женщин, которым не выполнялось МРТ (n = 1,418,451), определялся низкий относительный риск мертворождений (RR 1,68; 95% CI 0,97–2,90). Различий по частоте врожденных аномалий, новообразований или потери зрения или слуха выявлено не было [15].

Относительно нагрева тканей сохраняются прежние рекомендация FDA (Food and Drug association) и Международной электротехнической комиссии (IEC) о необходимости учета поглощенной энергии при МР-сканировании. Удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии (specific absorption rate – SAR) – это показатель, определяющий энергию электромагнитного поля, поглощаемую тканями тела человека за одну секунду. При превышении этого показателя более 4 ватт на килограмм (Вт/кг) в течение 30 мин происходит нагревание тканей на 0,6 °С. При этом следует иметь в виду, что в экспериментах на животных негативное воздействие на плод было продемонстрировано при нагревании тела беременного животного не менее чем на 2–2,5° (на протяжении более 30–60 мин). Следует также иметь в виду тот факт, что нагрев более глубоко расположенных тканей происходит в меньшей степени, чем поверхностных. Однако в качестве перестраховки Международная электротехническая комиссия рекомендует установить максимальный SAR для сканирования беременных на уровне 2 Вт/кг [16]. При выборе между сканером с напряженностью магнитного поля 1,5 и 3 Тл следует помнить, что с увеличением напряженности магнитного поля вдвое SAR увеличивается вчетверо при одних и тех же настройках импульсных последовательностей [17]. К факторам, повышающим SAR при сканировании, относятся: высокие показатели угла отклонения (flip angle), повышение мощности радиочастотных импульсов, уменьшение толщины среза и снижение времени повторения (TR) [17, 18]. Таким образом, при соблюдении параметров сканирования в границах SAR до 4 Вт/кг (оптимально до 2 Вт/кг) можно не опасаться нанести вред плоду.

Контрастный препарат на основе гадолиния

В небольшом проценте случаев при проведении МРТ-сканирования у беременных женщин есть необходимость введения контрастного препарата для получения дополнительной информации. Препараты на основе гадолиния хорошо переносятся: частота анафилактических аллергических реакций на них не превышает 0,01% [19–21]. Наименее аллергенными являются неионные линейные контрастные препараты (например, гадодиамид) [22, 23].

Гадолинийсодержащие контрастные препараты одобрены к использованию при МРТ еще в 1988 г. и за десятилетия их применения накопилось достаточно данных об их побочных эффектах. В частности, в 2006 г. была описана связь между развитием нефрогенного системного фиброза и введением гадолиния (преимущественно у лиц с выраженным нарушением функции почек) [24]. Кроме того, вызывают обеспокоенность новые данные о накоплении гадолиния в зубчатых ядрах мозжечка. Несмотря на то что по данным проведенных наблюдений клинических проявлений этого явления отмечено не было, эта проблема нуждается в дальнейшем изучении [25].

В настоящее время не выявлено побочных эффектов стандартных доз контрастных препаратов на основе гадолиния на плод человека [26]. В единичном когортном исследовании, включавшем 26 женщин, которым вводили гадолиний в I триместре беременности, было продемонстрировано отсутствие его тератогенного и мутагенного воздействия на плод [27]. В ретроспективном когортном исследовании риск врожденной аномалии не зависел от того, применялся ли контрастный препарат на основе гадолиния во время беременности (по сравнению с беременными, которым не выполняли МРТ) [15].

Не описано ни одного случая нефрогенного системного склероза, связанного с применением контрастного вещества на основе гадолиния у беременных [11]. Однако следует помнить, что хотя хелаты гадолиния инертны, они могут проникать через плацентарный барьер и аккумулироваться в амниотической жидкости, а следовательно, есть потенциальный риск диссоциации свободного иона гадолиния и развития системного фиброза у ребенка и матери [26].

Контрастные препараты различаются по степени риска развития нефрогенного системного склероза, что зависит от стабильности молекулы. Наиболее стабильными являются макроциклические препараты [28] (табл. 1).

По данным наиболее крупного исследования, проведенного в Канаде, была выявлена связь между применением контрастного препарата на основе гадолиния на любом сроке беременности и повышенным риском ревматологических заболеваний кожи, а также воспалительных и инфильтративных дерматозов у детей.

Так, в группе детей, получавших гадолиний пренатально (n = 397), было выявлено 123 случая воспалительных дерматозов в возрасте до 4 лет против 384 180 детей в контрольной группе (n = 1 418 451) – относительный риск составил 1,36

Таблица 1. Стратификация риска нефрогенного системного фиброза в зависимости от строения молекул препаратов гадолиния (адаптировано из руководства ESUR по контрастным препаратам [28])

Table 1. Risk of nephrogenic systemic sclerosis (NSF) stratification, depending on Gadolinium media molecular structure (adapted from ESUR guideline on contrast media [28])

Высокий риск Линейные (ионные и неионные) High risk of nephrogenic systemic sclerosis (NSF) Linear (ionic and non-ionic)	Gadodiamide Омнискан (неионный) Gadodiamide Omniscan (non-ionic) Gadopentetate dimeglumine Магневист (ионный) Gadopentetate dimeglumine Magnevist (ionic) Gadoversetamide Оптимарк (неионный) Gadoversetamide Optimark (non-ionic)	Противопоказаны беременным, при грудном вскармливании рекомендуется сцеживание грудного молока в течение 24 ч Contraindicated in pregnancy. Breastfeeding should be postponed for 24 hours
Промежуточный риск (ионные линейные) Intermediate risk of NSF Ionic linear	Gadobenate dimeglumine Мультихэнс Gadobenate dimeglumine Multihance Gadofosveset trisodium (Vasovist, Ablavar) Gadofosveset trisodium (Vasovist, Ablavar) Gadoxetate disodium Примовист Gadoxetate disodium Primovist	С осторожностью в малых дозах When is essential, can be used in small dose
Низкий риск ионные и неионные макроциклические препараты Low risk of NSF Ionic and non-ionic cyclic	Gadobutrol Гадовист неионный Gadobutrol Gadovist (nonionic) Gadoterate meglumine Дотарем ионный Gadoterate meglumine Dotarem (ionic) Gadoteridol Прохэнс неионный Gadoteridol Prohance (nonionic)	Разрешено для применения у беременных, грудное вскармливание можно не прерывать Can be used in pregnant and lactating women

(95% CI 1,09–1,69). При дальнейшем анализе данная связь была определена для беременных, получивших гадолиний только в I триместре. Антенатальная и неонатальная гибель наблюдалась в 7 случаях, когда вводился контрастный препарат (RR 3,70; 95% CI 1,55–8,85) [15].

В настоящее время проводятся разработка и внедрение в практику новых препаратов гадолиния с липосомной оболочкой, не позволяющей препарату проникать через плацентарный барьер [29, 30]. Кроме того, уже разработаны и применяются контрастные препараты на основе марганца и оксида железа, однако в Российской Федерации они пока не зарегистрированы к применению [31].

Рентгенография и компьютерная томография

Ионизирующее излучение, в том числе рентгеновского спектра, характеризуется умеренной проникающей способностью и может ионизировать ткани, изменяя их нормальную структуру и вызывая два типа эффектов: детерминированный и стохастический [32].

Детерминированный эффект проявляется в нарушении функции тканей и органов и существуют тканеспецифические пороговые значения доз, при которых происходят эти повреждения. Пороги доз, ассоциированные со специфическими пороками развития и повреждениями, зависят от сроков гестации (табл. 2) [32].

Как следует из табл. 2, при поглощении плодом дозы менее 50 мЗв потенциальных детерминированных эффектов не выявлено. При подавляющем большинстве рутинных диагностических исследований поглощенная доза не превышает 20 мЗв, в случае проведения компьютерной томографии брюшной полости и малого таза – до 35 мЗв, т.е. данные исследования не вызывают повреждения тканей плода, в особенности в случае фракционированного (разнесенного по времени) облучения [32] (рис. 3).

Таблица 2. Эффект ионизирующего облучения в зависимости от срока гестации (адаптировано из практических рекомендаций [32] на основе данных Международной комиссии радиационной защиты, опубликованных в 2003 г. [33])

Table 2. Effects of radiation exposure on prenatal development depending on week of gestation (adapted from practical recommendations [32] based on International Commission on Radiological Protection report [33])

Срок гестации Gestation period	Время после зачатия Time after conception	Доза Dose	Потенциальный эффект Potential effect
До имплантации Before implantation (conception)	0–2 нед 0–2 weeks	50–100 мЗв 50–100 mGy	Пренатальная гибель Prenatal death
Основной органогенез Main oraganogenesis	1–8 нед 1–8 weeks	200–250 мЗв 200–250 mGy	Задержка роста Growth retardation
	2–15 нед 2–15 weeks	200–250 мЗв 200–250 mGy	Микроцефалия Microcephaly На сроке до 8 нед – не вызывает дефицита умственного развития No mental retardation when applied before 8 weeks Наиболее чувствительный период для развития детской онкопатологии Most sensitive period for pediatric oncology
Деление и миграция нейронов Neuron development and migration	6–15 нед 6–15 weeks	>100 мЗв >100 mGy	Микроцефалия / Microcephaly Судорожный синдром / Seizures Снижение IQ (на 25 баллов на каждые 1000 мЗв) IQ decreased by 25 units on each 1000 mGy applied
После органогенеза и быстрого развития нейронов After rapid neuron development	15 нед и до родов 15 weeks till labor	>100 мЗв >100 mGy	Повышение частоты возникновения детской онкопатологии Increased frequency of pediatric oncology
		>500 мЗв >500 mGy	Тяжелая задержка умственного развития (16–25 нед) Severe mental retardation (16–25 weeks)

Рис. 3. КТ. Пациентка Ч., 29 лет, беременность 34 нед. Первичная медиастинальная В-клеточная лимфома.

Fig. 3. CT. Patient Ch., 29 y.o., 34 weeks of gestation. Primary mediastinal large B cell lymphoma.

Стохастический (вероятностный) эффект – это беспороговый эффект, который возникает в виде случайной мутации ДНК одной клетки, вероятность которой пропорциональна поглощенной дозе, с последующим канцерогенезом и представляет собой долгосрочное последствие, оценка которого в рамках клинических исследований невозможна. Стохастический эффект может возникнуть при любой, в том числе крайне малой дозе, такой, как фоновое излучение Земли (в зависимости от местоположения и высоты над уровнем моря – до 2,3 мЗв) [7]. Относительный риск развития детской онкопатологии выше на ранних сроках беременности и составляет 3,19 для I триместра, 1,29 для II и 1,30 для III [7]. Таким образом, стохастические эффекты следует учитывать при определении соотношения риска и пользы планируемого исследования, но опираться следует на данные по детерминированным (краткосрочным и дозозависимым) эффектам [33].

Основным нормативным документом в России, регламентирующим медицинское облучение, являются Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009. Базовый подход к применению медицинского облучения описан в пятом разделе этого документа: “Радиационная защита пациентов при медицинском облучении должна быть основана на необходимости получения полезной диагностической информации и/или терапевтического эффекта от соответствующих медицинских процедур при наименьших возможных уровнях облучения. Проведение медицинских процедур, связанных с облучением пациентов, должно быть обосновано путем сопоставления диагностических или терапевтических выгод, которые они приносят, с радиационным ущербом для здоровья, который может причинить облучение, принимая во внимание имеющиеся альтернативные методы, не связанные с медицинским облучением” [34].

Более подробно проблема обеспечения радиационной безопасности как эмбриона/плода, так и самой беременной женщины рассмотрена в международных рекомендациях [35, 36]. В частности, в фундаментальной Публикации 103 МКРЗ [36] указывается, что пренатальные дозы при диагностических процедурах с использованием источников ионизирующего излучения не создают достоверного увеличения риска пренатальной или постнатальной гибели, порока развития или мальформаций либо задержки умственного развития свыше фоновых значений для указанных нарушений. Пожизненный риск развития онкологического заболевания после внутриутробного облучения, как считается в настоящее время, равен риску, возникающему после облучения в раннем детстве [37].

По данным большинства авторов, с целью максимального снижения поглощенной дозы при компьютерной томографии (КТ), в случае, когда плод находится в поле обзора, следует руководствоваться принципом ALARA (as low as reasonably achievable – насколько разумно низкая доза). Это может достигаться изменением параметров сканирования: уменьшением мощности рентгеновского излучения (по массе тела пациентки), снижением времени экспозиции, уменьшением длины скаута, увеличением питча и сокращением количества серий сканирования до одной.

К распространенным дополнительным технологиям, позволяющим снизить дозу, относятся автоматический контроль экспозиции (уменьшает дозу на 40–50%), автоматический выбор мощности рентгеновской трубки (на 33–65%) и повторные реконструкции (уменьшает дозу на 40–50%). При использовании этих мер возможно снизить лучевую нагрузку на плод. Так, например, при сканировании таза – приблизительно с 35 до 13 мЗв [7, 38]. Такие меры, как использование свинцового фартука на живот при КТ-ангиографии грудной клетки женщины (при подозрении на тромбоэмболию), обеспечивают в большей степени психоло-

гический комфорт пациентки, так как в основном облучение плода в этом случае происходит за счет отраженных лучей. Реальным способом снизить поглощенную плодом дозу в этом случае является применение суспензии бария (30% и выше) *per os*, при этом важно отслеживать коллимацию изображений, так как автоматические программы могут увеличивать дозу, включая в поле обзора барий в желудке [39].

Йодсодержащие контрастные препараты

Йодсодержащие препараты применяются для контрастирования прежде всего при проведении КТ. Эти препараты разделяют в зависимости от осмолярности, способности к ионизации и количеству бензольных колец. Ионные препараты имеют очень высокую осмолярность (в 5–7 раз выше сыворотки крови), неионные – только в 2–3 раза, что обусловливает их биологические эффекты [11]. Группа неионных мономеров занимает особое место среди современных рентгеноконтрастных средств. Низкая осмолярность и вязкость, электрическая нейтральность и наибольшее содержание йода этих препаратов обеспечивают наилучшую диагностическую эффективность при минимальном риске побочных реакций [40].

Данные контрастные препараты являются водорастворимыми, а значит, проникают через плаценту и могут попасть в кровоток плода и амниотическую жидкость [41]. Однако по данным исследований на животных йодсодержащие контрастные препараты не имеют тератогенного или мутагенного эффекта. Также не выявлено влияния неионных йодсодержащих контрастных препаратов, например йопамидола и йопромида, на щитовидную железу плода [42, 43], тогда как ионные препараты могут вызывать дисфункцию органа. Европейское общество урогенитальной радиологии (ESUR) рекомендует оценивать уровень гормонов щитовидной железы новорожденного на первой неделе жизни в случае, когда в анамнезе есть указание на применение йодсодержащих контрастных препаратов во время беременности [41]. Возможно, это обусловлено тем, что не всегда известен конкретный вводившийся препарат.

Кроме того, имеются данные о влиянии жирорастворимых препаратов, например при проведении гистеросальпингографии для планирования беременности и риском дисфункции щитовидной железы (относительный риск 2,4% против 0,7%). В настоящее время рекомендуют заменить гистеросальпингографию на гистероскопию с хромосальпингоскопией как более информативную и безопасную [44].

Все авторы сходятся в том, что, несмотря на отсутствие данных о негативном влиянии йодсодержащих контрастных препаратов, их применение у беременных рекомендовано только в крайних случаях.

Применительно к грудному вскармливанию полное выведение препарата из организма женщины происходит через 24 ч, а уже через 2 ч его концентрация падает вдвое. Так как препарат водорастворим, в грудное молоко экскретируется около 1% его плазменной концентрации, из этого количества менее 1% попадает в желудочно-кишечный тракт ребенка [45]. Следовательно, средняя доза, полученная ребенком с грудным молоком, составляет примерно 0,05% от рекомендованной дозы для диагностических исследований грудных детей [46]. Таким образом, применение йодсодержащих препаратов совместимо с грудным вскармливанием, тем не менее можно предложить пациентке заменить кормление сцеженным молоком или смесью в течение 12–24 ч.

Радионуклидные методы: позитронно-эмиссионная томография и сцинтиграфия

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) доказала свою высокую информативность как при диагностике первичных опухолей, так и при выявлении рецидивов. Однако применимость данного метода при беременности вызывает большие опасения. Данных по этой проблеме крайне мало: в последнем обзоре, опубликованном в 2022 г. группой итальянских авторов, были проанализированы результаты 4 исследований на небольших выборках беременных женщин и 25 клинических случаев за период с 2004 по 2021 г. [3]. Наиболее крупное ретроспективное исследование, проведенное во Франции на основе анализа выборки CALG (Cancer Associé à La Grossesse – база данных беременных с онкологией), для оценки последствий применения ПЭТ продемонстрировало достаточно большую частоту онкологических заболеваний, выявляемых во время беременности. За 5 лет было выявлено 359 случаев, в 63 случаях применялась ПЭТ. При этом оценка здоровья 46 детей, рожденных от матерей, которым выполнялась ПЭТ/КТ во время беременности, проведенные в возрасте 6, 12, 15 и 24 мес, не показала признаков задержки умственного развития, мальформаций или случаев детской онкологической патологии [47].

Известно, что 18-фтордезоксиглюкоза (ФДГ) проникает через плацентарный барьер и накапливается в тканях плода, при этом максимальное накопление радиофармпрепарата наблюдается в его миокарде. Таким образом, учет поглощенной

плодом дозы крайне важен для правильной оценки соотношения вред/польза [48, 49]. В настоящее время проводятся исследования на лабораторных животных, целью которых является разработка модели расчета дозы, получаемой плодом.

I триместр беременности характеризуется быстрым ростом и пролиферацией, что сопровождается более активным захватом глюкозы, соответственно большей поглощенной дозой. Так, по данным одного из исследований по оценке поглощенной плодом дозы при ПЭТ/МРТ с 18-ФДГ при проведении исследования в конце I триместра беременности поглощенная плодом доза была рассчитана как 7,38 ± 0,25E-02 мГр/МБк, тогда как у пациенток во II триместре беременности это значение составило 4,92 ± 1,52E-03 мГр/МБк [50]. В связи с этим во II и III триместрах допустимы более высокие дозы, чем в I, при этом поглощенная плодом доза остается ниже порогового значения для проявления детерминированных эффектов [50]. Для снижения поглощенной дозы рекомендуется использовать совмещенные с МРТ (а не с КТ) сканеры, применять гидратацию пациентки до и во время исследования, а также катетеризировать мочевой пузырь, чтобы предотвратить длительное расположение радиофармпрепарата в непосредственной близости от плода [2].

Грудное вскармливание не рекомендовано в течение 24 ч после проведения ПЭТ-исследования [46].

Отдельного внимания заслуживает такой информативный метод радионуклидной диагностики, как сцинтиграфия сигнальных лимфатических узлов при раке молочных желез, одного из наиболее частых онкологических заболеваний во время беременности. Проведен ряд небольших исследований, которые показали, что применение изотропа технеция является относительно безопасным во время беременности [37, 51, 52]. Следует также иметь в виду, что в данном случае радиофармпрепарат вводится не внутривенно, а периареолярно, то есть лучевая нагрузка на плод будет ниже. Эти результаты подтверждают безопасность технологии биопсии сигнальных лимфатических узлов во время беременности, что позволяет планировать органосохраняющие операции при раке молочной железы у беременных женщин.

Большинство диагностических процедур ядерной медицины выполняется с короткоживущими радионуклидами (такими как ^{99m}Tc), которые не обусловливают больших доз облучения плода. Для радиофармпрепаратов, которые не проходят через плаценту, доза для плода определяется радиоактивностью материнских тканей. Некоторые радиофармпрепараты (радиоизотопы йода ^{123}I, ^{124}I и особенно ^{131}I) проникают через плаценту и концентрируются в конкретном органе или ткани, вследствие чего они могут представлять значительный риск возникновения радиационно-индуцированных нарушений у плода [37].

Заключение

Таким образом, за последние 20 лет проведено достаточно исследований, демонстрирующих реальные последствия применения лучевых методов диагностики при беременности. Анализ этих данных позволяет изменить подходы к диагностике и стадированию онкологических заболеваний, своевременному выявлению угрожающих жизни матери и плода состояний.

УЗИ остается ведущим методом диагностики первой линии и во многих случаях является достаточным для постановки диагноза. Применение контрастных препаратов при УЗИ пока не рекомендовано, но не вызывает сомнений, что в ближайшее время и этот метод найдет свое место в алгоритме обследования беременных женщин.

МРТ сопряжена с техническими трудностями (длительное вынужденное положение, клаустрофобия, шум), однако продемонстрировала свою высокую эффективность в оценке патологии плода, таких угрожающих жизни состояний, как врастание плаценты, ее отслойка. Кроме того, высокий тканевой контраст в условиях измененной анатомии позволяет с высокой точностью диагностировать острую патологию брюшной полости (аппендицит, холецистит, холедохолитиаз) и новообразования. Исключительным является этот метод для выявления внутричерепной патологии (нарушение кровоснабжения, опухоли, очаговые процессы в веществе мозга). В настоящее время МРТ не противопоказана на любом сроке беременности при ограничении SAR до 4 Вт/кг (оптимально до 2 Вт/кг). От введения контрастного препарата на основе гадолиния пока рекомендуется воздерживаться ввиду спорных данных о его возможном вреде.

КТ, а также рентгенография в настоящее время рекомендуются к применению в случаях, когда данных УЗИ и МРТ недостаточно, а однократная доза лучевой нагрузки не превышает 50 мЗв. Следует вести точный учет поглощенных доз в случае повторных исследований. Неионные низкоосмолярные мономерные йодсодержащие контрастные препараты продемонстрировали свою безопасность, в том числе для функции щитовидной железы плода. КТ-ангиография является основным методом диагностики такого угрожающего состояния, как тромбоэмболия легочных артерий. В алгоритме диагностики этого состояния у бере-

менных по международным рекомендациям КТ-ангиография следует сразу после УЗИ сосудов нижних конечностей и определения лабораторных показателей.

Применение ПЭТ не противопоказано во время беременности в тех случаях, когда данных МРТ и КТ недостаточно. Рекомендуется мультидисциплинарный подход с четким индивидуальным расчетом доз, гидратацией пациентки и применением катетеризации мочевого пузыря в процессе сканирования для снижения лучевой нагрузки. Существуют работы, демонстрирующие возможность замены ПЭТ диффузионно-взвешенными изображениями при МРТ в режиме “все тело”. Так, результаты одного пилотного исследования показали высокую чувствительность метода (сравнимую с ПЭТ) для выявления первичных образований и отдаленных метастазов (в том числе в кости) как солидных образований, так и лимфом [53]. Методы сцинтиграфии с меченым технецием допустимы при беременности, в то время как изотопы йода проникают через плаценту и могут негативно повлиять на плод. Метод биопсии сигнальных лимфатических узлов при раке молочных желез во время беременности позволяет произвести своевременную диагностику и органосохраняющее хирургическое вмешательство.

Развитие лучевой диагностики, в том числе появление гибридных методов, новых принципов контрастирования, ведет за собой и новые опасения по поводу безопасности их применения. Данный обзор ставил своей задачей демонстрацию безопасности и реальных последствий применения методов лучевой диагностики у беременных женщин. Представленные сведения можно использовать для принятия сложных решений и определения диагностических алгоритмов в каждом конкретном случае для любых групп пациентов, в том числе для консультирования пациентов с повышенной тревожностью и предубеждениями относительно лучевых методов обследования.

Участие авторов

Павловская Е.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, обзор публикаций по теме, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Багненко С.С. – подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Буровик И.А. – подготовка и редактирование текста, подготовка опубликованной работы.

Бусько Е.А. – подготовка и редактирование текста.

Тятьков С.А. – участие в научном дизайне.

Гришко П.Ю. – участие в научном дизайне.

Берлев И.В. – участие в научном дизайне.

Authors’ participation

Pavlovskaya E.A. – concept and design of the study, conducting research, review of publications, writing, preparation and creation of the published work.

Bagnenko S.S. – text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Burovick I.A. – text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Busko E.A. – text preparation and editing.

Tiatkov S.A. – participation in scientific design.

Grishko P.U. – participation in scientific design.

Berlev I.V. – participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Трофимова Т.Н., Халиков А.Д., Семенова М.Д. Возможности магнитно-резонансной томографии в изучении формирования головного мозга плода. *Лучевая диагностика и терапия*. 2017; 4 (8): 6–16. https://doi.org/10.22328/2079-5343-2017-4-6-15
Trofimova T.N., Halikov A.D., Semenova M.D. The capabilities of MRI in studying formation of the fetal brain. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2017; 4 (8): 6–16. https://doi.org/10.22328/2079-5343-2017-4-6-15 (In Russian)
2. Amant F., Berveiller P., Boere I.A. et al. Gynecologic cancers in pregnancy: guidelines based on a third international consensus meeting. *Ann. Oncol*. 2019; 30 (10): 1601–1612. https://doi.org/10.1093/annonc/mdz228
3. Parpinel G., Laudani M.E., Giunta F.P. et al. Use of positron emission tomography for pregnancy-associated cancer assessment: a review. *J. Clin. Med*. 2022; 11 (13): 1–11. https://doi.org/10.3390/jcm11133820
4. de Haan J., Verheecke M., Van Calsteren K. et al. Oncological management and obstetric and neonatal outcomes for women diagnosed with cancer during pregnancy: a 20-year international cohort study of 1170 patients. *Lancet Oncol*. 2018; 19 (3): 337–346. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(18)30059-7
5. Abramowicz J.S., Kremkau F.W., Merz E. Obstetrical ultrasound: can the fetus hear the wave and feel the heat? *Ultraschall Med*. 2012; 33 (3): 215–217. https://doi.org/10.1055/s-0032-1312759
6. Aiken C.E., Lees C.C. Long-term effects of in utero Doppler ultrasound scanning-a developmental programming perspective. *Med. Hypotheses.* 2012; 78 (4): 539–541. https://doi.org/10.1016/j.mehy.2012.01.030
7. Tirada N., Dreizin D., Khati N.J. et al. Imaging pregnant and lactating patients. *RadioGraphics*. 2015; 35 (6): 1751–1765. https://doi.org/10.1148/rg.2015150031
8. Wei K., Mulvagh S.L., Carson L. et al. The safety of definity and optison for ultrasound image enhancement: a retrospective analysis of 78,383 administered contrast doses. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2008; 21 (11): 1202–1206. https://doi.org/10.1016/j.echo.2008.07.019
9. Piscaglia F., Bolondi L., Italian Society for Ultrasound in Medicine and Biology (SIUMB) study group on ultrasound contrast agents. The safety of Sonovue in abdominal applications: retrospective analysis of 23188 investigations. *Ultrasound Med. Biol*. 2006; 32 (9): 1369–1375. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2006.05.031
10. Sidhu P.S., Cantisani V., Dietrich C.F. et al. The EFSUMB guidelines and recommendations for the clinical practice

of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in non-hepatic applications: update 2017 (Long Version). *Ultraschall Med*. 2018;39(2):e2–e44.https://doi.org/10.1055/a-0586-1107
11. Perelli F., Turrini I., Giorgi M.G. et al. Contrast agents during pregnancy: pros and cons when really needed. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19 (24): 16699. https://doi.org/10.3390/ijerph192416699
12. Kanal E., Barkovich A.J., Bell C. et al.; ACR Blue Ribbon Panel on MR Safety. ACR guidance document for safe MR practices: 2007. *Am. J. Roentgenol*. 2007; 188 (6): 1447–1474. https://doi.org/10.2214/AJR.06.1616
13. Hartwig V., Giovannetti G., Vanello N. et al. Biological effects and safety in magnetic resonance imaging: a review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2009; 6 (6): 1778–1798. https://doi.org/10.3390/ijerph6061778
14. Chartier A.L., Bouvier M.J., McPherson D.R. et al. The safety of maternal and fetal MRI at 3T. *Am. J. Roentgenol.* 2019; 213 (5): 1170–1173. https://doi.org/10.2214/AJR.19.21400
15. Ray J.G., Vermeulen M.J., Bharatha A. et al. Association between MRI exposure during pregnancy and fetal and childhood outcomes. *JAMA*. 2016; 316 (9): 952–961. https://doi.org/10.1001/jama.2016.12126
16. Gomes M., Matias A., Macedo F. Risks to the fetus from diagnostic imaging during pregnancy: review and proposal of a clinical protocol. *Pediatr. Radiol.* 2015; 45 (13): 1916–1929. https://doi.org/10.1007/s00247-015-3403-z
17. Mervak B.M., Altun E., McGinty K.A. et al. MRI in pregnancy: Indications and practical considerations. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2019; 49 (3): 621–631. https://doi.org/10.1002/jmri.26317
18. Синицын В.Е. Безопасность магнитно-резонансной томографии – современное состояние вопроса. *Диагностическая и интервенционная радиология*. 2010. 4 (3): 61–66. https://doi.org/10.25512/DIR.2010.04.3.10
Sinitcin V.E. MRI safety – current state of the issue. *Diagnostic and Interventional Radiology*. 2010; 4 (3): 61–66. https://doi.org/10.25512/DIR.2010.04.3.10 (In Russian)
19. Behzadi A.H., Zhao Y., Farooq Z., Prince M.R. Immediate allergic reactions to gadolinium-based contrast agents: a systematic review and meta-analysis. *Radiology.* 2018; 286 (2): 471–482. https://doi.org/10.1148/radiol.2017162740
20. Fraum T.J., Ludwig D.R., Bashir M.R., Fowler K.J. Gadolinium-based contrast agents: a comprehensive risk assessment. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2017; 46 (2): 338–353. https://doi.org/10.1002/jmri.25625
21. Cheong B.Y.C., Wilson J.M., Preventza O.A., Muthupillai R. Gadolinium-based contrast agents: updates and answers to typical questions regarding gadolinium use. *Tex. Heart Inst. J*. 2022; 49 (3): e217680. https://doi.org/10.14503/THIJ-21-7680
22. Potts J., Lisonkova S., Murphy D.T., Lim K. Gadolinium magnetic resonance imaging during pregnancy associated with adverse neonatal and post-neonatal outcomes. *J. Pediatr.* 2017; 180: 291–294. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.10.061
23. Costello J.R., Kalb B., Martin D.R. Incidence and risk factors for gadolinium-based contrast agent immediate reactions. *Top. Magn. Reson. Imaging*. 2016; 25 (6): 257–263. https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000109
24. Cowper S.E., Boyer P.J. Nephrogenic systemic fibrosis: An update. *Curr. Rheumatol. Rep*. 2006; 8 (2): 151–157. https://doi.org/10.1007/s11926-006-0056-9
25. Kanal E., Tweedle M.F. Residual or retained gadolinium: practical implications for radiologists and our patients. *Radiology*. 2015; 275 (3): 630–634. https://doi.org/10.1148/radiol.2015150805
26. Kodzwa R. ACR manual on contrast media: 2018 updates. *Radiol. Technol.* 2019; 91 (1): 97–100.
27. De Santis M., Straface G., Cavaliere A.F. et al. Gadolinium periconceptional exposure: pregnancy and neonatal outcome. *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* 2007; 86 (1): 99–101. https://doi.org/10.1080/00016340600804639
28. Thomsen H.S. ESUR guidelines on contrast agents version 10.0. Contrast Media Safety Committee, 2018; 44 p.
29. Gatta G., Di Grezia G., Cuccurullo V. et al. MRI in pregnancy and precision medicine: a review from literature. *J. Pers. Med*. 2021; 12 (1): 1–16. https://doi.org/10.3390/jpm12010009
30. Ghaghada K.B., Starosolski Z.A., Bhayana S. et al. Preclinical evaluation of a nanoparticle-based blood-pool contrast agent for MR imaging of the placenta. *Placenta.* 2017; 57: 60–70. https://doi.org/10.1016/j.placenta.2017.06.008
31. Семенова Е.С., Мащенко И.А., Труфанов Г.Е. Магнитно-резонансная томография при беременности: актуальные вопросы безопасности. *Российский Электронный журнал лучевой диагностики*. 2020; 10 (1): 216–230. https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-216-230
Semenova E.S., Maschenko I.A., Trufanov G.E. et al. Magnetic resonance imaging during pregnancy: current safety issues. *REJR*. 2020; 10 (1): 216–230. https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-216-230 (In Russian)
32. Ratnapalan S., Bentur Y., Koren G. Doctor, will that x-ray harm my unborn child? *CMAJ*. 2008; 179 (12): 1293–1296. https://doi.org/10.1503/cmaj.080247
33. Brent R.L. Protection of the gametes embryo/fetus from prenatal radiation exposure. *Health Physics*. 2015; 108 (2): 242–274. https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000235
34. Санитарные правила и нормативы. Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009): санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Москва – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. 100 с.
Sanitary rules and norms. Norms of radiation safety (NRB–99/2009): sanitary and epidemioologic rules and standards. Moscow – Federal center of hygiene and epidemiology of the Federal office for inspectorate of customers and human well-being protection. 2009. 100 p. (In Russian)
35. ACR-SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation [Electronic resource]. URL: https://www.acr.org/Clinical-Resources/Radiology-Safety/Radiation-Safety (accessed: 05.03.2023).
36. Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ): Пер. с англ. / Под. общей ред. М.Ф. Киселёва, Н.К. Шандалы. М.: Изд-во ООО ПКФ “Алана”, 2009. 344 с.
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) publication 103: Translation

/ Eds by Kiselev M.F., Shandali N.K. Moscow: “Alana” publishing, 2009. 344 p. (In Russian)
37. Крылов А.С., Наркевич Б.Я., Рыжков А.Д. Определение дозы-облучения плода у беременных женщин с раком молочной железы при сцинтиграфии сторожевых лимфатических узлов. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2021; 4 (4); 78–87. https://doi.org/10.37174/2587-7593-2021-4-4-78-87
Krylov A.S., Narkevich B.Y., Ryzhov A.D. Evaluation of the radiation dose of an embryo/fetus during lymphoscintigraphy (sentinel lymph node mapping) in pregnant patients with breast cancer. *Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2021; 4 (4): 78–87. https://doi.org/10.37174/2587-7593-2021-4-4-78-87 (In Russian)
38. Raman S.P., Johnson P.T., Deshmukh S. et al. CT dose reduction applications: available tools on the latest generation of CT scanners. *J. Am. Coll. Radiol*. 2013. 10 (1): 37–41. https://doi.org/10.1016/j.jacr.2012.06.025
39. Colletti P.M., Micheli O.A., Lee K.H. To shield or not to shield: application of bismuth breast shields. *Am. J. Roentgenol*. 2013; 200 (3): 503–507. https://doi.org/10.2214/AJR.12.9997
40. Кондрашов И.А., Мандал В. Неионные низкоосмолярные мономерные йодированные рентгеноконтрастные средства: некоторые аспекты использования при проведении компьютерной томографии у детей. *Медицинская визуализация*. 2017; 6: 118–129. https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-6-118-129
Kondrashov I.A., Mandal V. Nonionic Low-Osmolar Monomeric Iodinated Contrast Material: Some Aspects of use for Computed Tomography in Children. *Medical Visualization.* 2017; 6: 118–129. https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-6-118-129 (In Russian)
41. Webb J.A., Thomsen H.S., Morcos S.K; Members of Contrast Media Safety Committee of European Society of Urogenital Radiology (ESUR). The use of iodinated and gadolinium contrast media during pregnancy and lactation. *Eur. Radiol*. 2005; 15 (6): 1234–1240. https://doi.org/10.1007/s00330-004-2583-y
42. Rajaram S., Exley C.E., Fairlie F., Matthews S. Effect of antenatal iodinated contrast agent on neonatal thyroid function. *Br. J. Radiol*. 2012; 85 (1015): e238–e242. https://doi.org/10.1259/bjr/29806327
43. Kochi M.H., Kaloudis E.V., Ahmed W., Moore W.H. Effect of in utero exposure of iodinated intravenous contrast on neonatal thyroid function. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2012; 36 (2): 165–169. https://doi.org/10.1097/rct.0b013e31824cc048
44. Зиновьев А.Н., Мотовилова Т.М., Качалина Т.С. Место количественной оценки проходимости маточных труб в определении прогноза лечения трубно-перитонеального бесплодия. *РМЖ. Мать и дитя*. 2013; 21 (14): 760.
Zinoviev A.N., Motovilova T.M., Kachalina T.S. The role of quantitative assessment of tubal insufflation in tubal type of infertility prognosis. *RMJ. Mother and Child*. 2013; 21 (12): 760. (In Russian)
45. American College of Radiology. Manual on contrast media, version 10.2; American College of Radiology: Reston, VA, USA, 2023. 148 p.
46. Wang P.I., Chong S.T., Kielar A.Z. et al. Imaging of pregnant and lactating patients: part 2, evidence-based review and recommendations. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 198 (4): 785–792. https://doi.org/10.2214/AJR.11.8223
47. Despierres M., Boudy A.S., Selleret L. et al. Feasibility, safety and impact of (^{18}F)-FDG PET/CT in patients with pregnancy-associated cancer: experience of the French CALG (Cancer Associé à La Grossesse) network. *Acta Oncol.* 2022; 61 (3): 302–308. https://doi.org/10.1080/0284186X.2021.2004323
48. Zanotti-Fregonara P., Champion C., Trébossen R. et al. Estimation of the beta+ dose to the embryo resulting from ^{18}F-FDG administration during early pregnancy. *J. Nucl. Med*. 2008; 49 (4): 679–682. https://doi.org/10.2967/jnumed.107.048900
49. Benveniste H., Fowler J.S., Rooney W.D. et al. Maternal-fetal in vivo imaging: a combined PET and MRI study. *J. Nucl. Med*. 2003; 44 (9): 1522–1530.
50. Zanotti-Fregonara P., Ishiguro T., Yoshihara K. et al. ^{18}F-FDG fetal dosimetry calculated with PET/MRI. *J. Nucl. Med*. 2022; 63 (10): 1592–1597. https://doi.org/10.2967/jnumed.121.263561
51. Gropper A.B., Calvillo K.Z., Dominici L. et al. Sentinel lymph node biopsy in pregnant women with breast cancer. *Ann. Surg. Oncol.* 2014; 21 (8): 2506–2511. https://doi.org/10.1245/s10434-014-3718-2
52. Han S.N., Amant F., Cardonick E.H. et al. Axillary staging for breast cancer during pregnancy: feasibility and safety of sentinel lymph node biopsy. *Breast Cancer Res. Treat*. 2018; 168 (2): 551–557. https://doi.org/10.1007/s10549-017-4611-z
53. Han S.N., Amant F., Michielsen K. et al. Feasibility of whole-body diffusion-weighted MRI for detection of primary tumour, nodal and distant metastases in women with cancer during pregnancy: a pilot study. *Eur. Radiol*. 2018; 28 (5): 1862–1874. https://doi.org/10.1007/s00330-017-5126-z

Для корреспонденции*: Павловская Евгения Александровна – e-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

Павловская Евгения Александровна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог (кабинета МРТ) отделения лучевой диагностики ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России, Санкт-Петербург. https://orcid.org/0000-0003-4356-3690. E-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

Багненко Сергей Сергеевич – доктор мед. наук, заместитель директора, заведующий научным отделением диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России; профессор кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет" Минздрава России, Санкт-Петербург. https://orcid.org/0000-0002-4131-6293

Буровик Илья Александрович – канд. мед. наук, заведующий отделением лучевой диагностики ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России; ассистент кафедры онкологии медицинского факультета ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет", Санкт-Петербург. https://orcid.org/0000-0002-4714-1228

Бусько Екатерина Александровна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России; доцент научно-клинического и образовательного центра "Лучевая диагностика и ядерная медицина" медицинского факультета ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет", Санкт-Петербург. https://orcid.org/0000-0002-0940-6491

Тятьков Станислав Александрович – врач-рентгенолог, специалист магнитно-резонансной томографии отделения лучевой диагностики ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России, Санкт-Петербург. https://orcid.org/0000-0002-1877-8852

Гришко Павел Юрьевич – канд. мед. наук, научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, доцент отдела учебно-методической работы, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России, Санкт-Петербург. https://orcid.org/0000-0003-4665-6999

Берлев Игорь Викторович – доктор мед. наук, заведующий научным онкологическим и хирургическим отделением гинекологии, врач-онколог ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова" Минздрава России; профессор, заведующий кафедрой акушерства и гинекологии ФГБОУ ВО "Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова" Минздрава России, Санкт-Петербург. https://orcid.org/0000-0001-6937-2740

Contact*: Evgenia A. Pavlovskaya – e-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

Evgenia A. Pavlovskaya – Cand. of Sci. (Med.), radiologist MRI-specialist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg. https://orcid.org/0000-0003-4356-3690. E-mail: e.a.pavlovskaya@gmail.com

Sergey S. Bagnenko – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director and Head of the Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor of St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. https://orcid.org/0000-0002-4131-6293

Ilya A. Burovik – Cand. of Sci. (Med.), Head of radiology department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; assistant professor in the department of oncology of SaintPetersburg University, St. Petersburg. https://orcid.org/0000-0002-4714-1228

Ekaterina A. Busko – Doct. of Sci. (Med.), breast radiologist, leading researcher in Department of Diagnostic and Interventional Radiology, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; associate professor in clinical and educational center "Radiology and Nuclear medicine" of Saint-Petersburg University, St. Petersburg. https://orcid.org/0000-0002-0940-6491

Stanislav A. Tiatkov – M.D. radiologist, MRI-specialist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor of St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. https://orcid.org/0000-0002-1877-8852

Pavel Yu. Grishko – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, researcher, MRI-specialist, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor of St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. https://orcid.org/0000-0003-4665-6999

Igor V. Berlev – Doct. of Sci. (Med.), Head of the scientific oncology and surgical gynecology department, N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; Professor, Head of the obstetrics and gynecology department, I.I. Mechnikov NorthWestern State Medical University, St. Petersburg. https://orcid.org/0000-0001-6937-2740

Детская рентгенология | Pediatric radiology

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1362

Клиническое применение новой классификации расширения чашечно-лоханочной системы UTD у детей в условиях перинатального центра

© **Сугак А.Б.[1]*, Бабатова С.И.[2], Филиппова Е.А.[1, 3], Батдалова З.Н.[2, 4], Подуровская Ю.Л.[1], Павлова В.С.[1], Пекарева Н.А.[1], Пыков М.И.[3], Зубков В.В.[1, 5]**

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

[2] ООО "Детская клиника Кидней"; 367013 Махачкала, ул. Малыгина, 7, Республика Дагестан, Российская Федерация

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

[4] ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный медицинский университет" Минздрава России; 367000 Махачкала, пл. Ленина, 1, Республика Дагестан, Российская Федерация

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

Цель исследования: оценить клиническую значимость новой классификации UTD-2014 в предсказании исходов расширения чашечно-лоханочной системы (ЧЛС), выявленного по данным ультразвукового исследования (УЗИ) у детей в условиях перинатального центра.

Материал и методы. Ретроспективно проведен анализ результатов УЗИ органов мочевыделительной системы и исходов 152 детей с расширением ЧЛС вследствие различных причин, обследованных в НМИЦ АГиП имени академика В.И. Кулакова за период с 2017 по 2022 г.

Результаты. Медиана возраста пациентов на момент первого УЗИ составила 2 дня, медиана длительности наблюдения – 10 мес. Уменьшение категории UTD за время наблюдения произошло у –/35/29/10% пациентов в группах с первично установленной категорией UTD 0/I/II/III соответственно. Категория UTD оставалась прежней у 68/43/36/5% пациентов, увеличение категории произошло у 32/26/4/–% пациентов с UTD 0/I/II/III соответственно. Возраст на момент первого УЗИ пациентов, у которых произошло увеличение категории UTD (медиана – 2 (1; 3,5) дня), был достоверно меньше, чем в других подгруппах детей (за исключением прооперированных пациентов). Хирургическое вмешательство проведено 0/2/31/60% пациентов с категорией UTD 0/I/II/III (всего 18%) соответственно.

Заключение. Классификация UTD хорошо коррелирует с исходами при расширении ЧЛС вследствие различных причин у детей: чем больше категория по данным первичного УЗИ, тем реже отмечается ее уменьшение или отсутствие динамики за время наблюдения, чаще необходимо хирургическое лечение. При использовании классификации UTD в перинатальном центре высок риск недооценки степени расширения ЧЛС из-за раннего проведения первичного УЗИ в первые 2 сут жизни.

Ключевые слова: мочевыделительная система, расширение чашечно-лоханочной системы, дети, классификация, ультразвуковая диагностика

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сугак А.Б., Бабатова С.И., Филиппова Е.А., Батдалова З.Н., Подуровская Ю.Л., Павлова В.С., Пекарева Н.А., Пыков М.И., Зубков В.В. Клиническое применение новой классификации расширения чашечно-лоханочной системы UTD у детей в условиях перинатального центра. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 108–117. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1362

Поступила в редакцию: 25.05.2023. **Принята к печати:** 20.10.2023. **Опубликована online:** 01.12.2023.

Clinical application of new classification of the calyx-pelvic system dilation UTD in children in a perinatal center

© **Anna B. Sugak[1]*, Saida I. Babatova[2], Elena A. Filippova[1, 3], Zulfiya N. Batdalova[2, 4], Yulia L. Podurovskaya[1], Varvara S. Pavlova[1], Natalia A. Pekareva[1], Michail I. Pykov[3], Viktor V. Zubkov[1, 5]**

[1] Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Akademika Oparina str., Moscow 117997, Russian Federation

[2] LLC "Kidney Children's Clinic"; 7, Malygina str., Makhachkala 367013, Republic of Dagestan, Russian Federation

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

[4] Dagestan State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 1, Lenina pl., Makhachkala 367000, Republic of Dagestan, Russian Federation

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

The aim of the study was to evaluate the clinical significance of the new urinary tract dilation classification (UTD-2014) in predicting outcomes of the calyx-pelvic system dilation detected by ultrasound (US) in children in the perinatal center.

Materials and methods. A retrospective analysis of the urinary system ultrasound protocols and the outcomes of 152 children with dilated calyx-pelvic system due to various causes examined at the National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology for the period from 2017 to 2022 was carried out.

Results. The median age of patients at the time of the first ultrasound was 2 days, the median duration of follow-up was 10 months. The decrease in the UTD category during the observation period occurred in –/35/29/10% of patients in groups with the primary established UTD category 0/I/II/III, respectively. The UTD category remained the same in 42%, an increase in the category occurred in 32/26/4/-% of patients with UTD 0/I/II/III, respectively. The age at the time of the first ultrasound of patients who had an increase in the UTD category (median – 2 (1; 3.5) days) was significantly less than in other children (with the exception of operated patients). Surgical intervention was performed by 0/2/31/60% of patients with UTD category 0/I/II/III (only 18%), respectively.

Conclusions. UTD classification correlates well with outcomes of the calyx-pelvic system dilation due to various causes in children – the larger the category according to primary ultrasound, the less often its decrease or lack of dynamics is noted during follow-up, surgical treatment is more often necessary. When using the UTD classification in the perinatal center, there is a high risk of underestimating the degree of dilatation due to the early conduct of the first ultrasound in the first two days of life.

Keywords: urinary tract, calyx-pelvic system dilation, children, classification, ultrasound

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

For citation: Sugak A.B., Babatova S.I., Filippova E.A., Batdalova Z.N., Podurovskaya Y.L., Pavlova V.S., Pekareva N.A., Pykov M.I., Zubkov V.V. Clinical application of new classification of the calyx-pelvic system dilation UTD in children in a perinatal center. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 108–117. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1362

Received: 25.05.2023. **Accepted for publication:** 20.10.2023. **Published online:** 01.12.2023.

Введение

Частота встречаемости пороков развития почек и мочевых путей у детей высока и продолжает увеличиваться [1]. Ведущим методом диагностики аномалий мочевыделительной системы (МВС) у детей на сегодняшний день является ультразвуковое исследование (УЗИ). Этот метод обладает высокой точностью, широко распространен, неинвазивен и не несет лучевой нагрузки на пациента [2–4]. Однако на сегодняшний день имеется значительная вариабельность в определении степени риска неблагоприятных исходов у детей с выявленными при УЗИ изменениями органов МВС [2–4]. В различных классификациях и рекомендациях для этого используются различные ультразвуковые критерии [5–8]. Единая методология ультразвуковой оценки органов МВС могла бы

способствовать стандартизации подходов к обследованию и ведению детей с уропатиями.

В 2014 г. на конференции с участием детских радиологов, специалистов ультразвуковой диагностики, детских урологов, детских нефрологов и специалистов антенатальной медицины была представлена совместно разработанная классификация расширения МВС, выявленного анте- и постнатально (Urinary tract dilation – UTD) [3]. Эта классификация была создана для стандартизации первичного ультразвукового обследования и дальнейшего ведения детей с расширением чашечно-лоханочной системы (ЧЛС), унификации терминологии, описывающей данную патологию, и обеспечения взаимопонимания и преемственности между клиницистами и диагностами [3].

Цель исследования: оценить клиническую значимость новой классификации UTD-2014 в предсказании исходов расширения ЧЛС, выявленного по данным УЗИ у детей в условиях перинатального центра.

Материал и методы

Проведен ретроспективный анализ историй развития и историй болезни детей, которым было проведено УЗИ органов МВС в НМИЦ АГиП имени академика В.И. Кулакова за период с 2017 по 2022 г. Критериями включения были: период наблюдения не менее 1 мес, наличие не менее двух УЗИ за период наблюдения, визуализация просвета лоханки или чашечек при УЗИ хотя бы однократно за период наблюдения. Критериями исключения были: возраст на момент первого УЗИ более 90 дней, наличие кистозной дисплазии почки, экстрофии мочевого пузыря, врожденных пороков развития других органов помимо органов МВС, потребовавших проведения операции в неонатальном периоде. Всего в исследование включено 152 ребенка.

Учитывали следующие факторы и события: пол ребенка, возраст на момент первого УЗИ, результаты УЗИ, срок наблюдения, количество УЗИ за период наблюдения, динамику категории UTD за время наблюдения (уменьшение категории до 0–I, отсутствие изменений, увеличение категории без оперативного лечения), результаты ретроградной цистографии (наличие пузырно-мочеточникового рефлюкса (ПМР)), хирургическое вмешательство, диагноз и возраст на момент операции.

Оценку результатов УЗИ органов МВС проводили в соответствии с классификацией UTD-2014 и 2022 [3, 4], учитывали 6 ультразвуковых признаков:

1) переднезадний размер почечной лоханки – количественная оценка, максимальный размер интраренальной части лоханки на поперечном срезе;

2) расширение чашечек – качественная оценка с указанием, вовлечены ли только центральные чашечки или и центральные, и периферические;

3) толщина паренхимы почки – качественная оценка, истончением считали уменьшение толщины более чем в 2 раза по сравнению с контралатеральной здоровой почкой или нормативным значением [9];

4) состояние паренхимы почки – патологией считали повышение эхогенности, которую оценивали при сравнении с прилежащими органами (печенью для правой почки, селезенкой – для левой), а также наличие кортикальных кист и нарушение кортико-медуллярной дифференцировки;

5) расширение мочеточников – транзиторное расширение до 4 мм постнатально считали физиологическим, ⩾ 4 мм – патологическим;

6) наличие аномалий мочевого пузыря – утолщение стенок, расширение задней уретры, дивертикулы, а также уретероцеле в просвете мочевого пузыря.

На основании результатов первого УЗИ дети были распределены на 4 группы в соответствии с классификацией UTD (табл. 1). Если на 1-й неделе жизни ребенку проводилось несколько УЗИ, для определения первичной категории UTD выбирали исследование, проведенное в возрасте старше 2 сут. У пациентов, которым было проведено оперативное лечение пороков МВС, оценка результатов УЗИ органов МВС по классификации UTD после хирургического вмешательства не проводилась в соответствии с рекомендациями консенсуса [3]. При двустороннем расширении ЧЛС категорию UTD определяли в отношении стороны с наиболее выраженными изменениями.

Статистическая обработка. Для анализа данных использовали статистическое программное обеспечение IBM SPSS v.17.0 (IBM Corp, Armonk, NY). Учитывая отсутствие нормального распределения данных и малый объем выборки, использовали непараметрические методы и тесты. Для описания характеристик обследованных детей использовали методы описательной статистики с указанием медианы, минимального и максимального значений, межквартильного диапазона (Me (min–max) 25‰; 75‰). Для качественных данных определяли показатели частоты (%). Для сравнения данных в группах использовался метод Краскала–Уоллиса и Манна–Уитни. Значимость различий между выявленными в результате исследования исходами проводилась с помощью критерия χ^2. χ^2 Пирсона применялся при условии, что ожидаемое явление > 10, χ^2 Пирсона с поправкой Йейтса – ожидаемое явление >5, но <10, точный критерий Фишера – ожидаемое

Таблица 1. Критерии распределения пациентов с расширением чашечно-лоханочной системы по группам риска развития уропатий [4]
Table 1. Criteria for the distribution of patients with dilated calyx-pelvic system by risk groups for the uropathies [4]

Ультразвуковые признаки Ultrasound signs	**Группа 1 (UTD 0 – норма) Group 1 (UTD 0 – normal)**	**Группа 2 (UTD I – низкий риск уропатий) Group 2 (UTD I – low risk)**	**Группа 3 (UTD II – повышенный риск уропатий) Group 3 (UTD II – intermediate risk)**	**Группа 4 (UTD III – высокий риск уропатий) Group 4 (UTD III – high risk)**
Переднезадний размер лоханки, мм Anterior posterior pelvic size (APPS), mm	<10	10–15	⩾15	⩾10
		или / or	или / or	или / or
Чашечки Calyces	Не визуализируются Not vizualized	Расширены центральные чашечки Central dilation	Расширены периферические чашечки Peripheral dilation	Любое расширение чашечек Any dilation
			или / or	
Мочеточники Ureter	Не расширены (<4 мм) No dilation (<4 mm)	Не расширены (<4 мм) No dilation (<4 mm)	⩾4 мм (в сочетании с ПЗРЛ* ⩾10 мм или расширением чашечек) ⩾4 mm (with APPS* ⩾10 mm or calyceal dilation)	
				и / and
Патология паренхимы почки, мочевого пузыря** Parenchyma abnormalities, bladder abnormalities**	Нет No	Нет No	Нет No	Есть Yes

* ПЗРЛ – переднезадний размер лоханки.
APPS – anterior posterior pelvic size.

**Патология паренхимы: истончение кортикального слоя, повышение эхогенности или кистозная дисплазия, нарушение кортико-медуллярной дифференцировки. Патология мочевого пузыря: утолщение стенок, расширение задней уретры, уретероцеле.
Parenchyma abnormalities: cortical thinning, hyperechogenicity, or cystic dysplasia; indistinct corticomedullary differentiation. Bladder abnormalities: wall thickening, ureterocele, dilated posterior urethra.

явление <5. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты

Общая характеристика обследованных детей представлена в табл. 2. Во всех группах большинство пациентов (74%) были мужского пола. Подавляющее большинство (n = 132, 87%) первичных УЗИ было выполнено детям на 1-й неделе жизни во время их пребывания в различных отделениях перинатального центра после рождения. 20 (13%) детей впервые были обследованы в более старшем возрасте в детском консультативно-диагностическом центре. Детям из группы UTD III первое УЗИ органов МВС проводилось раньше и количество выполненных за время наблюдения УЗИ было больше, чем у детей остальных групп ($p < 0,05$). Медиана возраста на момент первого УЗИ составила 2 дня, медиана длительности наблюдения – 10 мес. Расширение ЧЛС у 80 (53%) пациентов было двусторонним, односторонним слева – у 43 (28%), односторонним справа – у 29 (19%).

Динамика категории UTD за время наблюдения, частота проведения ретроградной цистографии и ее результаты, частота проведения хирургического лечения и возраст на момент операции представлены в табл. 3.

Таблица 2. Общая характеристика обследованных детей
Table 2. General characteristics of children, included in analysis

Показатель Characteristics	Всего Overall (n=152)	Группа 1 Group 1 (n=38)	Группа 2 Group 2 (n=49)	Группа 3 Group 3 (n=45)	Группа 4 Group 4 (n=20)	p-value
Пол / Gender: мальчики / male девочки / female	 112 (74%) 40 (26%)	 26 (68%) 12 (32%)	 38 (78%) 11 (22%)	 31 (69%) 14 (31%)	 17 (85%) 3 (15%)	0,405
Возраст на момент первого УЗИ, день Age at initial US imaging, days	2 (0–82) 1;3	2 (0–41) 1;4	2 (0–82) 1;3	2 (0–62) 1;3	1 (1–12) 0;2	0,013
Длительность наблюдения, мес Follow-up time, months	10 (1–67) 4;19	8 (1–54) 3;19	10 (1–67) 5;16	11 (1–41) 6;20	8 (2–36) 4;21	0,816
Количество УЗИ, выполненных одному пациенту Number of US exams performed per patient	4 (2–16) 3;7	4 (2–13) 2;5	4 (2–16) 3;5	5 (2–15) 4;8	7,5 (3–15) 5;10	0,001

Таблица 3. Характеристика клинических исходов обследованных детей
Table 3. Clinical outcomes of children, included in analysis

Показатель Characteristics	Всего Overall (n=152)	Группа 1 Group 1 (n=38)	Группа 2 Group 2 (n=49)	Группа 3 Group 3 (n=45)	Группа 4 Group 4 (n=20)	p-value
1	2	3	4	5	6	7
Категория UTD уменьшилась до 0–I UTD category decreased to 0–I	37 (24%)	–	17 (35%) I→0 – 17	13 (29%) II→0 – 6 II→I – 7	2 (10%) III→0 – 2	$p_{4-6} = 0.032$ $p_{4-5} > 0.05$ $p_{5-6} > 0.05$
Категория UTD не изменилась UTD category has not changed	64 (42%)	26 (68%)	21 (43%)	16 (36%)	1 (5%)	$p_{3-4} = 0.009$ $p_{3-5} = 0.001$ $p_{3-6} = 0.009$ $p_{4-5} > 0.05$ $p_{4-6} = 0.005$ $p_{5-6} = 0.004$
Категория UTD увеличилась без оперативного лечения UTD category increased, without surgical treatment	24 (16%)	12 (32%) 0→I – 10 0→II – 2	10 (26%) I→II – 9 I→III – 1	2 (4%) II→III – 2	–	$p_{3-4} > 0.05$ $p_{3-5} = 0.002$ $p_{4-5} = 0.002$
Проведено оперативное лечение Surgical treatment	27 (18%)	–	1 (2%)	14 (31%)	12 (60%)	$p_{4-5} = 0.006$ $p_{4-6} = 0.002$ $p_{5-6} = 0.016$
Возраст на момент операции, день Age at the time of surgery, days	20 (9–700) 12;123		69	57 (10–201) 12;125	15 (9–700) 12;86	$p_{5-6} > 0.05$
Проведена ретроградная цистография Retrograde cystography	26 (17%)	–	1 (2%)	14 (31%)	11 (55%)	$p_{4-5} = 0.002$ $p_{4-6} = 0.001$ $p_{5-6} = 0.083$
Выявлен пузырно-мочеточниковый рефлюкс Vesicoureteral reflux	8 (5%)		–	5 (11%)	3 (15%)	$p_{5-6} > 0.05$

Таблица 4. Возраст пациентов, которым не проводилось хирургическое вмешательство, на момент первого УЗИ
Table 4. Age of patients without surgical treatment at initial US imaging

Возраст на момент первого УЗИ, день Age at initial US imaging, days	Категория UTD уменьшилась до 0–I UTD category decreased to 0–I (n = 37)	Категория UTD не изменилась UTD category has not changed (n = 64)	Категория UTD увеличилась без оперативного лечения UTD category increased, without surgical treatment (n = 24)	p-value
1	2	3	4	5
Me (min–max) 25‰; 75‰	4 (0–83) 3; 6	4 (0–74) 2; 6,5	2 (0–63) 1; 3,5	$p_{2-3} > 0,05$ $p_{2-4} = 0,0004$ $p_{3-4} = 0,004$

При сравнении исходов в группах выявлено, что чем больше была категория UTD по данным первичного УЗИ, тем реже отмечалось ее уменьшение или отсутствие динамики за время наблюдения, чаще проводилось хирургическое лечение ($p < 0,05$). Различий возраста на момент проведения операции, а также частоты встречаемости ПМР в зависимости от категории UTD не выявлено ($p > 0,05$).

Пациентам проведены следующие операции: лапароскопическая пиелопластика – 14 детям с гидронефрозом вследствие обструкции пиелоуретерального соустья, эндоколлагенопластика уретеровезикального соустья – 8 пациентам с ПМР, бужирование и стентирование уретеровезикального соустья – 3 пациентам с уретерогидронефрозом вследствие его обструкции, лапароскопическая внепузырная неоимплантация мочеточника – 1 пациенту с уретерогидронефрозом, перфорация уретероцеле – 1 ребенку с уретерогидронефрозом и уретероцеле больших размеров. Хирургическое лечение проводилось в большинстве случаев пациентам с антенатально выявленным выраженным расширением ЧЛС, матери которых были направлены на родоразрешение в Центр по рекомендации перинатального консилиума для последующего проведения операции в отделении неонатальной хирургии, в связи с чем первое УЗИ таким детям выполнялось как можно раньше после рождения – в 1–2-е сутки жизни. Среди остальных пациентов (которым не выполнялось оперативное лечение за период наблюдения) был проведен сравнительный анализ возраста на момент первого УЗИ в зависимости от исхода (табл. 4).

Возраст на момент первого УЗИ у пациентов с увеличением категории UTD за время наблюдения был меньше, чем у пациентов с уменьшением и отсутствием изменений категории UTD ($p < 0,05$).

Обсуждение

Классификация степени тяжести расширения ЧЛС по данным УЗИ является краеугольным камнем для определения оптимальной тактики ведения пациентов с патологией МВС и решения вопроса о необходимости дополнительных обследований и необходимости и сроках оперативного вмешательства [3, 4, 10]. Однако использовавшиеся ранее классификации имеют ограничения – большинство из них предназначены для пациентов с изолированным гидронефрозом вследствие обструкции пиелоуретерального соустья, в них отсутствуют определение нормы и описание методики проведения УЗИ [5–7]. В отличие от них новая классификация UTD-2014 дает возможность охарактеризовать различные уропатии у детей, включая патологию мочеточников и мочевого пузыря, содержит описание критериев нормы и патологии и правил проведения ультразвуковых измерений [3, 4]. Для определения места новой классификации в клинической практике необходима оценка ее точности в предсказании исходов.

По данным нашего исследования категория UTD, определенная при первичном УЗИ, ассоциировалась с исходами пациентов с расширением ЧЛС: чем выше была категория UTD, тем реже происходило ее уменьшение в процессе наблюдения, реже категория оставалась прежней, чаще требовалось хирургическое вмешательство. Полученные результаты совпадают с данными зарубежных авторов, которые отмечают высокую корреляцию категорий UTD с клиническими исходами пациентов – необходимостью хирургического вмешательства, спонтанным разрешением и его сроком, частотой инфекций мочевых путей [10–15].

В нашем исследовании за период наблюдения уменьшение категории UTD до 0–I произошло у –/35/29/10% детей с первично установленной категорией UTD I/II/III (всего 24%). Совокупно доля

пациентов с UTD 0–I к концу периода наблюдения (пациенты, у которых категория UTD 0–I осталась прежней, и пациенты, у которых категория UTD уменьшилась с II–III до 0–I) составила 68/78/29/10% в группах с первично установленной категорией UTD 0/I/II/III соответственно. Хирургическое вмешательство проведено 0/2/31/60% пациентов с категорией UTD 0/I/II/III (всего 18%) соответственно.

Подобные результаты получены в ретроспективном исследовании P. Bratina и соавт., в которое вошло 166 новорожденных с расширением ЧЛС вследствие разных причин (медиана возраста первого УЗИ составила 5 дней, медиана периода наблюдения – 24 мес) [15]. Спонтанное разрешение расширения ЧЛС произошло у 70/46/10% пациентов (всего 34%); хирургическое вмешательство проведено 0/14/62% пациентов с категорией UTD I/II/III (всего 34%) соответственно.

По данным F.F. Melo и соавт., классификация UTD показала высокую прогностическую точность вероятности хирургического вмешательства (AUC > 0,90), которое было проведено 29% из 447 детей с изолированным антенатально выявленным гидронефрозом (медиана периода наблюдения 9 лет) [10]. К таким же выводам пришли L.H. Braga и соавт. на основании анализа историй 322 детей с гидронефрозом вследствие обструкции пиелоуретерального соустья (период наблюдения 22 ± 19 мес) [12]. По мнению авторов, классификация UTD позволила стратифицировать риски и прогнозировать клинические исходы на основании данных первичного УЗИ – разделить пациентов с высоким риском необходимости хирургического вмешательства, а также с риском развития инфекции мочевых путей и пациентов, которым хирургическое лечение не требуется. Те же авторы в другой работе исследовали прогностическое значение классификации UTD в определении частоты и времени разрешения расширения ЧЛС у пациентов с антенатально выявленным и постнатально подтвержденным гидронефрозом, которым не проводилось хирургическое лечение [13]. Из 401 ребенка у 82% произошло спонтанное разрешение за время 3-летнего наблюдения с частотой 90/81/71% для категорий UTD I/II/III соответственно. Срок разрешения достоверно различался в зависимости от категории UTD ($p < 0,001$).

C.P. Nelson и соавт. ретроспективно проанализировали истории 494 детей с расширением ЧЛС (медиана возраста первого УЗИ составила 28 дней, медиана периода наблюдения – 20 мес) [14]. Из исследования исключали пациентов, прооперированных в неонатальном периоде. Спонтанное разрешение расширения ЧЛС произошло у 76/50/30/12% пациентов (всего 41%); хирургическое вмешательство проведено 1/1/6/46% пациентов с категорией UTD 0/I/II/III соответственно. На основании отсутствия существенных различий в клинических исходах между пациентами UTD 0 и I авторы делают вывод, что категорию I в классификации UTD можно объединить с категорией 0. Результаты работы C.P.Nelson и соавт. позволили авторам классификации UTD также предположить, что наличие расширения центральных чашечек не увеличивает вероятность серьезной уропатии, вследствие чего категорию UTD I у детей можно считать нормой, особенно при проведении УЗИ в положении пациента на животе [4]. Вероятно, в последующих редакциях классификации UTD категории 0 и I будут объединены, что может способствовать уменьшению количества необоснованных исследований.

Спонтанное разрешение гидронефроза авторы разных публикаций определяли как “нормализацию” ультразвуковой картины и отсутствие клинических проявлений при последующем наблюдении [11, 14, 15] или уменьшение размеров лоханки до 10 мм и менее [13]. В нашей работе подобный исход соответствовал уменьшению категории UTD до 0–I в соответствии с рекомендациями C.P. Nelson и соавт. и H.T.Nguyen и соавт. [4, 14]. Частота уменьшения категории UTD до 0–I у обследованных нами пациентов соответствовала частоте разрешения расширения ЧЛС по данным других авторов. Частота хирургических вмешательств у обследованных нами пациентов с категориями UTD 0–I и III также соответствовала данным других авторов, в то время как детям с категорией UTD II в нашем исследовании операции проводили чаще. Это может быть следствием различий в показаниях к оперативному лечению в разных учреждениях, а также различиями в выборках пациентов в разных исследованиях (включение только детей с изолированным гидронефрозом или с различными уропатиями; исключение пациентов, которым проводилось оперативное лечение или диагностирован ПМР). Еще одна возможная причина – недооценка выраженности патологии МВС при первичном постнатальном УЗИ, вследствие чего пациент изначально включается в группу среднего риска, в при повторном обследовании степень расширения ЧЛС оказывается больше и требуется проведение операции.

Нами не выявлено различий возраста на момент хирургического вмешательства в зависимости от категории UTD, что может объясняться спецификой перинатального центра – в отделении неонатальной хирургии проводятся операции детям в возрасте до года с тяжелой патологией,

выявленной антенатально. Пациенты с уропатиями, которые могут быть прооперированы позже, переходят под наблюдение в другие учреждения.

Такой исход, как отсутствие динамики категории UTD за время наблюдения, оценивался в работе A. Hodhod и соавт., обследовавших 490 пациентов с гидронефрозом с медианой периода наблюдения 22 мес [11]. Категория UTD оставалась прежней у 39% детей, что совпадает с результатами нашего исследования – ультразвуковая картина была стабильной у 42% обследованных нами детей.

Особый интерес представляет анализ подгруппы пациентов с увеличением категории UTD за время наблюдения. Причиной увеличения может быть как истинное ухудшение состояния МВС (нарастание степени стеноза/обструкции, нарастание степени ПМР, присоединение инфекций мочевых путей и т.д.), так и некорректное проведение УЗИ или неверное определение категории UTD при первичном обследовании. Оценку данного исхода в работах других авторов мы не встретили. Можно предположить, что в нашем исследовании в большинстве случаев причиной увеличения категории UTD было не истинное ухудшение, а неверное ее определение при первичном УЗИ в связи с ранним сроком обследования. Детям из данной подгруппы первичное УЗИ проводили достоверно раньше (на 1–2-е сутки жизни ребенка), чем детям с уменьшением и отсутствием изменений категории UTD за период наблюдения (за исключением прооперированных пациентов).

Недооценка степени тяжести гидронефроза возможна при проведении УЗИ до 48 ч жизни из-за физиологической олигурии и дегидратации новорожденного [1, 3]. Поэтому рекомендуется отложить первое УЗИ по крайней мере до 48 ч после рождения [3]. Исключение составляют пациенты с тяжелой предполагаемой патологией: необъяснимым олигогидрамнионом плода, предполагаемой обструкцией на уровне уретры, двусторонним расширением ЧЛС высокой степени, единственной почкой, а также сомнения, что семье будет доступно медобследование и родители будут следовать рекомендациям после ранней выписки из роддома. Второе постнатальное УЗИ рекомендуется провести в 1 мес, даже при отсутствии патологии на первом постнатальном УЗИ [3]. Однако при существующей практике ранней выписки из роддома (на 2–3-и сутки после рождения) неонатологи часто принимают решение все же провести УЗИ новорожденным с антенатально выявленной пиелоэктазией до выписки. Следует учитывать, что результат такого раннего обследования может быть ложноотрицательным.

Ограничениями нашего исследования являются: его ретроспективный характер, короткий период наблюдения пациентов, а также проведение его в одном учреждении – перинатальном центре с традиционными подходами к обследованию и лечению уропатий и особенностями контингента пациентов (новорожденным с тяжелыми уропатиями необходимо проведение хирургического лечения в первые недели жизни, в то время как дети с умеренно выраженными изменениями МВС переходят под наблюдение в другие учреждения).

Заключение

Классификация UTD хорошо коррелирует с исходами: чем больше категория по данным первичного УЗИ, тем реже отмечается ее уменьшение или отсутствие динамики за время наблюдения, чаще необходимо хирургическое лечение. Классификация UTD позволяет стратифицировать риски не только при изолированном гидронефрозе с обструкцией пиелоуретерального соустья, но и при других причинах расширения ЧЛС. Использование классификации UTD в перинатальном центре имеет особенности – высок риск недооценки степени расширения ЧЛС из-за раннего проведения первого УЗИ (в первые 2 сут жизни), в связи с чем необходимо проводить повторное УЗИ на 1-м месяце жизни, даже при отсутствии патологии при первичном ультразвуковом обследовании.

Участие авторов

Сугак А.Б. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, статистический анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи, подготовка работы к публикации.

Бабатова С.И. – участие в научном дизайне, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Филиппова Е.А., Подуровская Ю.Л., Павлова В.С. – участие в научном дизайне, сбор и обработка данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Батдалова З.Н., Пекарева Н.С. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Пыков М.И., Зубков В.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Sugak A.B. – concept and design of the study, collection and analysis of data, statistical analysis and interpretation of the obtained data, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article, preparation the work to publication.

Babatova S.I. – partisipation in scientific design, collection and analysis of data, text preparation and editing.

Filippova E.A., Podurovskaya Y.L., Pavlova V.S. – partisipation in scientific design, collection and analysis of data, approval of the final version of the article.

Batdalova Z.N., Pekareva N.A. – partisipation in scientific design, approval of the final version of the article.

Pykov M.I., Zubkov V.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Гельдт В.Г., Кузовлева Г.И. Диагностика пороков мочевыделительной системы у новорожденных и грудных детей. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2006; 85 (1): 87–94.
   Geldt V.G., Kuzovleva G.I. Diagnosis of the urinary system malformations in newborns and infants. *Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky*. 2006; 85 (1): 87–94. (In Russian)
2. Пороки развития мочевыделительной системы. Глава 40. В кн.: Неонатальная хирургия / Под ред. Ю.Ф.Исакова, Н.Н.Володина, А.В.Гераськина. М.: Изд-во "Династия", 2011: 598–638.
   Malformations of the urinary system. Chapter 40. In: Neonatal surgery / Eds Yu.F. Isakov, N.N. Volodin, A.V. Geraskin. M.: Publishing House "Dynasty", 2011: 598–638. (In Russian)
3. Nguyen H.T., Benson C.B., Bromley B. et al. Multidisciplinary consensus on the classification of prenatal and postnatal urinary tract dilation (UTD classification system). *J. Pediatr. Urol*. 2014; 10 (6): 982–999. https://doi.org/10.1016/j.jpurol.2014.10.002
4. Nguyen H.T., Phelps A., Coley B. et al. 2021 update on the urinary tract dilation (UTD) classification system: clarifications, review of the literature, and practical suggestions. *Pediatr. Radiol*. 2022; 52 (4): 740–751. https://doi.org/10.1007/s00247-021-05263-w
5. Fernbach S.K., Maizels M., Conway J.J. Ultrasound grading of hydronephrosis: introduction to the system used by the Society for Fetal Urology. *Pediatr. Radiol.* 1993; 23 (6): 478–480. https://doi.org/10.1007/BF02012459
6. Onen A. An alternative grading system to refine the criteria for severity of hydronephrosis and optimal treatment guidelines in neonates with primary UPJ-type hydronephrosis. *J. Pediatr. Urol*. 2007; 3 (3): 200–205. https://doi.org/10.1016/j.jpurol.2006.08.002
7. Riccabona M., Avni F.E., Blickman J.G. et al. Imaging recommendations in paediatric uroradiology: minutes of the ESPR workgroup session on urinary tract infection, fetal hydronephrosis, urinary tract ultrasongraphy and voiding cystourethrography. Barcelona, Spain, June 2007. *Pediatr. Radiol.* 2008; 38 (2): 138–145. https://doi.org/10.1007/s00247-007-0695-7
8. Левитская М.В., Меновщикова Л.Б., Голоденко Н.В. и др. Диагностический алгоритм у младенцев с антенатально выявленной пиелоэктазией. *Детская хирургия*. 2012; 1: 7–11.
   Levitskaya M.V., Menovshchikova L.B., Golodenko N.V. et al. Diagnostic algorithm in infants with antenatal pyelectasia. *Pediatric Surgery*. 2012; 1: 7–11. (In Russian)
9. Kadioglu A. Renal measurements, including length, parenchymal thickness, and medullary pyramid thickness, in healthy children: what are the normative ultrasound values? *Am. J. Roentgenol*. 2010; 194: 509–515. https://doi.org/10.2214/AJR.09.2986
10. Melo F.F., Vasconcelos M.A., Mak R.H. et al. Postnatal urinary tract dilatation classification: improvement of the accuracy in predicting kidney injury. *Pediatr. Nephrol*. 2022; 37: 613–623. https://doi.org/10.1007/s00467-021-05254-x
11. Hodhod A., Capolicchio J.P., Jednak R. et al. Evaluation of urinary tract dilation classification system for grading postnatal hydronephrosis. *J. Urol*. 2016; 195 (3): 725–730. https://doi.org/10.1016/j.juro.2015.10.089
12. Braga L.H., McGrath M., Farrokhyar F. et al. Association of initial society for fetal urology grades and urinary tract dilatation risk groups with clinical outcomes in patients with isolated prenatal hydronephrosis. *J. Urol*. 2017; 197 (3, Pt 2): 831–837. https://doi.org/10.1016/j.juro.2016.08.099
13. Braga L.H., McGrath M., Farrokhyar F. et al. Society for Fetal Urology Classification vs Urinary Tract Dilation Grading System for prognostication in prenatal hydronephrosis: a time to resolution analysis. *J. Urol*. 2018; 199 (6): 1615–1621. https://doi.org/10.1016/j.juro.2017.11.077
14. Nelson C.P., Lee R.S., Trout A.T. et al. The association of postnatal urinary tract dilation risk score with clinical outcomes. *J. Pediatr. Urol.* 2019; 15 (4): 341.e1–341.e6. https://doi.org/10.1016/j.jpurol.2019.05.001
15. Bratina P., Kersnik Levart T. Clinical outcome is associated with the Urinary Tract Dilation Classification System grade. *Croat. Med. J.* 2020; 61 (3): 246–251. https://doi.org/10.3325/cmj.2020.61.246

Для корреспонденции*: Сугак Анна Борисовна – тел.: +7-916-201-79-76. E-mail: sugak08@mail.ru

Сугак Анна Борисовна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела ультразвуковой диагностики в неонатологии и педиатрии ФГБУ "НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова" Минздрава России, Москва. http://doi.org/0000-0003-4509-4154

Бабатова Саида Ибрагимовна – врач ультразвуковой диагностики ООО "Детская клиника Кидней", Махачкала. http://doi.org/0000-0003-4245-9840

Филиппова Елена Александровна – канд. мед. наук, руководитель отдела ультразвуковой диагностики в неонатологии и педиатрии ФГБУ "НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова" Минздрава России; доцент кафедры лучевой диагностики детского возраста ФГБОУ ДПО "Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования" Минздрава России, Москва http://doi.org/0000-0002-4964-1736

Батдалова Зульфия Набиюллаевна – канд. мед. наук, ассистент кафедры педиатрии ФПК и ППС ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный медицинский университет" Минздрава России; генеральный директор, врач ультразвуковой диагностики ООО "Детская глиника Кидней", Махачкала. http://doi.org/0000-0002-8370-6986

Подуровская Юлия Леонидовна – канд. мед. наук, заведующая отделом неонатальной и детской хирургии ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. ORCID: 0000-0002-9928-6234.

Павлова Варвара Сергеевна – канд. мед. наук, педиатр ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. http://doi.org/0000-0002-6361-5534.

Пекарева Наталья Аркадьевна – доктор мед. наук, заслуженный врач Российской Федерации, заведующая научно-консультативным педиатрическим отделением ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. http://doi.org/0000-0002-2710-864X.

Пыков Михаил Иванович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики детского возраста ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. http://doi.org/0000-0003-3731-6263.

Зубков Виктор Васильевич – доктор мед. наук, директор Института неонатологии и педиатрии ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; заведующий кафедрой неонатологии ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии им. академика В.И. Кулакова” Минздрава России; профессор кафедры неонатологии ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова” Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. http://doi.org/0000-0001-8366-5208

Contact*: Anna B. Sugak – phone: +7-916-201-79-76. E-mail: sugak08@mail.ru

Anna B. Sugak – Doct. of Sci. (Med.), Leading Researcher in Department of Ultrasound Diagnostics in Neonatology and Pediatrics, Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov, Moscow. http://doi.org/0000-0003-4509-4154.

Saida I. Babatova – M.D., ultrasound diagnostics doctor, LLC “Kidney Children’s Clinic”, Makhachkala. http://doi.org/0000-0003-4245-9840.

Elena A. Filippova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Ultrasound Diagnostics in Neonatology and Pediatrics, Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov; Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics of Children, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. http://doi.org/0000-0002-4964-1736

Zulfiya N. Batdalova – Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Pediatrics, Faculty of Advanced Training and Professional Retraining of Specialists of the Dagestan State Medical University; General Director and ultrasound diagnostics doctor of the “Kidney” Children’s Clinic LLC, Makhachkala. http://doi.org/0000-0002-8370-6986

Yulia L. Podurovskaya – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Neonatal and Child Surgery, Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov, Moscow. http://doi.org/0000-0002-9928-6234

Varvara S. Pavlova – Cand. of Sci. (Med.), pediatrician, Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov, Moscow. http://doi.org/0000-0002-6361-5534.

Natalia A. Pekareva – Doct. of Sci. (Med.), honored doctor of the Russian Federation, head of the scientific advisory pediatric department, Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov, Moscow. http://doi.org/0000-0002-2710-864X.

Michail I. Pykov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics of Children, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. http://doi.org/0000-0003-3731-6263

Viktor V. Zubkov – Doct. of Sci. (Med.), Director of the Institute of neonatology and pediatrics of the Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov; Head of neonatal department of the Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named by V.I. Kulakov; Professor of neonatal department of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. http://doi.org/0000-0001-8366-5208

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1452

Влияние современных технологий компьютерной и магнитно-резонансной томографии на дооперационное стадирование рака поджелудочной железы

© **Жарикова А.В.[1]*, Кондратьев Е.В.[1], Тихонова В.С.[2], Груздев И.С.[1], Ростовцев М.В.[1, 3, 4], Марков П.В.[1], Стручков В.Ю.[1], Кармазановский Г.Г.[1, 5]**

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

[2] ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), ОЛД УКБ 2; 119435 Москва, ул. Погодинская, д.1, стр.1, Российская Федерация

[3] ГБУЗ города Москвы "Городская клиническая больница имени М.Е. Жадкевича (ГКБ № 71) ДЗ города Москвы"; 121374 Москва, Можайское шоссе, д. 14, Российская Федерация

[4] ФГБОУ ДПО "Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования" Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

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

Цель исследования: обзор и анализ зарубежной и отечественной литературы, клинических рекомендаций, посвященных оценке распространенности опухоли протоковой аденокарциномы поджелудочной железы и тактике лечения пациентов с выявленным новообразованием поджелудочной железы.

Материал и методы. Проведен анализ отечественных и зарубежных источников литературы по базам PubMed с использованием ключевых слов "pancreatic cancer", "vascular invasion", "locally advanced cancer", "cancer statistics", "CT", "MRI", "neoadjuvant therapy" за последние 5–10 лет.

В данном обзоре рассмотрены основные методы визуализации, используемые для определения взаимоотношения опухоли с прилежащими магистральными сосудами и оценки резектабельности рака поджелудочной железы.

Заключение. Компьютерная томография и магнитно-резонансная томография с контрастным усилением – первоочередные методы диагностики протоковой аденокарциномы поджелудочной железы. Они высокоинформативны для оценки контакта/вовлечения сосудистых структур, распространенности опухолевого процесса, однако стандартные критерии неинформативны для оценки ответа на химиотерапевтическое лечение, поэтому требуется внедрение альтернативных способов его оценки, одним из которых является радиомика, лежащая в основе работы искусственного интеллекта и программ глубокого машинного обучения.

Ключевые слова: протоковая аденокарцинома поджелудочной железы; вовлечение сосудов; местнораспространенная опухоль; неоадъювантная химиотерапия; КТ; МРТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Жарикова А.В., Кондратьев Е.В., Тихонова В.С., Груздев И.С., Ростовцев М.В., Марков П.В., Стручков В.Ю., Кармазановский Г.Г. Влияние современных технологий компьютерной и магнитно-резонансной томографии на дооперационное стадирование рака поджелудочной железы. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 118–133. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1452

Поступила в редакцию: 13.02.2024. **Принята к печати:** 19.03.2024. **Опубликована online:** 11.04.2024.

The influence of modern computer and magnetic resonance imaging technologies on the preoperative staging of pancreatic cancer

© **Alexandra V. Zharikova[1]*, Evgeny V. Kondratyev[1], Valeriya S. Tikhonova[2], Ivan S. Gruzdev[1], Mikhail V. Rostovtsev[1, 3, 4], Pavel V. Markov[1], Vladimir Yu. Struchkov[1], Grigory G. Karmazanovsky[1, 5]**

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

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

[3] M.E. Zhadkevich City Clinical Hospital (City Hospital No71); 14, Mozhayskoye shosse, Moscow 121374, Russian Federation

[4] 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

[5] Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrivityanova str., Moscow 117997, Russian Federation

Aim. Review and analysis of foreign and domestic literature, clinical recommendations devoted to assessing the prevalence of pancreatic ductal adenocarcinoma (PDAC) tumor and treatment tactics for patients with identified pancreatic tumors.

Materials and methods. An analysis of domestic and foreign literature sources was carried out using PubMed databases using the keywords “pancreatic cancer”, “vascular invasion”, “locally advanced cancer”, “cancer statistics”, “CT”, “MRI”, “neoadjuvant therapy” over the last 5–10 years.

This review examines the main imaging techniques used to determine the relationship of the tumor with adjacent great vessels and assess the resectability of pancreatic cancer.

Conclusion. Contrast-enhanced computed tomography and magnetic resonance imaging are the primary methods for diagnosing streaming adenocarcinoma of the pancreas. They are highly informative for assessing the contact / involvement of vascular structures, the extent of the tumor process, however, standard criteria aren’t informative for assessing the response to chemotherapy treatment, so the introduction of alternative methods for assessing it is required, one of which is radiomics, which underlies the work of artificial intelligence and deep machine learning programs.

Keywords: pancreatic ductal adenocarcinoma; vascular involvement; locally advanced tumor; neoadjuvant chemotherapy; CT; MRI

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

For citation: Zharikova A.V., Kondratyev E.V., Tikhonova V.S., Gruzdev I.S., Rostovtsev M.V., Markov P.V., Struchkov V.Yu., Karmazanovsky G.G. The influence of modern computer and magnetic resonance imaging technologies on the preoperative staging of pancreatic cancer. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 118–133. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1452

Received: 13.02.2024. **Accepted for publication:** 19.03.2024. **Published online:** 11.04.2024.

Введение

Протоковая аденокарцинома поджелудочной железы (ПАКПЖ) – “самый смертоносный рак” с крайне низкой пятилетней выживаемостью 9% [1], являющийся одним из наиболее агрессивных видов рака, сложных для лечения, а также имеющих низкий удельный вес морфологической верификации диагноза (75,8%) [2]. При анализе статистики онкологических заболеваний за последние десятилетия в России и США установлено, что показатели смертности от рака поджелудочной железы возросли [1]. Заболеваемость лиц обоих полов в России в период с 2020 до 2021 г. увеличилась с 12,98 до 13,10%, а мировой показатель за аналогичный период не изменился и составляет 6,79% [2].

Ожидается, что к 2030 г. ПАКПЖ станет одной из ведущих причин смертности от злокачественных новообразований в США [3].

Рак поджелудочной железы чаще поражает мужчин (в структуре заболеваемости онкологическими заболеваниями в России в 2020 г. рак поджелудочной железы составил 3,6% у мужчин и 3,2% у женщин), обнаруживается преимущест-

венно у лиц пожилого возраста (60 лет и старше), средний возраст на момент постановки диагноза – 65 лет [2]. До 71% пациентов к моменту выявления опухоли имеют местнораспространенный процесс, который распространяется за пределы ткани поджелудочной железы на расположенные рядом сосудистые структуры: верхнюю брыжеечную, нижнюю брыжеечную, селезеночную и воротную вены, артерии целиакомезентериального бассейна до такой степени, что единственный вариант лечения – хирургическая резекция опухоли становится технически невозможной ввиду вовлечения магистральных сосудов или отдаленного метастазирования [3].

Хирургическое вмешательство, а именно панкреатодуоденальная резекция или дистальная резекция, является основным вариантом лечения для больных с ПАКПЖ. На основании накопленного опыта и активного развития различных видов химиотерапии выявлено, что мультимодальный подход, включающий в себя хирургическую резекцию и химиотерапию, для данной группы пациентов является методом выбора. Очередность этапов лечения для каждого пациента индивидуальна и, в первую очередь, определяется локальным статусом и стадией заболевания.

Локальный статус или резектабельность ПАКПЖ определяется взаимоотношением образования и основных сосудистых структур забрюшинного пространства, таких как верхняя брыжеечная артерия, чревный ствол, общая печеночная артерия, воротная вена, верхняя брыжеечная и нижняя полая вены [4].

1. Резектабельная опухоль – отсутствие контакта и вовлечения артериальных сосудов или наличие контакта менее половины окружности венозного сосуда, отдаленного метастазирования нет.

2. Пограничо резектабельная опухоль – контакт с артериями до 1/2 окружности и/или вовлечение вен (контакт более 1/2 окружности вены с наличием возможности реконструкции), отдаленного метастазирования нет.

3. Местнораспространенный процесс – контакт с артериями более 1/2 окружности, любого отдаленного метастазирования нет [5].

При наличии отдаленного метастазирования выполнить радикальную резекцию невозможно, поэтому такая ситуация признается неоперабельной, и пациент может получить паллиативную химиотерапию или может быть включен в клиническое исследование [5, 6].

Благодаря совершенствованию химиотерапевтического лечения в последнюю декаду проведение неоадъювантной химиотерапии играет ключевую роль в мультимодальном лечении пациентов не только с погранично резектабельными опухолями, но и с местнораспространенным процессом [7].

Неоадъювантная терапия (НАТ) у пациентов с ПАКПЖ в последнее десятилетие находится в фокусе повышенного внимания благодаря увеличению общей выживаемости больных. Данные рандомизированного многоцентрового исследования показывают, что пациенты, прошедшие неоадъювантное лечение, имеют более длительную безрецидивную общую выживаемость, чем пациенты, прошедшие адъювантную химитерапию (25,5 мес (95% доверительный интервал (ДИ) 19,7–29,7 мес) и 16,7 мес (95% ДИ 11,6–22,2 мес)) [8].

Другое многоцентровое исследование показало, что однолетняя безрецидивная выживаемость после немедленного хирургического вмешательства у пациентов составила 33% (95% ДИ 19–58), а при неоадъювантной химиотерапии с последующей резекцией – 59% (46–74) (отношение рисков 0,53 [95% ДИ 0,28–0,98], p = 0,016)) [9]. У пациентов с погранично резектабельными образованиями НАТ не повышает частоту успешных резекций (R0 – край резекции), но улучшает общую выживаемость [9]. При наличии у пациента местнораспространенного процесса НАТ позволяет провести рестадирование с последующей радикальной резекцией [7].

Лучевая диагностика рака поджелудочной железы

Ввиду отсутствия ранних симптомов заболевания, тенденции рака поджелудочной железы к быстрому распространению и метастазированию на ранних стадиях для повышения выживаемости пациентов решающее значение имеет раннее выявление опухоли. Лучевые методы диагностики играют ведущую роль как в ранней диагностике, стадировании рака поджелудочной железы, так и в динамическом наблюдении пациентов во время и после лечения.

К целям диагностического этапа можно отнести:

– первичную диагностику;

– дифференциальную диагностику образований поджелудочной железы;

– стадирование процесса (резектабельность или выявление отдаленных метастазов);

– определение индивидуальных особенностей сосудистой анатомии (КТ).

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) – наиболее точный метод оценки местной распространенности рака поджелудочной железы. ЭндоУЗИ не рекомендуется как метод, заменяющий КТ в диагностике инвазии сосудистого русла, но может быть методом, дополняющим КТ

при возникновении затруднений в оценке сосудистого русла по итогам выполненной КТ [10].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) в случае невозможности выполнить МСКТ и эндоУЗИ, может дать достаточно информации для оценки контакта опухоли с сосудистыми структурами, но лишь при условии, что толщина среза последовательностей, выполненных с контрастным усилением, не превышает 2 мм, чем толще срез, тем меньше пространственное разрешение и ниже точность оценки распространения опухоли на сосудистую стенку. ПЭТ/КТ без контрастного усиления не может заменить ни КТ, ни МРТ в оценке распространенности рака поджелудочной железы, в случае, если есть возможность выполнить с внутривенным контрастным усилением (КТ-часть), может стать адекватной альтернативой.

Таким образом, "золотым стандартом" визуализации рака поджелудочной железы является КТ с контрастным усилением, которая обладает рядом преимуществ относительно других лучевых методов, такими как высокое пространственное и временно́е разрешение, а также высокая доступность. Однако КТ имеет также ряд недостатков – в первую очередь, это лучевая нагрузка, необходимость внутривенного введения йодсодержащего контрастного препарата, кроме того, ввиду особенностей васкуляризации небольшие очаги как в самой поджелудочной железе, так и метастатические очаги в печени могут быть пропущены врачом при интерпретации данных [6, 10, 11].

МРТ может быть источником дополнительной информации относительно типа обнаруженного образования, в первую очередь, для дифференциальной диагностики рака поджелудочной железы и хронического панкреатита, в том числе аутоиммунного [10].

МРТ рекомендуется назначать для детальной оценки структуры печени и исключения ее метастатического поражения, в частности, МР-диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) и МРТ с применением гепатоспецифического контрастного препарата обладают наибольшей диагностической точностью при поиске метастатических очагов, в том числе небольшого размера [12, 13].

КТ-семиотика

На компьютерных томограммах рак поджелудочной железы (рис. 1–3) в большинстве случаев выглядит как гиподенсное/гиповаскулярное образование на изображениях артериальной и венозной фаз контрастирования, слабо накапливает контрастное вещество к отсроченной фазе. Однако в 11–27% образование может быть изоденсно неизмененной ткани поджелудочной железы. Сложность диагностики таких вариантов заключается в том, что выявить изоденсные обра-

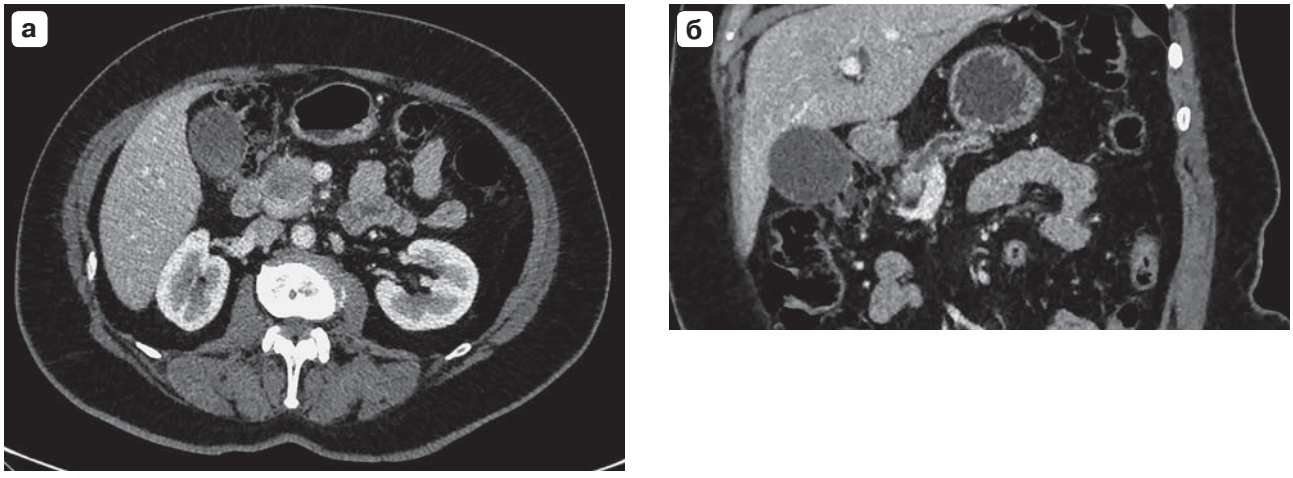


Рис. 1. Протоковая аденокарцинома головки поджелудочной железы, КТ-изображения. **а** – в портальную фазу исследования контрастного усиления на аксиальной плоскости определяется гиповаскулярное образование головки поджелудочной железы, контактирующее с верхней брыжеечной артерией без признаков инвазии; **б** – портальная фаза исследования контрастного усиления, криволинейная реконструкция, расширение главного панкреатического протока с блоком на уровне опухоли.

Fig. 1. Ductal adenocarcinoma of the head of the pancreas, CT images. **a** – in the portal phase of the study of contrast enhancement on the axial plane, a hypovascular formation of the head of the pancreas is determined, in contact with the superior mesenteric artery without signs of invasion; **б** – portal phase of contrast enhancement study, curvilinear reconstruction, expansion of the main pancreatic duct with a block at the tumor level.

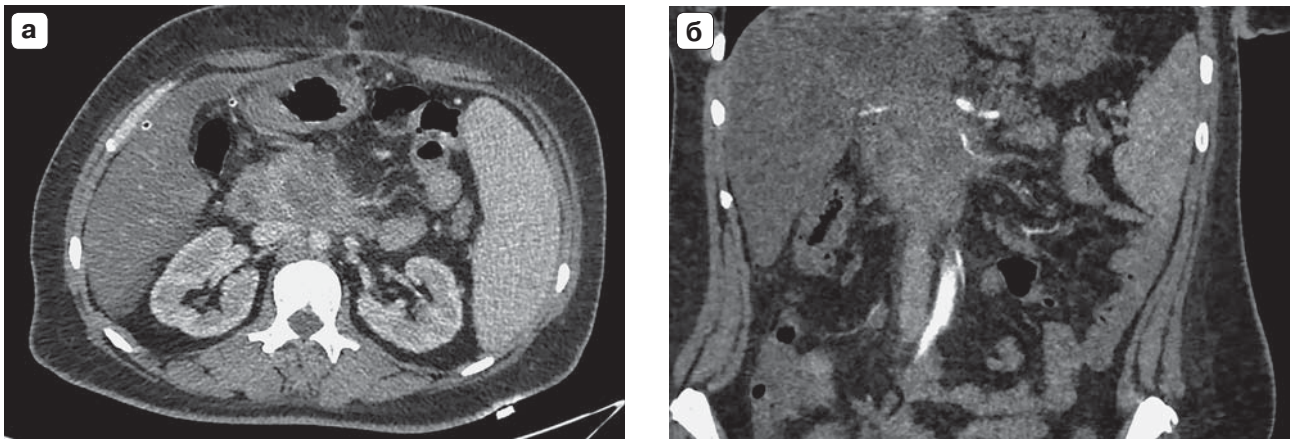


Рис. 2. Местнораспространенная гиповаскулярная опухоль головки поджелудочной железы (с-г) с признаками сосудистой инвазии, КТ-изображения. **а** – в портальную фазу исследования контрастного усиления на аксиальной плоскости определяется гиповаскулярное образование головки поджелудочной железы, опухолевые инфильтративные изменения распространяются на ворота печени и двенадцатиперстную кишку; **б** – артериальная фаза контрастного усиления, фронтальная плоскость, верхняя брыжеечная артерия (ВБА) проходит в структуре опухолевого инфильтрата, стенки ВБА деформированы, просвет выраженно сужен.

Fig. 2. Locally advanced hypovascular tumor of the head of the pancreas (c-r) with signs of vascular invasion, CT images. **a** – in the portal phase of the study of contrast enhancement on the axial plane, a hypovascular formation of the head of the pancreas is determined, tumor infiltrative changes extend to the porta hepatis and duodenum; **б** – arterial phase of contrast enhancement, frontal plane, the superior mesenteric artery (SMA) passes through the structure of the tumor infiltrate, the walls of the SMA are deformed, the lumen is markedly narrowed.

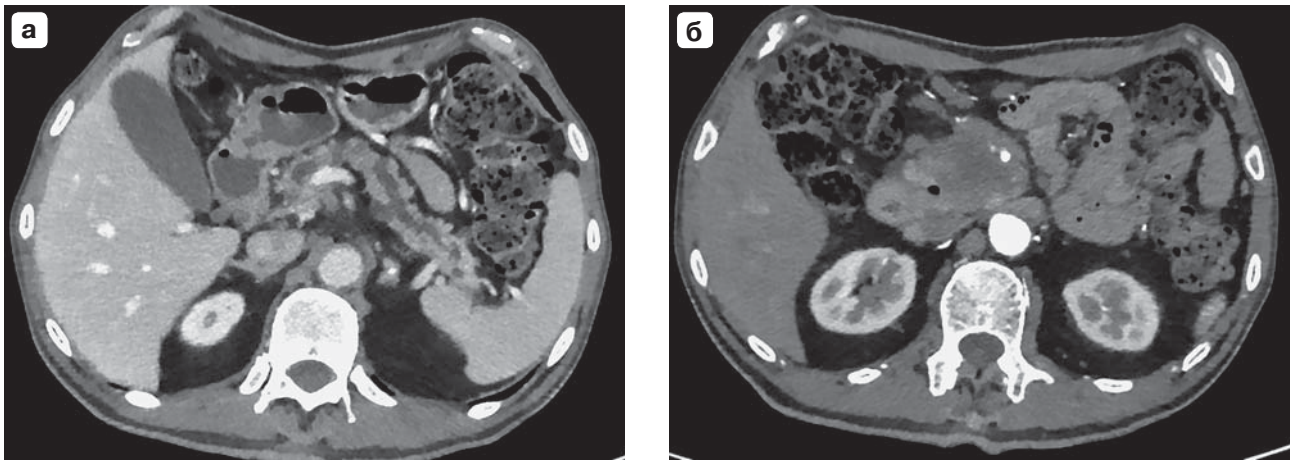


Рис. 3. Местнораспространенная опухоль головки поджелудочной железы (верифицированная аденокарцинома) с инвазией магистральных сосудов и корня брыжейки тонкой кишки, КТ-изображения. **а** – портальная фаза исследования контрастного усиления, аксиальная плоскость, расширение главного панкреатического протока до 7 мм с блоком на уровне опухоли; **б** – артериальная фаза контрастного усиления, аксиальная плоскость, опухоль инвазирует верхнюю брыжеечную артерию, панкреатодуоденальные и тощекишечные ветви (инвазия корня брыжейки).

Fig. 3. Locally advanced tumor of the head of the pancreas (verified adenocarcinoma) with invasion of the great vessels and the root of the mesentery of the small intestine, CT images. **a** – portal phase of contrast enhancement study, axial plane, dilation of the main pancreatic duct to 7 mm with a block at the level of the tumor; **б** – arterial phase of contrast enhancement, axial plane, the tumor invades the superior mesenteric artery, pancreaticoduodenal and jejunal branches (invasion of the mesenteric root).

зования крайне трудно, и на ранних стадиях такого заболевания частота ложноотрицательных результатов диагностики может быть катастрофичной. Наличие изоденсного образования можно заподозрить при наличии ряда косвенных признаков: локальное расширение протока поджелудочной железы, локальное расширение общего желчного протока, симптом "двойного протока" (расширены проток поджелудочной железы и общий желчный проток), утрата дольчатой структуры паренхимы поджелудочной железы [14].

МРТ-семиотика

МРТ равноценна КТ в отношении выявления опухоли (зачастую помогает лучше визуализировать образования малых размеров 2–3 см), оценки вовлечения сосудов и резектабельности [15].

На МР-томограммах ПАКПЖ (рис. 4, 5) гипоинтенсивна на Т1ВИ, слабогиперинтенсивна (с мелкими включениями гиперинтенсивного сигнала) на Т2ВИ, на ДВИ может быть ограничение диффузии, однако при выраженном ограничении диффузии ПАКПЖ необходимо дифференцировать с аутоимунным панкреатитом. Диффузные, множественные области с высокой интенсивностью сигнала на ДВИ предполагают аутоимунный панкреатит, в то время как ПАКПЖ характеризуется локальными зонами высокого сигнала на ДВИ [16].

Применение контрастного усиления (парамагнитный гадолинийсодержащий препарат) помогает увеличить разницу между сигналом от паренхимы поджелудочной железы и участком, подозрительным на новообразование [13].

ДВИ визуализируют патологические зоны как участки ограничения диффузии с низким сигналом на картах исчисляемого коэффицента диффузии (ИКД). Чувствительность и специфичность режима ДВИ достигают 96,2 и 98,6% соответственно [13, 14].

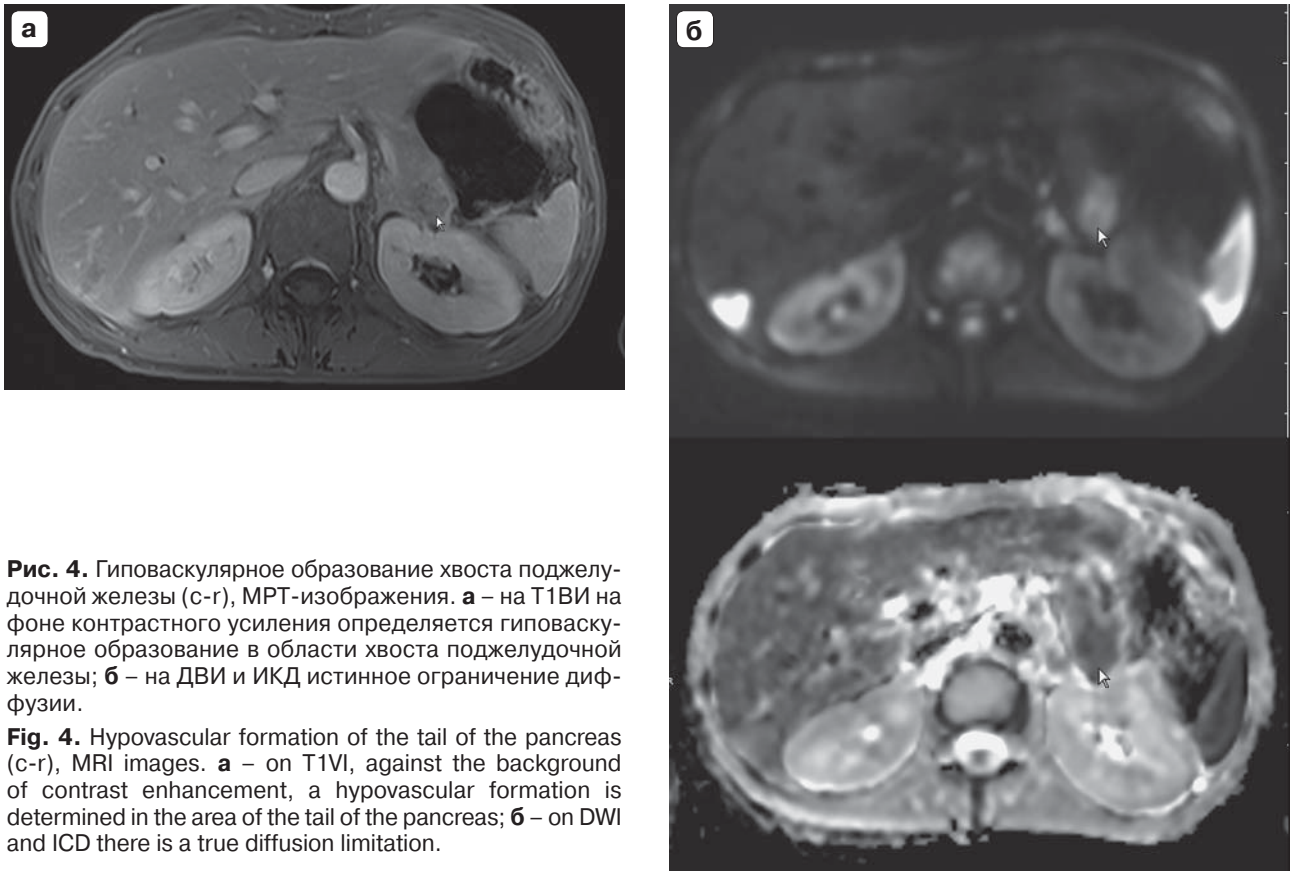


Рис. 4. Гиповаскулярное образование хвоста поджелудочной железы (с-г), МРТ-изображения. **а** – на Т1ВИ на фоне контрастного усиления определяется гиповаскулярное образование в области хвоста поджелудочной железы; **б** – на ДВИ и ИКД истинное ограничение диффузии.

Fig. 4. Hypovascular formation of the tail of the pancreas (c-r), MRI images. **a** – on T1VI, against the background of contrast enhancement, a hypovascular formation is determined in the area of the tail of the pancreas; **б** – on DWI and ICD there is a true diffusion limitation.

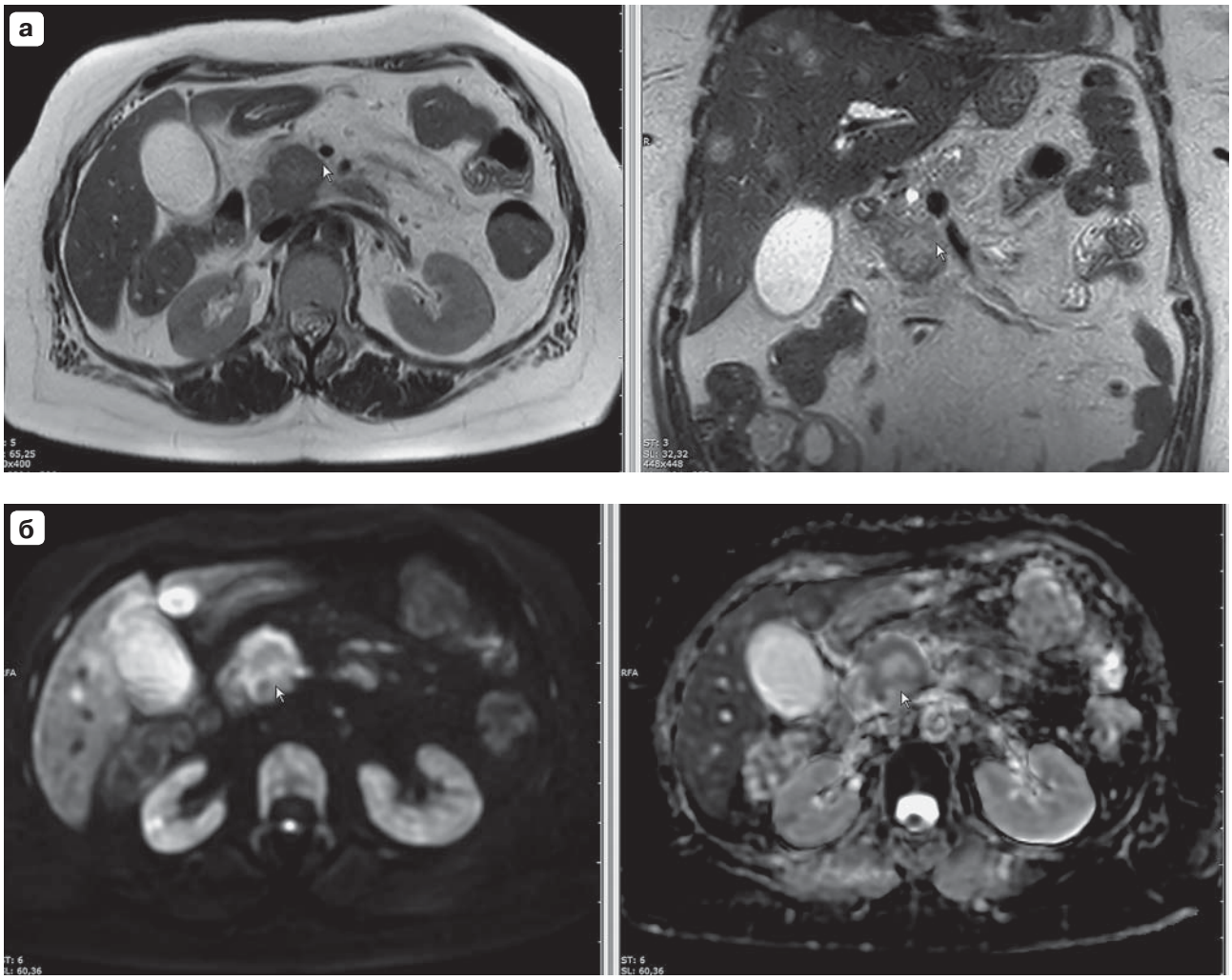


Рис. 5. Опухоль головки поджелудочной железы. **а** – на T2ВИ, аксиальная плоскость, на уровне головки поджелудочной железы гипоинтенсивное образование 4 см; **б** – на ДВИ и ИКД образование ограничивает диффузию.

Fig. 5. Tumor of the head of the pancreas. **а** – on T2VI, axial plane, at the level of the head of the pancreas there is a hypointense formation of 4 cm; **б** – on DWI and ICD, the formation limits diffusion.

Стадирование рака поджелудочной железы

Для стадирования рака поджелудочной железы используется система TNM, 8-е издание (табл. 1, 2) [6, 13].

Оценка распространенности опухоли поджелудочной железы

Главной задачей инструментального исследования, в частности КТ, является оценка распространения опухолевого процесса на магистральные сосуды.

Аксиальные, фронтальные, сагиттальные срезы и реконструкции помогают более достоверно и объективно оценить взаимоотношение между опухолью и крупными артериями, венами, а также стенками близлежащих органов (желудок, двенадцатиперстная кишка, селезенка) [13].

Резектабельность рака поджелудочной железы обусловлена взаимоотношениями опухоли с прилежащими магистральными сосудами (чревным стволом, общей печеночной артерией, верхней брыжеечной артерией, верхней брыжеечной веной, воротной веной и нижней полой веной) [4, 10].

Для того чтобы врачи разных специальностей хорошо понимали друг друга, существуют термины, которые, в нашем случае, позволяют лучевым диагностам и хирургам правильно определять тактику ведения пациента.

Таблица 1. Стадирование рака поджелудочной железы по системе TNM (8-е издание) [6, 13]
Table 1. TNM staging of pancreatic cancer (8th edition)

Первичная опухоль (T) / Primary tumor (T):
Tx – недостаточно данных для оценки первичной опухоли insufficient data to assess the primary tumor
Tis – carcinoma *in situ* (по сути “инциденталома”, от англ. “случай”, “побочное обстоятельство”) carcinoma *in situ* (essentially “incidentaloma”, from the English “case”, “side circumstance”)
T1 – опухоль ограничена поджелудочной железой, в наибольшем измерении размер не превышает 2 см. В зависимости от степени дифференцировки опухолевой ткани она может хорошо или плохо отличаться от неизмененной паренхимы поджелудочной железы (высокодифференцированная аденокарцинома зачастую плохо визуализируется) the tumor is limited to the pancreas, in the greatest dimension the size does not exceed 2 cm. Depending on the degree of differentiation of the tumor tissue, it can differ well or poorly from the unchanged pancreatic parenchyma (well-differentiated adenocarcinoma is often poorly visualized)
T1 подразделяется на 3 группы / T1 is divided into 3 groups:
T1A – опухоль до 0,5 см в наибольшем измерении tumor up to 0.5 cm in greatest dimension
T1B – опухоль больше 0,5 см, но не более 1 см в наибольшем измерении tumor larger than 0.5 cm, but not more than 1 cm in greatest dimension
T1C – опухоль больше 1 см, но не более 2 см в наибольшем измерении tumor larger than 1 cm, but not more than 2 cm in greatest dimension
T2 – опухоль более 2 см, в наибольшем измерении не превышает 4 см tumor more than 2 cm, in greatest dimension does not exceed 4 cm
T3 – в наибольшем измерении опухоль более 4 см; выходит за пределы поджелудочной железы tumor is more than 4 cm in greatest dimension; extends beyond the pancreas
T4 – есть вовлечение в опухолевый процесс чревного ствола, верхней брыжеечной артерии, общей печеночной артерии вне зависимости от размера опухоли there is involvement in the tumor process of the celiac trunk, superior mesenteric artery, common hepatic artery, regardless of the size of the tumor
Регионарные лимфатические узлы / Regional lymph nodes:
NX – недостаточно данных для оценки регионарных лимфатических узлов insufficient data to evaluate regional lymph nodes
N0 – нет признаков метастатического поражения регионарных лимфатических узлов no signs of metastatic damage to regional lymph nodes
N1 – наличие метастазов в 1–3 регионарных лимфатических узлах presence of metastases in 1–3 regional lymph nodes
N2 – наличие метастазов в 4 или более регионарных лимфатических узлах the presence of metastases in 4 or more regional lymph nodes
Отдаленные метастазы (M) / Distant metastases (M):
M0 – нет отдаленных метастазов no distant metastases
M1 – есть отдаленные метастазы there are distant metastases

Таблица 2. Хирургическое стадирование опухолей поджелудочной железы [6, 13]
Table 2. Surgical staging of pancreatic tumors

Стадия 0 / Stage 0 (TisN0M0)
Стадия 1а / Stage 1a (T1N0M0)
Стадия 1б / Stage 1b (T2N0M0)
Стадия 2а / Stage 2a (T3N0M0)
Стадия 2б / Stage 2b (T1–3N1M0)
Стадия 3 / Stage 3 (T4N0–1M0)
Стадия 4 / Stage 4 (T1–4N0M1)

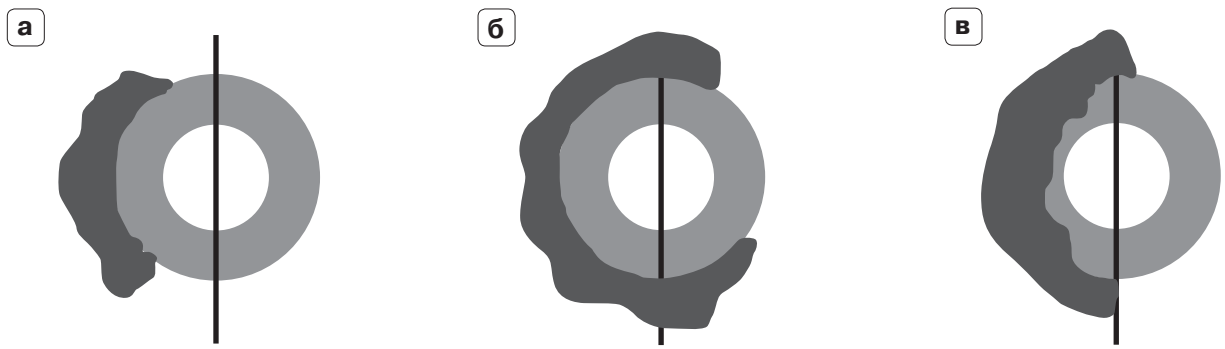


Рис. 6. Взаимосвязь опухоли и сосуда. **а** – контакт, **б** – вовлечение, **в** – деформация просвета.
Fig. 6. Relationship between tumor and vessel. **а** – contact, **б** – involvement, **в** – lumen deformation.

Таблица 3. Сравнение критериев резектабельности различных классификаций
Table 3. Comparison of resectability criteria for different classifications

Вовлечение сосудов Vascular involvement	**NCCN 2023**	**MDACC**	**ACTO**	**AHPBA / SSAT/ SSO**
Контакт с ЧС (⩽180°) Contact with CT (⩽180°)	ПР BR	ПР BR	ПР BR	ПР BR
Вовлечение ЧС (>180°) Involvement of CT (>180°)	ПР (тело/ хвост), **МР (головка / крючковидный отросток)** BR (body/tail), **LA (head/uncinate process)**	НР Unr	НР Unr	НР Unr
Контакт ВБА (<180°) SMA contact (<180°)	ПР BR	ПР BR	ПР BR	ПР BR
Вовлечение ВБА (>180°) SMA involvement (>180°)	**МР** **LR**	**НР** **Unr**	**НР** **Unr**	**НР** **Unr**
ОПА контакт или вовлечение CHA contact or involvement	ПР BR	ПР BR	ПР BR	ПР BR
ВВ/ВБВ вовлечение (>180°), контакт (⩽180°) с неровностью контура PV/SMV involvement (>180°), contact (⩽180°) with contour irregularity	ПР BR	ПР BR	ПР BR	ПР BR

Примечание. NCCN 2023 (National Comprehensive Cancer Network), MDACC (The university of Texas MD Anderson Cancer Center), ACTO (Association of Clinical Trails Organizations), AHPBA/SSAT/ SSO (American Hepato-Pancreato-Billary Association; Society of Surgery of the Alimentary Tract; Society for Surgery Oncology.
ПР – погранично резектабельная, МР – местнораспространенная, НР – нерезектабельная, ЧС – чревный ствол, ВБА – верхняя брыжеечная артерия, ОПА – общая печеночная артерия, ВВ – воротная вена, ВБВ – верхняя брыжеечная вена.

Note. NCCN 2023 (National Comprehensive Cancer Network), MDACC (The university of Texas MD Anderson Cancer Center), ACTO (Association of Clinical Trails Organizations), AHPBA/SSAT/ SSO (American Hepato-Pancreato-Billary Association; Society of Surgery of the Alimentary Tract; Society for Surgery Oncology.
BR – borderline resectable, LA – locally advanced, Unr – unresectable, CT – celiac trunk, SMA – superior mesenteric artery, CHA – common hepatic artery, PV – portal vein, SMV – superior mesenteric vein.

Терминология взаимосвязи опухоли и сосуда (рис. 6):

1) *контакт* – изменение периваскулярной клетчатки вокруг сосуда не более 1/2 окружности (<180°);

2) *вовлечение* – изменение клетчатки более 1/2 окружности (> 180°);

3) *деформация просвета*.

Критерии вовлечения артериальных сосудов (чувствительность и специфичность данных критериев 79 и 99% соответственно):

– контакт сосуда и опухоли более чем на 50% (180°) его окружности;

– неровность стенки или уменьшение калибра артерии.

Критерии вовлечения венозных сосудов:

– контакт сосуда и опухоли более 50% (180°) его окружности;

– контакт менее 50% (180°) при наличии деформации просвета, тромба [4].

Существует несколько классификаций, разработанных для оценки резектабельности неметастатического рака поджелудочной железы с учетом вовлеченности сосудистых структур в процесс: NCCN 2023 (National Comprehensive Cancer), MDACC (The university of Texas MD Anderson Cancer Center), ACTO (Association of Clinical Trails Organizations), AHPBA/SSAT/ SSO (American Hepato-Pancreato-Billary Association; Society of Surgery of the Alimentary Tract; Society for Surgery Oncology (табл. 3) [10, 17–19].

Ввиду значительного улучшения в последние годы результатов неоадъювантного лечения опухоль, локализующуюся в головке и крючковидном отростке поджелудочной железы с вовлечением чревного ствола (>180°) и вовлечением верхней брыжеечной артерии (>180°), в критериях NSSN, в отличие от остальных сообществ, относят к местнораспространенной опухоли, следовательно, у пациентов появляется возможность выполнить единственный радикальный способ лечения – хирургический [6, 10, 20].

Оценка поражения лимфатических узлов (N)

Регионарными лимфатическими узлами для опухоли головки поджелудочной железы являются: лимфатические узлы общей печеночной артерии, воротной вены, пилорические, инфрапилорические, субпилорические, проксимальные брыжеечные, чревные, верхние и задние панкреатодуоденальные, вдоль верхней брыжеечной вены и правой латеральной стенки верхней брыжеечной артерии, лимфатические узлы вдоль общего желчного протока.

Регионарными лимфатическими узлами для опухоли тела и хвоста поджелудочной железы являются: лимфатические узлы вдоль общей печеночной артерии, чревного ствола, селезеночной артерии, ворот селезенки, забрюшинные и латеральные аортальные лимфатические узлы [6, 21].

Адекватное послеоперационное стадирование предполагает морфологическое изучение минимум 12 лимфатических узлов.

Как и при хирургическом лечении других злокачественных новообразований, одним из наиболее спорных аспектов резекции ПАКПЖ является степень удаления окружающей соединительной ткани и лимфатических узлов. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что метастазирование в лимфатические узлы происходит на ранних этапах развития заболевания и его прогрессирования, при этом наличие опухолевых клеток в лимфатических узлах представляет собой неблагоприятный прогностический фактор наряду с вовлечением сосудистых структур в отношении результатов лечения пациентов [21, 22].

Консервативный хирургический подход при раке головки поджелудочной железы, по мнению одних авторов, подразумевает выполнение панкреатодуоденальной резекции с локорегионарной лимфаденэктомией, тогда как другие, особенно японские группы ученых, указывают на необходимость более обширного вмешательства с удалением забрюшинных мягких тканей и расширенной лимфаденэктомией, что, по их мнению и результатам их исследований, приведет к росту безрецидивной выживаемости и продолжительности жизни пациентов [23–31].

Данные нескольких рандомизированных контролируемых исследований [23, 31] показали, что расширенная лимфаденэктомия не улучшает выживаемость по сравнению с традиционной, более консервативной резекцией, в то же время отмечено снижение качества жизни пациентов при расширенных вмешательствах.

Оценка N-статуса рака поджелудочной железы может проводиться с помощью любого из доступных методов, описанных ранее, при наличии выполненной КТ или МРТ с контрастным усилением не требуется выполнения дополнительных исследований для оценки вовлеченности лимфатических узлов.

При оценке N-статуса важно различать регионарные и экстрарегионарные лимфатические узлы. Состояние регионарных лимфатических узлов не влияет на возможность выполнения вмешательства на поджелудочной железе, так как при выполнении вмешательства хирург производит лимфо-

диссекцию данных групп лимфатических узлов. С точки зрения стадирования наиболее важно исключить метастатическое поражение экстрарегионарных лимфатических узлов, к ним относятся парааортальные лимфатические узлы групп 16a и 16b [32, 33]. В случае поражения данных групп лимфатических узлов процесс считается распространенным, то есть имеются отдаленные метастазы.

Тактика ведения пациента в зависимости от стадии образования поджелудочной железы

У пациентов с резектабельным раком поджелудочной железы I–III стадии (T1–3N0–1M0) рекомендуется комбинированное лечение, включающее операцию с выполнением адъювантной или периоперационной химиотерапии [6].

На первом этапе при резектабельном раке поджелудочной железы, согласно рекомендациям RUSSCO, рекомендуется проведение хирургического лечения, однако существует альтернативный метод, позволяющий увеличить частоту R0-резекций. К такому методу относится периоперационная химиотерапия в течение 2–3 мес до операции и 3–4 мес после операции. При отсутствии противопоказаний предпочтительными режимами являются FOLFIRINOX или комбинации гемцитабина и паклитаксел+альбумин [6].

У пациентов с погранично резектабельным раком пожелудочной железы (T3–4N0–1M0) рекомендуется проведение предоперационной химиотерапии с последующей оценкой результатов; при отсутствии отрицательной динамики рекомендуется выполнение операции [6, 34].

У пациентов с местнораспространенным раком пожелудочной железы (T3–4N0–1M0) рекомендуется проведение индукционной терапии с последующей повторной оценкой резектабельности [6, 10].

Результаты неоадъювантной терапии

После проведения НАТ возможно несколько вариантов изменения статуса опухоли поджелудочной железы: стабилизация заболевания (обусловлено отсутствием прогрессии, появления метастатических очагов, роста образования), прогрессия заболевания (рост образования более 20% от исходного размера, появление метастатических очагов), частичный ответ (регрессия образования с уменьшением размера более 30%). Последний вариант развития событий встречается крайне редко при раке поджелудочной железы, в своей практике вы столкнетесь преимущественно с первыми двумя вариантами [35]. В исследовании P. Ghaneh и соавт. частичный ответ был получен только у 6 (13%) пациентов из 46 [9]. Следует понимать, что применение НАТ приводит к увеличению периода ожидания оперативного вмешательства, что, в свою очередь, также может увеличить риск прогрессии заболевания, и положительного края резекции, также побочные эффекты терапии могут ослабить пациента и тем самым повысить риск отказа от вмешательства, периоперационной летальности и частоты послеоперационных осложнений.

Согласно исследованию C. Springfeld и соавт., у пациентов с погранично резектабельными образованиями проведение курса НАТ перед операцией (в течение 2 мес) увеличивает 12-месячную общую выживаемость примерно до 77% по сравнению с 40% для стратегии “Surgery first”, а более длительный курс лечения (в течение 4 мес) может привести к 18-месячной общей выживаемости 67% [36]. А у пациентов с резектабельным раком поджелудочной железы, которые могут получать адъювантную химиотерапию (обычно в течение 6 мес), можно ожидать пятилетнюю общую выживаемость на уровне 30–50% [36].

Мультицентровое рандомизированное исследование ESPAC-5 показало, что НАТ не повышает частоту успешных резекций у пациентов с погранично резектабельным раком, но улучшает общую выживаемость [9].

Пациенты с местнораспространенным раком поджелудочной железы могут стать подходящими для резекции после 4–6 мес неоадъювантной химиотерапии с лучевой терапией или без нее с улучшенной общей выживаемостью по сравнению с теми, кому операцию не выполняли [36].

Как оценить ответ на химиотерапию?

Несмотря на то что КТ является “золотым стандартом” в диагностике рака поджелудочной железы, в 2012 г. M.H. Katz и соавт. [37] и в 2015 г. C.R. Ferrone и соавт. [38] предположили, что КТ, а также используемые критерии RECIST не подходят для оценки резектабельности опухоли после НАТ (FOLFIRINOX). Это связано с различными факторами. Во-первых, из-за недостаточного контрастного разрешения на границе опухоль–сосуд оценка остаточной жизнеспособной опухоли и изменений, вызванных после лечения (без жизнеспособной опухоли), крайне затруднительна [39]. Во-вторых, замещение раковых клеток фиброзной и некротической тканью на фоне лечения невозможно отличить от остаточного рака. Более того, местный воспалительный панкреатит у пациентов

с ПАКПЖ также нельзя отличить от опухолевой инфильтрации, и область опухолевой инфильтрации замещается фиброзной тканью на фоне лечения, что не приводит к явным изменениям размера опухоли [38, 40, 41]. Только у небольшого числа пациентов наблюдается уменьшение опухоли после неоадъювантной химиотерапии, и большинство пациентов (53–80%) не имеют никаких морфологических изменений на компьютерной томограмме [42].

Также нельзя доверять данным КТ о наличии контакта/вовлечения сосуда на фоне проводимой неоадъювантной химиотерапии. Все эти факторы приводят к недооценке резектабельности опухоли [39, 43].

Способы оценки ответа на химиотерапию

Для оценки ответа на неоадъювантную химиотерапию используется ряд критериев, стоит отметить, что они не обладают высокой чувствительностью и специфичностью.

К критериям оценки частичного ответа на НАТ относятся [39, 44]:

1) частичное уменьшение протяженности контакта опухоли с сосудами (измерения протяженности контакта достаточно субъективны);

2) появление признака периваскулярного “гало” (изменение периваскулярной клетчатки);

3) изменение плотности образования (абсолютные значения плотности образования не являются информативными в отношении ответа на НАТ);

4) уменьшение размеров образования (не каждое образование может уменьшиться в размере на фоне НАТ и отсутствие уменьшения образования нельзя расценивать как отсутствие ответа на НАТ);

5) стоит учитывать показатели CA19-9 <200 ЕД/мл.

Минимальные изменения структуры, объема опухоли, отсутствие прогрессии свидетельствуют о вероятном хорошем ответе на химиотерапию и высокой вероятности R0-резекции [39].

Аналогично с КТ такие методики исследования, как МРТ с ДВИ и ПЭТ/КТ, не предпочтительны для оценки эффективности проводимого химиотерапевтического лечения [44].

МРТ с ДВИ в исследовании C. Zimmerman и соавт. [44] показала, что ADC значимо не изменялся в течение НАТ, а ПЭТ/КТ показывает изменения метаболической активности опухоли на фоне химиотерапии, но это слишком дорогостоящий метод исследования, который затруднительно назначать пациенту. В более ранних исследованиях повышение ADC – независимый предиктор безрецидивной выживаемости [45].

Заключение

Для повышения качества диагностического этапа необходимо разрабатывать и внедрять вспомогательные программы оценки эффективности проводимого лечения. Медицина одна из передовых областей науки, где активно развиваются и внедряются новые технологии. Одним из таких направлений является радиомика, которая лежит в основе работы искусственного интеллекта и программ машинного обучения. Данная технология позволяет устанавливать связь между морфологией области интереса и фенотипом визуализации. В условиях прогнозируемого увеличения числа больных с ПАКПЖ решение вопросов, связанных с оценкой эффективности проводимого лечения, становится актуальнейшей задачей. В опубликованных работах, несмотря на разнородность полученных результатов, активно ведется поиск биомаркеров визуализации в решении вопросов оценки результатов неоадъювантной химиотерапии и лучевой терапии. К примеру, у пациентов после химиолучевого лечения были выявлены значительные закономерности в радиомических характеристиках, которые можно использовать для оценки раннего ответа на лечение [40].

В исследовании L. Cozzi и соавт. у пациентов после стереотаксической лучевой терапии были выявлены клинико-радиомные данные, которые коррелировали с общей выживаемостью [46]. Еще одно недавнее исследование показало, что объединение данных уровня CA19-9 в сыворотке крови и дельта-радиомики (изменение показателей в динамическом наблюдении у пациента на фоне лечения) улучшает показатели прогноза ответа на лечение по сравнению с данными радиомики или только с данными уровня маркера [47].

Исследования радиомики в области оценки эффективности неоадъювантной химиотерапии также выявили характерные параметры, коррелирующие с безрецидивной выживаемостью у пациентов [40, 48].

Существует несколько исследований в оценке инвазии магистральных сосудов в патологический процесс, в частности верхней брыжеечной вены и артерии, при помощи радиомики [49–51].

Однако исследований, посвященных изучению периваскулярных изменений на фоне проводимого лечения, опубликовано не было.

Несомненный плюс радиомики в том, что она открывает новые возможности уже доступных методов диагностики. Использование новых алгоритмов, основанных на математическом анализе, позволит в дальнейшем повысить точность предоперационной диагностики.

Участие авторов

Жарикова А.В. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Кондратьев Е.В. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Тихонова В.С. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста.

Груздев И.С. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Ростовцев М.В. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Марков П.В. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Стручков В.Ю. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Кармазановский Г.Г. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Zharikova A.V. – concept and design of the study, review of publications, writing text, preparation and creation of the published work.

Kondratyev E.V. – concept and design of the study, review of publications, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Tikhonova V.S. – concept and design of the study, review of publications, writing text.

Gruzdev I.S. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Rostovtsev M.V. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Markov P.V. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Struchkov V.Yu.– collection and analysis of data, text preparation and editing.

Karmazanovsky G.G. – text preparation and editing, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. ACS Journals, Cancer statistics 2020. http://doi.org/10.3322/caac.21590
2. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность) / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. 2021. Malignant neoplasms in Russia in 2020 (morbidity and mortality) / Eds A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. 2021. (In Russian)
3. Park W., Chawla A., O'Reilly E.M. Pancreatic Cancer: A Review. *JAMA*. 2021; 326 (9): 851–862. https://doi.org/10.1001/jama.2021.13027
4. Buchs N.C., Chilcott M., Poletti P.-A. et al. Vascular invasion in pancreatic cancer: Imaging modalities, preoperative diagnosis and surgical management. *Wld J. Gastroenterol*. 2010; 16 (7): 818–831. https://doi.org/10.3748/wjg.v16.i7.818
5. Al-Hawary M.M., Francis I.R., Chari S.T. et al. Pancreatic ductal adenocarcinoma radiology reporting template: consensus statement of the Society of Abdominal Radiology and the American Pancreatic Association. *Radiology*. 2014; 270 (1): 248–260. https://doi.org/10.1148/radiol.13131184
6. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения РФ "Рак поджелудочной железы, 2021 год" https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/355_4 Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation, pancreatic cancer, 2021". https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/355_4 (In Russian)
7. Gugenheim J., Crovetto A., Petrucciani N. Neoadjuvant therapy for pancreatic cancer. *Updates Surg*. 2022; 74 (1): 35–42. https://doi.org/10.1007/s13304-021-01186-1
8. Seufferlein T., Uhl W., Kornmann M. et al. Perioperative or only adjuvant gemcitabine plus nab-paclitaxel for resectable pancreatic cancer (NEONAX) – a randomized phase II trial of the AIO pancreatic cancer group. *Ann. Oncol*. 2023; 34 (1): 91–100. https://doi.org/10.1016/j.annonc.2022.09.161
9. Ghaneh P., Palmer D., Cicconi S. et al. Immediate surgery compared with short-course neoadjuvant gemcitabine plus capecitabine, FOLFIRINOX, or chemoradiotherapy in patients with borderline resectable pancreatic cancer (ESPAC5): a four-arm, multicentre, randomised, phase 2 trial. *Lancet Gastroenterol. Hepatol.* 2023; 8 (2): 157–168. https://doi.org/10.1016/S2468-1253(22)00348-X
10. NCCN Guidelines for Pancreatic Adenocarcinoma. V.1., 2023.
11. Lee E.S., Lee J.M. Imaging diagnosis of pancreatic cancer: a state-of-the-art review. *Wld J. Gastroenterol*. 2014; 20 (24): 7864–7877. https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i24.7864
12. Kim Y.K., Lee M.W., Lee W.J. et al. Diagnostic Accuracy and Sensitivity of Diffusion-Weighted and of Gadoxetic Acid-Enhanced 3-T MR Imaging Alone or in Combination in the Detection of Small Liver Metastasis (⩽1.5 cm in Diameter). *Invest. Radiol*. 2012; 47 (3): 159–66. https://doi.org/10.1097/rli.0b013e31823a1495
13. Кармазановский Г.Г. Опухоли поджелудочной железы солидной структуры: стадирование и резектабельность, критерии оценки прогрессирования опухолевого процесса после хирургического лечения (лекция, часть 2). *Медицинская визуализация.* 2016; 5: 43–49. Karmazanovsky G.G. Solid Pancreatic Tumors: Staging and Resectability, Criteria for Evaluation of Tumor Progression after Surgical Treatment (Lecture, Part 2). *Medical Visualization*. 2016; 5: 43–49. (In Russian)
14. Шима В., Кауэлблингер К. Аденокарцинома поджелудочной железы: выявление, определение стадии и дифференциальная диагностика. *Медицинская визуализация*. 2015; 5: 52–72. Schima W., Koelblmger C. Pancreatic Adenocarcinoma: Detection, Staging and Differential Diagnosis. *Medical Visualization*. 2015; 5: 52–72. (In Russian)
15. Ветшева Н.Н. Дооперационная диагностика солидных опухолей поджелудочной железы: обзор литературы. *Медицинская визуализация*. 2016; 5: 50–58. Vetsheva N.N. Preoperative Diagnosis of Solid Pancreatic Mass: Literature Review. *Medical Visualization*. 2016; 5: 50–58. (In Russian)

16. Kamisawa T., Takuma K., Anjiki H. et al. Differentiation of autoimmune pancreatitis from pancreatic cancer by diffusion-weighted MRI. *Am. J. Gastroenterol*. 2010; 105 (8): 1870–1875. https://doi.org/10.1038/ajg.2010.87
17. Uzunoglu F.G., Welte M.-N., Gavazzi F. et al. Evaluation of the MDACC clinical classification system for pancreatic cancer patients in an European multicenter cohort. *Eur. J. Surg. Oncol*. 2019; 45 (5): 793–799. https://doi.org/10.1016/j.ejso.2018.12.012
18. Sohal D.P.S., Kennedy E.B., Cinar P. et al. Metastatic Pancreatic Cancer: ASCO Guideline Update. *J. Clin. Oncol*. 2020; 38 (27): 3217–3230. https://doi.org/10.1200/JCO.20.01364
19. Isaji S., Mizuno S., Windsor J.A. et al. International consensus on definition and criteria of borderline resectable pancreatic ductal adenocarcinoma 2017. *Pancreatology* 2018; 18 (1): 2–11. https://doi.org/10.1016/j.pan.2017.11.011
20. Покатаев И.А., Гладков О.А., Загайнов В.Е., Кудашкин Н.Е., Кучин Д.М., Лядов В.К. и др. Практические рекомендации по лекарственному лечению рака поджелудочной железы. Злокачественные опухоли: Практические рекомендации RUSSCO #3s2, 2022; 12: 530–544. https://doi.org/10.18027/2224-5057-2022-12-3s2-530-544
Pokataev I.A., Gladkov O.A., Zagainov V.E. et al. Practical recommendations for drug treatment of pancreatic cancer. Malignant tumors: Practical recommendations RUSSCO #3s2, 2022; 12: 530–544. https://doi.org/10.18027/2224-5057-2022-12-3s2-530-544 (In Russian)
21. Fujita T., Nakagohri T., Gotohda N. et al. Evaluation of the prognostic factors and significance of lymph node status in invasive ductal carcinoma of the body or tail of the pancreas. *Pancreas*. 2010; 39 (1): e48–54. https://doi.org/10.1097/MPA.0b013e3181bd5cfa
22. Kanda M., Fujii T., Nagai S. et al. Pattern of lymph node metastasis spread in pancreatic cancer. *Pancreas*. 2011; 40: 951–955. https://doi.org/10.1097/MPA.0b013e3182148342
23. Sergeant G., Melloul E., Lesurtel M. et al. Extended lymphadenectomy in patients with pancreatic cancer is debatable. *Wld J. Surg.* 2013; 37 (8): 1782–1788. https://doi.org/10.1007/s00268-013-2064-z
24. Zacharias T., Jaeck D., Oussoultzoglou E. et al. Impact of lymph node involvement on long-term survival after R0 pancreaticoduodenectomy for ductal adenocarcinoma of the pancreas. *J. Gastrointest. Surg*. 2007; 11: 350–356. https://doi.org/10.1007/s11605-007-0113-3
25. Henne-Bruns D., Vogel I., Lüttges J. et al. Surgery for ductal adenocarcinoma of the pancreatic head: staging, complications, and survival after regional versus extended lymphadenectomy. *Wld J. Surg*. 2000; 24 (5): 595–601; discussion 601–602. https://doi.org/10.1007/s002689910089
26. Murakami Y., Uemura K., Sudo T. et al. Prognostic factors after surgical resection for intrahepatic, hilar, and distal cholangiocarcinoma. *Ann. Surg. Oncol*. 2011; 18 (3): 651–658. https://doi.org/10.1245/s10434-010-1325-4
27. Henne-Bruns D., Vogel I., Lüttges J. et al. Ductal adenocarcinoma of the pancreas head: survival after regional versus extended lymphadenectomy. *Hepato-gastroenterology*. 1998; 45 (21): 855–866. PMID: 9684147
28. Masui T., Kubota T., Aoki K. et al. Long-term survival after resection of pancreatic ductal adenocarcinoma with para-aortic lymph node metastasis: case report. *Wld J. Surg. Oncol.* 2013; 11 (1): 195. https://doi.org/10.1186/1477-7819-11-195
29. Kaťuchová J., Bober J., Kaťuch V., Radoňak J. Significance of lymph node micrometastasis in pancreatic cancer patients. *Eur. Surg. Res*. 2012; 48 (1): 10–15. https://doi.org/10.1159/000334171
30. Ishikawa O., Ohhigashi H., Sasaki Y. et al. Practical usefulness of lymphatic and connective tissue clearance for the carcinoma of the pancreas head. *Ann. Surg.* 1988; 208 (2): 215–220. https://doi.org/10.1097/00000658-198808000-00014
31. Nimura Y., Nagino M., Takao S. et al. Standard versus extended lymphadenectomy in radical pancreatoduodenectomy for ductal adenocarcinoma of the head of the pancreas: Long-term results of a japanese multicenter randomized controlled trial. *J. Hepatobiliary. Pancreat. Sci*. 2012; 19: 230–241. https://doi.org/10.1007/s00534-011-0466-6
32. Doi R., Kami K., Ito D. et al. Prognostic implication of para-aortic lymph node metastasis in resectable pancreatic cancer. *Wld J. Surg*. 2007; 31 (1): 147–154. https://doi.org/10.1007/s00268-005-0730-5
33. Japanese Gastric Cancer Association. Japanese classification of gastric carcinoma: 3rd English edition. *Gastric Cancer.* 2011; 14: 101–112. https://doi.org/10.1007/s10120-011-0041-5
34. Базин И.С., Покатаев И.А., Попова А.С., Базина И.В., Чихарева Я.Е. Место химиотерапии в лечении локализованного рака поджелудочной железы. *Злокачественные опухоли*. 2016; 4 (спецвыпуск 1): 20–25. https://doi.org/10.18027/2224-5057-2016-4s1-20-25
Bazin I.S., Pokataev I.A., Popova A.S. et al. The place of chemotherapy in the treatment of localized pancreatic cancer. *Malignant Tumors*. 2016; 4 (special issue 1): 20–25. (In Russian)
35. Lambert A., Schwarz L., Ducreux M., Conroy T. Neo-adjuvant Treatment Strategies in Resectable Pancreatic Cancer. *Cancers (Basel)*. 2021; 13 (18): 4724. https://doi.org/10.3390/cancers13184724
36. Springfeld C., Ferrone C.R., Katz M.H.G. et al. Neoadjuvant therapy for pancreatic cancer. *Nat. Rev. Clin. Oncol*. 2023; 20 (5): 318–337. https://doi.org/10.1038/s41571-023-00746-1
37. Katz M.H., Fleming J.B., Bhosale P. et al. Response of borderline resectable pancreatic cancer to neoadjuvant therapy is not reflected by radiographic indicators. *Cancer*. 2012; 118 (23): 5749–5756. https://doi.org/10.1002/cncr.27636
38. Ferrone C.R., Marchegiani G., Hong T.S. et al. Radiological and surgical implications of neoadjuvant treatment with FOLFIRINOX for locally advanced and borderline resectable pancreatic cancer. *Ann. Surg.* 2015; 261: 12–17. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000867
39. Zins M., Matos C., Cassinotto C. Pancreatic Adenocarcinoma Staging in the Era of Preoperative Chemotherapy and Radiation Therapy. *Radiology*. 2018; 287 (2): 374–390. https://doi.org/10.1148/radiol.2018171670
40. Chen X., Oshima K., Schott D. et al. Assessment of treatment response during chemoradiation therapy for pancreatic cancer based on quantitative radiomic analysis

of daily CTs: An exploratory study. *PLoS One.* 2017; 12 (6): e0178961. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178961
41. Navez J., Bouchart C., Lorenzo D. et al. What Should Guide the Performance of Venous Resection During Pancreaticoduodenectomy for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma with Venous Contact? *Ann. Surg. Oncol.* 2021; 28 (11): 6211–6222. https://doi.org/10.1245/s10434-020-09568-2.
42. Barreto S.G., Loveday B., Windsor J.A., Pandanaboyana S. Detecting tumour response and predicting resectability after neoadjuvant therapy for borderline resectable and locally advanced pancreatic cancer. *ANZ J. Surg*. 2019; 89 (5): 481–487. https://doi.org/10.1111/ans.14764
43. Yang R., Lu M., Qian X. et al. Diagnostic accuracy of EUS and CT of vascular invasion in pancreatic cancer: a systematic review. *J. Cancer. Res. Clin. Oncol*. 2014; 140 (12): 2077–2086. https://doi.org/10.1007/s00432-014-1728-x
44. Zimmermann C., Distler M., Jentsch C. et al. Evaluation of response using FDG-PET/CT and diffusion weighted MRI after radiochemotherapy of pancreatic cancer: a non-randomized, monocentric phase II clinical trial-PaCa-DD-041 (Eudra-CT 2009-011968-11). *Strahlenther. Onkol*. 2021; 197 (1): 19–26. https://doi.org/10.1007/s00066-020-01654-4
45. Nishiofuku H., Tanaka T., Marugami N. et al. Increased tumour ADC value during chemotherapy predicts improved survival in unresectable pancreatic cancer. *Eur. Radiol.* 2016; 26 (6): 1835–1842. https://doi.org/10.1007/s00330-015-3999-2
46. Cozzi L., Comito T., Fogliata A. et al. Computed tomography based radiomic signature as predictive of survival and local control after stereotactic body radiation therapy in pancreatic carcinoma. *PLoS One*. 2019; 14 (1): e0210758. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210758
47. Nasief H., Hall W., Zheng C. et al. Improving Treatment Response Prediction for Chemoradiation Therapy of Pancreatic Cancer Using a Combination of Delta-Radiomics and the Clinical Biomarker CA19-9. *Front. Oncol.* 2020; 9: 1464. https://doi.org/10.3389/fonc.2019.01464
48. Ciaravino V., Cardobi N., De Robertis R. et al. CT Texture Analysis of Ductal Adenocarcinoma Downstaged After Chemotherapy. *Anticancer Res*. 2018; 38 (8): 4889–4895. https://doi.org/10.21873/anticanres.12803
49. Chen F., Zhou Y., Qi X. et al. CT texture analysis for the presurgical prediction of superior mesenteric-portal vein invasion in pancreatic ductal adenocarcinoma: comparison with CT imaging features. *Clin. Radiol*. 2021; 76 (5): 358–366. https://doi.org/10.1016/j.crad.2021.01.003
50. Rigiroli F., Hoye J., Lerebours R. et al. CT Radiomic Features of Superior Mesenteric Artery Involvement in Pancreatic Ductal Adenocarcinoma: A Pilot Study. *Radiology*. 2021; 301 (3): 610–622. https://doi.org/10.1148/radiol.2021210699
51. Bian Y., Jiang H., Ma C. et al. Performance of CT-based radiomics in diagnosis of superior mesenteric vein resection margin in patients with pancreatic head cancer. *Abdom. Radiol. (NY).* 2020; 45 (3): 759–773. https://doi.org/10.1007/s00261-019-02401-9

Для корреспонденции*: Жарикова Александра Витальевна – e-mail: zha-vit@yandex.ru

Жарикова Александра Витальевна – врач-ординатор отдела лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ "НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-8117-6670. E-mail: zha-vit@yandex.ru

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ "НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-7070-3391. E-mail: evgenykondratiev@gmail.com

Тихонова Валерия Сергеевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог ФГАУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0001-9782-7335. E-mail: vdovenkobc28@mail.ru

Груздев Иван Сергеевич – канд. мед. наук, научный сотрудник отдела лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ "НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0003-0781-9898. E-mail: gruzdev_van@mail.ru

Ростовцев Михаил Владиславович – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения лучевых методов диагностики ФГБУ "НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО "Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования" Минздрава России; заведующий рентгенологическим отделением ГБУЗ "Городская клиническая больница имени М.Е. Жадкевича ДЗ города Москвы" Москва. https://orcid.org/0000-0002-5032-4164

Марков Павел Викторович – доктор мед. наук, заведующий отделением абдоминальной хирургии ФГБУ "НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-9074-5676. E-mail: pvmarkov@mail.ru

Стручков Владимир Юрьевич – канд. мед. наук, младший научный сотрудник отделения абдоминальной хирургии ФГБУ "НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0003-1555-1596. E-mail: doc.struchkov@gmail.com

Кармазановский Григорий Григорьевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ "НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики и терапии медико-биологического факультета ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-9357-0998. Email: karmazanovsky@ixv.ru

Contact*: Alexandra V. Zharikova – e-mail: zha-vit@yandex.ru

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

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

Valeriya S. Tikhonova – Cand. of Sci. (Med.), radiologist of the First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Moscow. https://orcid.org/0000-0001-9782-7335. E-mail: vdovenkobc28@mail.ru

Ivan S. Gruzdev – Cand. of Sci. (Med.), researcher of radiology department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0003-0781-9898. E-mail: gruzdev_van@mail.ru

Mikhail V. Rostovtsev – Doct. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Radiation Diagnostic Methods, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; Professor of the Department of Radiology and Roentgenology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Head of the Radiology Department, M.E. Zhadkevich City Clinical hospital, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-5032-4164

Pavel V. Markov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Abdominal Surgery Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-9074-5676. E-mail: pvmarkov@mail.ru

Vladimir Yu. Struchkov – PhD, junior researcher, Abdominal Surgery Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. https://orcid.org/0000-0003-1555-1596. E-mail: doc.struchkov@gmail.com

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

Технологии лучевой диагностики | Radiological technologies

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1346

Исследование возможностей алгоритмов автоматизированного контроля качества DICOM-метаданных рентгенографических исследований органов грудной клетки

© **Борисов А.А.[1, 2]*, Арзамасов К.М.[1], Семенов С.С.[1], Владзимирский А.В.[1], Васильев Ю.А.[1]**

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

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

Цель исследования: оценить качество заполнения DICOM-тегов, отвечающих за ориентацию, область сканирования и цветовую интерпретацию изображения, а также разработать и протестировать алгоритмы автоматического определения истинных значений данных тегов для рентгенограмм (РГ) и флюорограмм органов грудной клетки (ОГК).

Материал и методы. Для оценки качества заполнения DICOM-тегов было использовано 1885 исследований, полученных из Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕРИС ЕМИАС). Для обучения и валидации алгоритмов автоматического определения истинных значений тегов использовались наборы РГ ОГК в стандартных прямой и боковой проекциях, взятые из ряда открытых источников, а также из ЕРИС ЕМИАС общим объемом 12920 исследований. Основой для создания алгоритмов выбрана глубокая нейросетевая архитектура VGG19.

Результаты. Выявлено, что частота пропущенных значений в DICOM-тегах может составлять от 6 до 75% в зависимости от тега. При этом в заполненных значениях тегов встречается до 70% ошибок. Были построены модели: модель определения анатомической области рентгенографического исследования, модель определения проекции на РГ ОГК, модель определения фотометрической интерпретации изображения. Все полученные алгоритмы имеют высокие показатели качества классификации. AUC для каждой из полученных моделей составила более 0,99.

Заключение. Наше исследование показывает, что большое количество исследований на потоке содержит некорректные значения DICOM-тегов, что может критически сказываться на внедрении программного обеспечения (ПО) на основе технологии искусственного интеллекта в клиническую практику. Разработанные нами алгоритмы могут быть встроены в процесс разработки такого ПО, а также использоваться при предобработке изображений перед их анализом.

Ключевые слова: рентгенограммы грудной клетки, контроль качества, метаданные DICOM, DICOM-теги, формирование наборов данных, глубокие сверточные нейронные сети, трансферное обучение

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

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

Для цитирования: Борисов А.А., Арзамасов К.М., Семенов С.С., Владзимирский А.В., Васильев Ю.А. Исследование возможностей алгоритмов автоматизированного контроля качества DICOM-метаданных рентгенографических исследований органов грудной клетки. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 134–144. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1346

Поступила в редакцию: 13.03.2023. **Принята к печати:** 13.06.2023. **Опубликована online:** 01.12.2023.

Investigation of the capabilities of algorithms for automated quality assurance of DICOM metadata of chest X-ray examinations

© **Alexander A. Borisov[1, 2]*, Kirill M. Arzamasov[1], Serafim S. Semenov[1], Anton V. Vladzimirsky[1], Yuri A. Vasiliev[1]**

[1] Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 24-1, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation

[2] Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University); 1, Ostrovityanova str., Moscow 117997, Russian Federation

Purpose. To evaluate the quality of filling DICOM tags responsible for the orientation, scanning area and photometric interpretation of the image, as well as to develop and test algorithms for automatically determining the true values of these tags for chest x-rays and fluorograms.

Materials and methods. To assess the quality of filling DICOM tags, were used 1885 studies obtained from the Unified Radiological Information Service of the Unified Medical Information and Analysis System (ERIS EMIAS). For training and validation of algorithms for automatic determination of the true values of tags, were used datasets of radiographs in standard frontal and lateral projections, from open databases and from ERIS EMIAS (12,920 studies in total). The deep neural network architecture VGG 19 was chosen as the basis for creating algorithms.

Results. We found that the frequency of missing values in DICOM tags can range from 6 to 75%, depending on the tag. At the same time, up to 70% of filled tag values have errors. We obtained next models: a model for determining the anatomical area of x-ray examination, a model for determining the projection on the chest x-ray, a model for determining the photometric interpretation of the image. All of the obtained algorithms have high classification quality indicators. The AUC for each of the obtained models was more than 0.99.

Conclusions. Our study shows that a large number of studies in diagnostic practice contain incorrect values of DICOM tags, which can critically affect the implementation of software based on artificial intelligence technology in clinical practice. Our obtained algorithms can be integrated into the development process of such software and used in the preprocessing of images before their analysis.

Keywords: chest X-ray, quality assurance, DICOM metadata, DICOM-tags, dataset generation, deep convolutional neural networks, transfer learning

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

For citation: Borisov A.A., Arzamasov K.M., Semenov S.S., Vladzimirsky A.V., Vasiliev Yu.A. Investigation of the capabilities of algorithms for automated quality assurance of DICOM metadata of chest X-ray examinations. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 134–144. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1346

Received: 13.03.2023. **Accepted for publication:** 13.06.2023. **Published online:** 01.12.2023.

Введение

В настоящее время активно применяется программное обеспечение (ПО) с применением технологии искусственного интеллекта (ТИИ) в лучевой диагностике. Это связано с развитием технологий медицинской визуализации, что приводит к непропорциональному росту объема рентгенологических исследований по сравнению с количеством доступных обученных врачей-рентгенологов [1, 2]. Профессиональное выгорание, связанное с увеличившейся рабочей нагрузкой, становится все более актуальной проблемой среди медицинского персонала [3]. Интеграция ПО на основе ТИИ в рабочий процесс врача-рентгенолога позволит повысить эффективность, уменьшить количество ошибок за счет увеличения доли автоматизированных процессов, предоставляя диагносту предварительно проанализированные изображения с детализацией выявленных ключевых рентгеносемиотических признаков [4, 5].

Наиболее активно в области лучевой диагностики применяются технологии глубокого обучения. Особенностью этих технологий по сравнению с другими методами машинного обучения является крайне сильная зависимость надежности и применимости создаваемых моделей от количества и качества данных, используемых при обучении, тестировании и валидации [6]. Одним из основных препятствий для развития моделей, используемых в ПО на основе ТИИ в лучевой диагностике, является отсутствие либо малое количество выверенных и качественных наборов данных [7].

Это осложняет не только обучение новых, но и валидацию ранее разработанных моделей [8].

Формирование качественного набора данных является сложной задачей. Большинство исследовательских групп и компаний имеют ограниченный доступ к медицинским изображениям, а небольшие размеры выборки и отсутствие разнообразных источников данных препятствуют обобщаемости и точности разработанных решений [9]. Хотя ограниченных в размере наборов данных может быть достаточно для обучения алгоритмов ИИ в исследовательских целях, для контролируемого обучения, валидации и тестирования коммерческих решений перед внедрением их в клиническую практику требуются наборы данных гораздо большего объема с изображениями в высоком качестве и без технических замечаний, а также аннотациями к ним [10]. Усложнять создание качественных наборов данных также могут особенности диагностических изображений в разных демографических группах, малое количество изображений с редко встречаемым патологическим признаком, нехватка врачей экспертного уровня и ограниченность их времени [11].

Отдельной проблемой является качество диагностических изображений. В открытых наборах данных, а также в диагностической практике встречаются исследования с нарушениями укладки и позиционирования пациента, некорректным выбором границ исследования, инородными предметами и артефактами от них, а также другими техническими замечаниями, усложняющими интерпретацию таких дефектных исследований. Использование подобных изображений при обучении алгоритмов ИИ может отрицательно влиять на метрики их точности [12].

Как правило, медицинские цифровые изображения формируются, хранятся и передаются в стандарте DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). DICOM-файлы имеют объектно-ориентированную структуру с теговой организацией. В DICOM-тегах представлены кадры или серии изображений (растровые данные), а также сопровождающая информация (метаданные). Метаданные в стандарте DICOM и их качество также важны при составлении наборов данных для разработки и тестирования алгоритмов ИИ [9]. Множество ПО на основе ТИИ использует теги заголовков DICOM и может демонстрировать ложные результаты в случае отсутствия или некорректного заполнения метаданных [13]. Некоторые метаданные надежно фиксируют настройки сканера или протокола сканирования, такие как ток рентгеновской трубки в КТ или временны́е параметры импульсной последовательности в МРТ (время повторения), поэтому ошибки в них маловероятны. Однако другие параметры, такие как ориентация изображения, область сканирования и наличие внутривенного контрастного препарата, не присущи настройкам сканера и, следовательно, требуют ввода данных пользователем, что чревато человеческими ошибками. Решить проблему пропуска и ошибок метаданных стандарта DICOM может создание алгоритмов автоматической классификации диагностических изображений [14].

Цель исследования: оценить качество заполнения DICOM-тегов, отвечающих за ориентацию, область сканирования и цветовую интерпретацию изображения, а также разработать и протестировать алгоритмы автоматического определения истинных значений данных тегов для рентгенограмм (РГ) и флюорограмм органов грудной клетки (ОГК).

Материал и методы

Данное исследование основано на результатах ранее зарегистрированного исследования (№NCT04489992), одобренного локальным этическим комитетом, “Эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы” (Московский эксперимент). Модель исследования приведена на рис. 1. Для оценки качества заполнения DICOM-тегов было использовано 1885 исследований, полученных из Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕРИС ЕМИАС). Исследования были оценены двумя врачами-рентгенологами на предмет корректности заполнения тегов в соответствии с изображениями. Критериями отбора изображений являлись: модальность исследования – CR, RF, DX; наименование диагностической услуги должно было содержать текстовые ключи 'Рентгенография органов грудной', 'Флюорография легких', 'Rg-графия органов грудной'; возраст пациентов старше 18 лет.

В качестве тега, описывающего анатомическую область исследования, использовался тег (0018,0015) Body Part Examined. В качестве тегов, описывающих проекцию, были выбраны теги: (0020,0020) Patient Orientation, (0018,5101) View Position и (0020,0062) Image Laterality. Тег (0028,0004) Photometric Interpretation использовался для определения фотометрической интерпретации изображения (позитивное или негативное изображение). Корректность заполнения тегов определялась на основании документации стандарта DICOM [15].

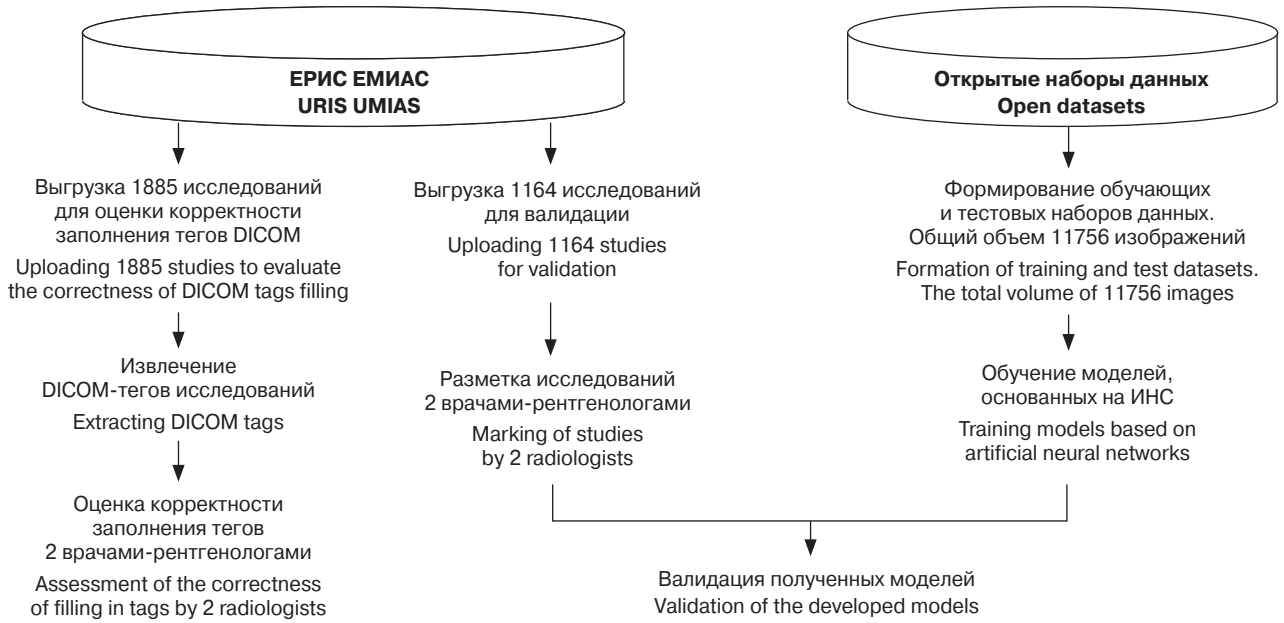


Рис. 1. Модель исследования.
Fig. 1. Research model.

Для обучения алгоритмов автоматического определения истинных значений тегов использовались наборы РГ ОГК в стандартных прямой и боковой проекциях, взятые из ряда открытых источников [16–19], а также полученные из ЕРИС ЕМИАС. Изображения отбирались вручную в зависимости от задачи разрабатываемой модели.

Было построено 3 модели: модель определения анатомической области рентгенографического исследования, модель определения проекции на РГ ОГК, модель определения фотометрической интерпретации изображения. Для каждой модели были подготовлены обучающий и тестовый наборы данных.

Для модели определения анатомической области исследования размер обучающей выборки составил 4199 рентгенограмм. Из них 1986 (47,3%) РГ ОГК и 2213 (52,7%) рентгенограмм других анатомических областей. Размер тестовой выборки составил 1200 рентгенограмм. Из них 627 (52,3%) РГ ОГК и 573 (47,7%) рентгенограммы других анатомических областей.

Для модели, определяющей проекцию на РГ ОГК, размер обучающей выборки составил 5240 рентгенограмм. Из них 2689 (51,3%) рентгенограмм в прямой и 2551 (48,7%) в боковой проекции. Размер тестовой выборки составил 1601 рентгенограмму. Из них 750 (46,8%) в прямой и 851 (53,2%) в боковой проекции.

Для модели, определяющей фотометрическую интерпретацию изображения (тег (0028,0004)), размер обучающей выборки составил 2317 рентгенограмм. Из них 1192 (51,4%) рентгенограммы в прямой и 1125 (48,6%) в боковой проекции. Размер тестовой выборки составил 581 рентгенограмму. Из них 298 (51,3%) в прямой и 283 (48,7%) в боковой проекции.

В качестве независимого тестового набора использовался набор из 1164 анонимизированных рентгенограмм, полученных из ЕРИС ЕМИАС. Критериями отбора были те же, что использовались при составлении набора данных для оценки качества заполнения DICOM-тегов. При экспертной проверке набора данных было определена его структура: 1144 РГ ОГК, 20 РГ не ОГК; из них РГ ОГК с корректным значением тега (0018,0015) Body Part Examined, описывающим анатомическую область исследования, – 1030 РГ; из них 783 изображения в прямой проекции, 247 изображений в боковой проекции; 564 позитивных изображения и 466 негативных изображений.

В качестве основы для алгоритмов автоматического определения истинных значений тегов мы использовали трансферное обучение глубокой нейросетевой архитектуры VGG19, зарекомендовавшей себя как эффективный инструмент для классификации медицинских изображений [12, 20, 21].

Для результатов каждого классификатора проводился ROC-анализ, рассчитывалась площадь под характеристической кривой (AUC) и определялось оптимальное пороговое значение методом максимизации индекса Юдена с использованием открытого отечественного инструмента для ROC-анализа [22].

Результаты

Оценка качества заполнения DICOM-тегов

Тег (0018,0015) Body Part Examined

Корректными значениями данного тега, согласно нашим данным, для обозначения РГ ОГК были определены следующие варианты: CHEST, LUNG, THORAX. Результаты оценки заполнения данного тега представлены в табл. 1. Незаполненные значения составили 6%. Среди изображений, помеченных как РГ ОГК, 2,3% содержали исследования других анатомических областей. При этом среди изображений, помеченных как другие анатомические зоны, 29,5% исследований, напротив, содержали исследования РГ ОГК.

Тег (0020,0020) Patient Orientation

Данный тег описывает плоскость, в которой находится изображение. Значения состоят из 2 букв, первая обозначает направление строк пикселей слева направо, вторая – направление столбцов пикселей сверху вниз. Для изображений ОГК в прямой проекции корректными значениями тегов мы считали изображения, обозначенные осями R(право) –L(лево) и F(ноги) –H(голова), например L/H или R/F. Для изображений ОГК в боковой проекции корректными значениями тегов мы считали изображения, обозначенные осями A(передний) –P(задний) и F(ноги) –H(голова), например A/F или P/F. Пример корректных значений данного тега, нанесенных в виде меток, приведен на рис. 2. Результаты оценки заполнения данного тега представлены в табл. 2. Незаполненные значения составили для прямой проекции 65,3%, для боковой проекции 46,9%. Среди заполненных значений некорректно были заполнены для прямой проекции 3% тегов, для боковой проекции 35% тегов.

Тег (0018,5101) View Position

Для изображений РГ ОГК в прямой проекции корректными значениями тегов являются значения AP (переднезаднее изображение) и PA (заднее-переднее изображение). Для изображений ОГК в боковой проекции корректными значениями тегов являются значения RL (правая боковая) и LL (левая боковая). Результаты оценки заполнения данного тега представлены в табл. 3. Незаполненные значения составили для прямой проекции 74,6%, для боковой проекции 50,2%. Среди заполненных значений некорректно были заполнены для прямой проекции 0,3% тегов, для боковой проекции 12,4% тегов.

Тег (0020,0062) Image Laterality

Для изображений РГ ОГК в прямой проекции корректными значениями тегов являются значения U (непарный) и B (как справа, так и слева). Для изображений ОГК в боковой проекции корректными значениями тегов являются значения L(левый), R(правый), LAT или Lateral (боковой). Результаты оценки заполнения данного тега представлены в табл. 4. Незаполненные значения составили для прямой проекции 59,7%, для боковой проекции 29,1%. Среди заполненных значений некорректно были заполнены для прямой проекции 23,8% тегов, для боковой проекции 71,3% тегов.

Тег (0028,0004) Photometric Interpretation

Для рентгенологических изображений данный тег имеет 2 корректных обозначения: MONOCHROME1(позитивное изображение) и MONOCHROME2 (негативное изображение). В оцениваемом наборе данных 929 (56,6%) изображений имели корректный тег, а 712 (43,4%) изображений – некорректный тег.

Тестирование алгоритмов автоматического определения истинных значений тегов

Результаты тестирования алгоритмов представлены в табл. 5.

Модели определения анатомической области исследования удалось определить все изображения, не являющиеся РГ ОГК. ROC-кривая для модели представлена на рис. 3а. Модель VGG19 вы-

Таблица 1. Результаты оценки заполнения тега (0018,0015) Body Part Examined

Table. 1. The results of the evaluation of the filling of the tag (0018,0015) Body Part Examined

Вариант заполнения тега Variant of tag value	Реальное содержание изображения Real image content	
	РГ ОГК / Chest X-ray	РГ других областей / Non-chest X-ray
Пустое значение / Empty value	107	6
Корректное значение / Correct value	1641	38
Некорректное значение / Incorrect value	71	21

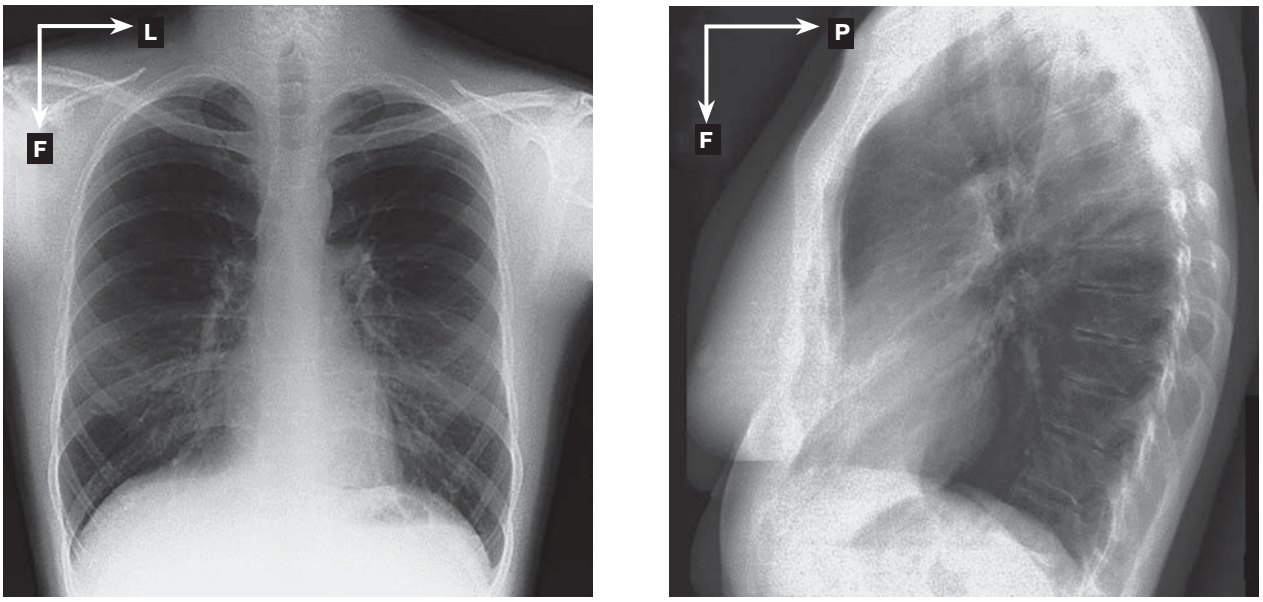


Рис. 2. Слева: рентгенограмма ОГК в прямой проекции, справа: в боковой проекции с нанесенными метками корректных значений тега (0020,0020) Patient Orientation.

Fig. 2. On the left: a chest radiograph in frontal projection, on the right: in a lateral projection with the correct values of the tag (0020,0020) Patient Orientation applied.

Таблица 2. Результаты оценки заполнения тега (0020,0020) Patient Orientation

Table. 2. Results of the evaluation of the filling of the tag (0020,0020) Patient Orientation

	Прямая проекция Frontal projection	**Боковая проекция Lateral projection**
Всего изображений / Total images	1253	388
Корректное значение / Correct value	422 (33.7%)	133 (34.4%)
Некорректное значение / incorrect value	13 (1%)	72 (18.7%)
Пустое значение / Empty value	818 (65.3%)	182 (46.9%)

Таблица 3. Результаты оценки заполнения тега (0018,5101) View Position

Table. 3. The results of the evaluation of the filling of the tag (0018,5101) View Position

	Прямая проекция Frontal projection	**Боковая проекция Lateral projection**
Всего изображений / Total images	1253	388
Корректное значение / Correct value	317 (25.3%)	169 (43.6%)
Некорректное значение / incorrect value	1 (0.1%)	24 (6.2%)
Пустое значение / Empty value	935 (74.6%)	195 (50.2%)

Таблица 4. Результаты оценки заполнения тега (0020,0062) Image Laterality

Table. 4. The results of the evaluation of the filling of the tag (0020,0062) Image Laterality

	Прямая проекция Frontal projection	**Боковая проекция Lateral projection**
Всего изображений / Total images	1253	388
Корректное значение / Correct value	385 (30.7%)	79 (20.4%)
Некорректное значение / Incorrect value	120 (9.6%)	196 (50.5%)
Пустое значение / Empty value	748 (59.7%)	113 (29.1%)

Таблица 5. Результаты тестирования моделей
Table 5. Model testing results

	Модель / Model		
	определения анатомической области definitions of the anatomical area	определения проекции на РГ ОГК definitions of the projection on the chest x-ray	определения цветовой интерпретации definition of photometric interpretation
AUC	1.0 [0.999; 1.0]	1.0 [1.0; 1.0]	1.0 [1.0; 1.0]
Чувствительность / Sensitivity	1.0 [0.825; 1.0]	0.996 [0.983; 0.996]	1.0 [0.994; 1.0]
Специфичность / Specificity	0.997 [0.994; 0.997]	1.0 [0.996; 1.0]	1.0 [0.995; 1.0]
Точность / Accuracy	0.997 [0.992; 0.997]	0.999 [0.993; 0.999]	1.0 [0.995; 1.0]

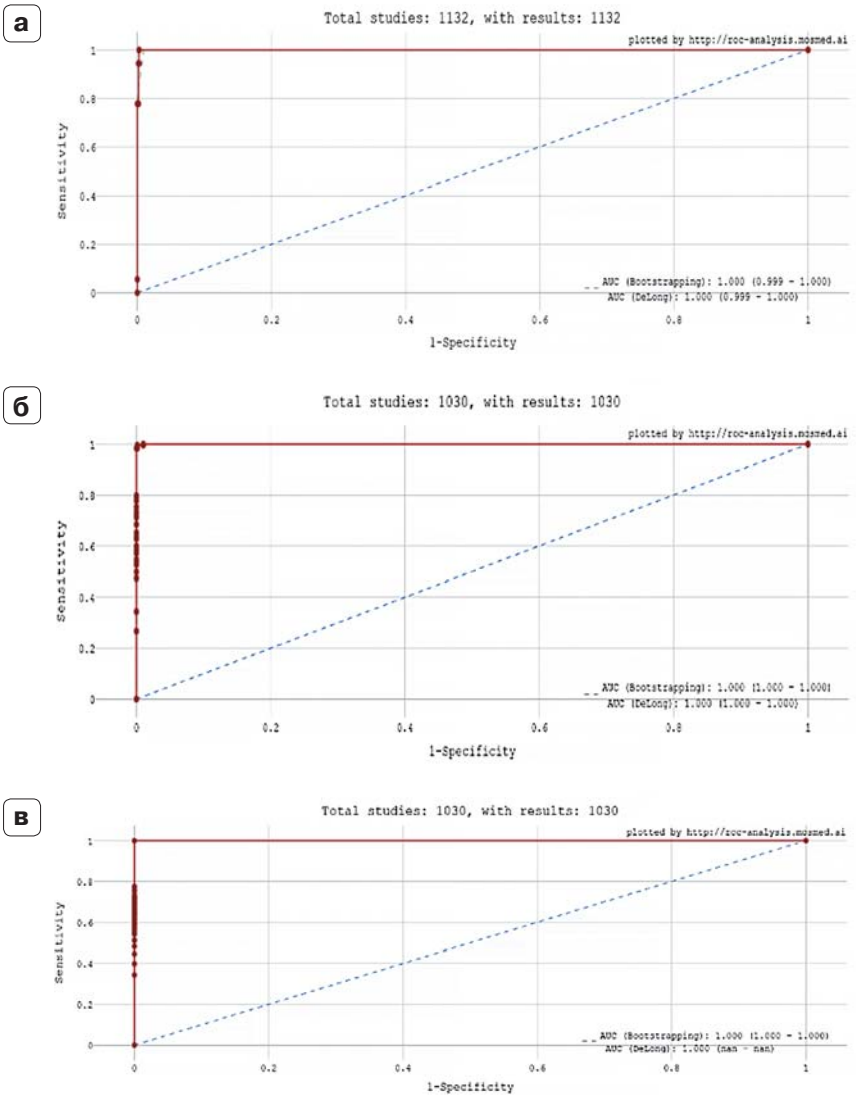


Рис. 3. ROC-кривые. **а** – для модели определения анатомической области исследования; **б** – для модели определения проекции на РГ ОГК; **в** – для модели определения цветовой интерпретации.

Fig. 3. ROC-curves. **а** – for the model of determining the anatomical area of study; **б** – for the model of determining the projection on the chest radiograph; **в** – for the model of determining photometric interpretation.

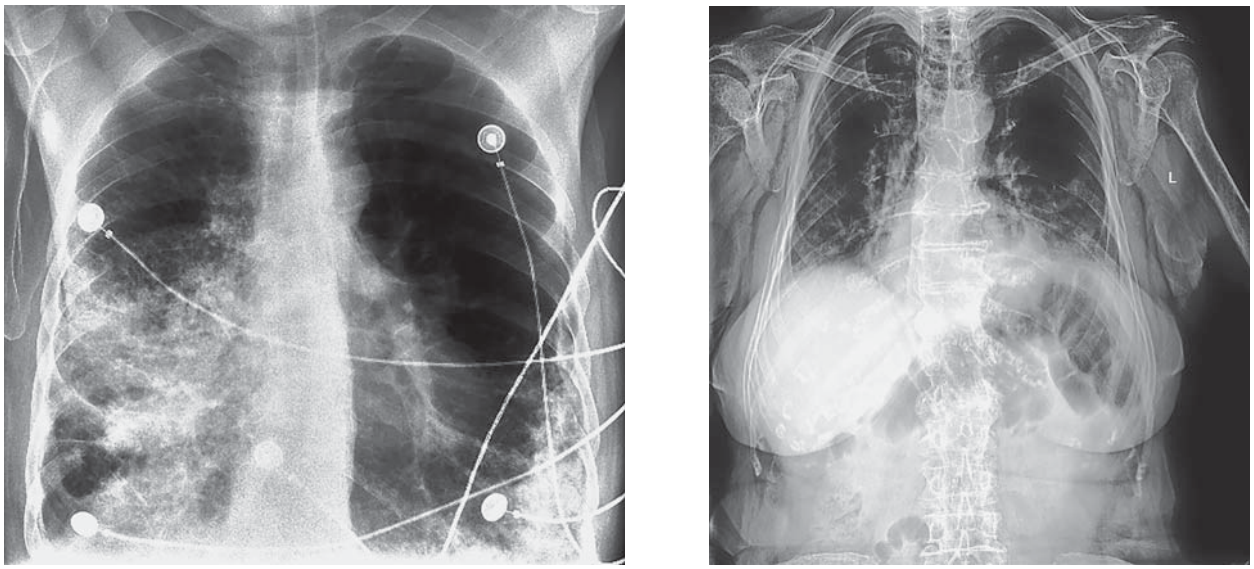


Рис. 4. Изображения, неверно классифицированные моделью определения анатомической области. Изображение слева содержит инородные тела, изображение справа имеет некорректные контрастно-яркостные параметры.

Fig. 4. Images incorrectly classified by the anatomical area definition model. The image on the left contains foreign bodies, the image on the right has incorrect contrast-brightness parameters.

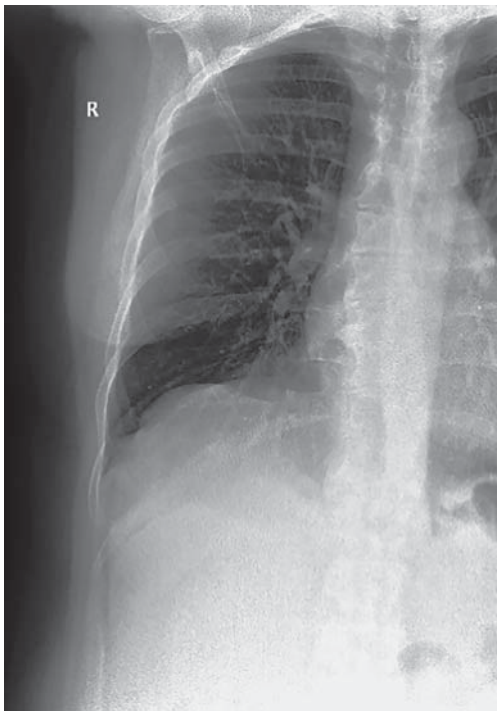


Рис. 5. Изображение, неверно классифицированное моделью определения проекции на РГ ОГК.

Fig. 5. An image incorrectly classified by the projection definition model on the chest x-ray.

полнила поставленную задачу классификации, но допустила 3 ложноположительных результата. Ошибки связаны с качеством представленных изображений – на одном изображении присутствовало большое количество инородных предметов, на других были неправильно выбраны контрастно-яркостные параметры отображения. Пример таких изображений представлен на рис. 4.

Модель определения проекции на РГ ОГК также успешно справилась с задачей классификации. ROC-кривая для модели представлена на рис. 3б. Была допущена одна классификационная ошибка (прицельная рентгенограмма в прямой проекции, где полностью визуализируется только одно легкое, была классифицирована как изображение в боковой проекции. Изображение представлено на рис. 5).

Модель определения цветовой интерпретации справилась с задачей классификации без ошибок. ROC-кривая для модели представлена на рис. 3в.

Обсуждение

Проблема корректности записи значений DICOM-метаданных поднимается впервые в отечественной литературе, однако данная тема затрагивалась зарубежными коллегами. M. Mudtra и соавт. указывали на то, что большое количество тегов, в том числе необязательных, предусмот-

ренных стандартом DICOM, приводит к несогласованности заполнения всех полей данными [23]. M.O. Gueld и соавт. провели аналогичное нашему исследование в части заполнения тега Body Part Examined, но для КТ и МРТ. Исследование показало, что более 15% исследований содержали ложное значение тегов, что делало невозможным автоматическую категоризацию исследований [24]. Среди исследований, оцененных нами в данной работе, 5,2% содержали ложное значение тега Body Part Examined. Однако мы рассматривали только исследования, отнесенные к области грудной клетки, поэтому доля ложных значений данного тега для исследований других анатомических областей может отличаться.

Основной причиной появления ошибок в выставлении метаданных DICOM, описанных в нашем исследовании, является использование режимов работы диагностического оборудования, не предназначенных для исследуемой анатомической области. С целью получения лучшего качества изображения при вариабельности в анатомии пациентов, а также из-за высокой рабочей нагрузки рентгенолаборанты могут использовать протокол визуализации для другой анатомической области. При этом зачастую после сканирования ручная коррекция значений тегов не осуществляется, что приводит к их ложному заполнению [24]. Подобные ошибки не влияют на работу врача-рентгенолога, который ориентируется на диагностическое изображение и медицинскую документацию пациента, но могут критически сказаться на результатах работы диагностического ПО на основе ТИИ в лучевой диагностике.

Метрики диагностической точности, показанные созданными нами алгоритмами, аналогичны результатам, показанным K. Santosh и соавт., которые продемонстрировали автоматическую классификацию РГ ОГК на фронтальную или боковую проекцию с близкой к 100% [25], а также K. Urinbayev и соавт., которые классифицировали РГ ОГК среди других рентгенограмм с точностью более 99% [26].

При валидации созданные нами модели не смогли правильно классифицировать несколько изображений. Это позволило определить, что наши модели имеют ограничения в случае наличия грубых технических дефектов при выполнении исследования, а также при обработке исследований с нестандартными рентгенологическими укладками. Выявление в процессе тестирования таких исследований показало необходимость доработки модели определения проекции в части классификации изображений с нестандартными рентгенологическими укладками. Данная доработка будет реализована в следующем релизе нашего алгоритма. Исследования с дефектами, полученными из-за проблем с диагностическим оборудованием, как на рис. 4б, или другими грубыми дефектами визуализации, имеют низкую диагностическую ценность и не являются качественно выполненными исследованиями. К сожалению, при обучении алгоритмов ИИ невозможно предусмотреть все возможные варианты дефектов. В связи с этим, а также с тем, что наша модель определения анатомической области исследования корректно определила все качественные рентгенограммы грудной клетки, мы пока не планируем проводить ее переобучение.

Результаты нашей работы могут быть полезны разработчикам ПО на основе ТИИ. Наше исследование показывает, что большое количество исследований на потоке содержит некорректные значения DICOM-тегов, что может критически сказываться на внедрении таких программных решений в клиническую практику. При фильтрации изображений на этапах формирования наборов данных и оценки изображений перед их анализом нельзя достоверно ориентироваться исключительно на метаданные DICOM. Необходимо анализировать растровые данные DICOM-файлов. Разработанные нами алгоритмы могут быть встроены в процесс разработки ПО на основе ТИИ, а также использоваться при предобработке изображений перед их анализом.

Заключение

Для формирования качественных наборов данных для обучения и тестирования алгоритмов ИИ в лучевой диагностике необходимо учесть множество характеристик и возможных технических дефектов исследований. Одной из характеристик является корректное заполнение метаданных DICOM-файлов. Как мы показали в данном исследовании, частота пропущенных значений в DICOM-тегах может составлять от 6 до 75% в зависимости от тега. При этом даже в заполненных тегах встречается до 70% ошибок. Поэтому при формировании качественных наборов данных нельзя ориентироваться только на значения описаний исследований или DICOM-теги. Помочь с формированием таких наборов могут системы автоматической классификации рентгенологических изображений. Созданные нами модели на основе трансферного обучения глубоких нейронных сетей позволили решить задачи классификации анатомической области исследования, проекции на РГ ОГК и цветовой интерпретации изображения с высокой точностью. Все созданные нами алгоритмы имеют AUC выше 0,99. Все изображения, при об-

работке которых наши модели допустили классификационные ошибки, не являются качественными и в дальнейшем были бы удалены из формируемого набора данных, даже если бы модели правильно их классифицировали. Таким образом, разработанные алгоритмы способны облегчить создание больших баз данных медицинских изображений для целей машинного и глубокого обучения и обеспечить контроль качества и коррекцию значений метаданных стандарта DICOM.

Дополнительная информация

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы "Разработка платформы подготовки наборов данных лучевых диагностических исследований".

Additional Information

The article was written by the author's team as a part of the research work "Development of a platform for the preparation of datasets of radiation diagnostic studies".

Участие авторов

Борисов А.А. – проведение исследования.

Арзамасов К.М. – концепция и дизайн исследования.

Семенов С.С. – подготовка и редактирование текста.

Владзимирский А.В. – участие в научном дизайне.

Васильев Ю.А. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Borisov A.A. – conducting research.

Arzamasov K.M. – concept and design of the study.

Semenov S.S. – text preparation and editing.

Vladzimirsky A.V. – participation in scientific design.

Vasiliev Yu.A. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. McDonald R.J., Schwartz K.M., Eckel L.J. et al. The effects of changes in utilization and technological advancements of cross-sectional imaging on radiologist workload. *Acad. Radiol*. 2015; 22 (9): 1191–1198. https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.05.007
2. van Leeuwen K.G., de Rooij M., Schalekamp S. et al. How does artificial intelligence in radiology improve efficiency and health outcomes? *Pediatr .Radiol*. 2022; 52 (11): 2087–2093. https://doi.org/10.1007/s00247-021-05114-8
3. Chetlen A.L., Chan T.L., Ballard D.H. et al. Addressing Burnout in Radiologists. *Acad. Radiol.* 2019; 26 (4): 526–533. https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.07.001
4. Hosny A., Parmar Ch., Quackenbush J. et al. Artificial intelligence in radiology. *Nat. Rev. Cancer*. 2018; 18 (8): 500–510. https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5
5. Rubin D.L. Artificial Intelligence in Imaging: The Radiologist's Role. *J. Am. Coll. Radiol*. 2019; 16 (9): 1309–1317. https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.05.036
6. Savadjiev P., Chong J., Dohan A. et al. Demystification of AI-driven medical image interpretation: past, present and future. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (3): 1616–1624. https://doi.org/10.1007/s00330-018-5674-x
7. Acosta J.N., Falcone G.J., Rajpurkar P. The Need for Medical Artificial Intelligence That Incorporates Prior Images. *Radiology*. 2022; 304 (2): 283–288. https://doi.org/10.1148/radiol.212830
8. Павлов Н.А., Андрейченко А.Е., Владзимирский А.В., Ревазян А.А., Кирпичев Ю.С., Морозов С.П. Эталонные медицинские датасеты (MosMedData) для независимой внешней оценки алгоритмов на основе искусственного интеллекта в диагностике. *Dig. Diagn*. 2021; 2 (1): 49–66. https://doi.org/10.17816/DD60635
Pavlov N.A., Andreychenko A.E., Vladzymyrskyy A.V. et al. Reference medical datasets (MosMedData) for independent external evaluation of algorithms based on artificial intelligence in diagnostics. *Digital Diagnostics.* 2021; 2 (1): 49–66. https://doi.org/10.17816/DD60635 (In Russian)
9. Willemink M.J., Koszek W.A., Hardell C. et al. Preparing Medical Imaging Data for Machine Learning. *Radiology*. 2020; 295 (1): 4–15. https://doi.org/10.1148/radiol.2020192224
10. Park S.H., Han K. Methodologic Guide for Evaluating Clinical Performance and Effect of Artificial Intelligence Technology for Medical Diagnosis and Prediction. *Radiology*. 2018; 286 (3): 800–809. https://doi.org/10.1148/radiol.2017171920
11. European Society of Radiology (ESR). What the radiologist should know about artificial intelligence – an ESR white paper. *Insights. Imaging*. 2019; 10 (1): 44. https://doi.org/10.1186/s13244-019-0738-2
12. Борисов А.А., Семенов С.С., Арзамасов К.М. Использование трансферного обучения для автоматизированного поиска дефектов на рентгенограммах органов грудной клетки. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (1): 158–169. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1243
Borisov A.A., Semenov S.S., Arzamasov K.M. Transfer Learning for automated search for defects on chest X-rays. *Medical Visualization*. 2023; 27 (1): 158–169. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1243 (In Russian)
13. Juszczyk J., Badura P., Czajkowska J. et al. Automated size-specific dose estimates using deep learning image processing. *Medical Image Analysis*. 2021; 68: 101898. https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101898
14. Keshavamurthy K.N., Elnajjar P., El-Rowmeim A. et al. Application of Deep Learning Techniques for Characterization of 3D Radiological Datasets – A Pilot Study for Detection of Intravenous Contrast in Breast MRI. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng*. 2019; 10954: 109540X. https://doi.org/10.1117/12.2513809
15. DICOM standart // URL: https://www.dicomstandard.org/ (дата обращения 10.01.2023)15. 16.
16. CheXpert Dataset //URL: https://stanfordmlgroup.github.io/competitions/chexpert/ (дата обращения 23.12.2022)
17. Chest X-rays dataset // URL: https://www.kaggle.com/datasets/raddar/chest-xrays-indiana-university (дата обращения 26.12.2022)
18. Chest X-Ray Images (Pneumonia)// URL: https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia (дата обращения 20.12.2022)

19. NIH ChestX-ray14 //URL: https://nihcc.app.box.com/v/ChestXray-NIHCC (дата обращения 20.12.2022)
20. Han B., Du J., Jia Y. et al. Zero-Watermarking Algorithm for Medical Image Based on VGG19 Deep Convolution Neural Network. *J. Healthc. Eng*. 2021; 2021: 5551520. https://doi.org/10.1155/2021/5551520
21. Karacı A. VGGCOV19-NET: automatic detection of COVID-19 cases from X-ray images using modified VGG19 CNN architecture and YOLO algorithm. *Neural. Comput. Appl*. 2022; 34 (10): 8253–8274. https://doi.org/10.1007/s00521-022-06918-x
22. ROC-инструмент ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ // URL: https://roc-analysis.mosmed.ai/
ROC analysis tool of Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow City Health Department // URL: https://roc-analysis.mosmed.ai/.
23. Mustra M., Delac K., Grgic M. et al. Overview of the DICOM standard. ELMAR, 2008. 50th International Symposium. Zadar, Croatia: 39–44. ISBN 978-1-4244-3364-3
24. Gueld M.O., Kohnen M., Keysers D. et al. Quality of DICOM header information for image categorization. Proc. SPIE 4685. Medical Imaging 2002: PACS and Integrated Medical Information Systems: Design and Evaluation. https://doi.org/10.1117/12.467017
25. Santosh K.C., Wendling L. Angular relational signature-based chest radiograph image view classification. *Med. Biol. Eng. Comput*. 2018; 56 (8): 1447–1458. https://doi.org/10.1007/s11517-018-1786-3
26. Urinbayev K., Orazbek Y., Nurambek Y. et al. End-to-End Deep Diagnosis of X-ray Images. 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) in conjunction with the 43rd Annual Conference of the Canadian Medical and Biological Engineering Society. https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9175208

Для корреспонденции*: Борисов Александр Александрович – тел.: +7-977-500-99-12. E-mail: aleksandrborisov10650@gmail.com

Борисов Александр Александрович – младший научный сотрудник отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы; аналитик ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва. https://orcid.org/0000-0003-4036-5883

Арзамасов Кирилл Михайлович – канд. мед. наук, руководитель отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы, Москва. https://orcid.org/0000-0001-7786-0349

Семенов Серафим Сергеевич – врач-рентгенолог, младший научный сотрудник сектора разработки систем внедрения медицинских интеллектуальных технологий НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы, Москва. https://orcid.org/0000-0003-2585-0864

Владзимирский Антон Вячеславович – доктор мед. наук, заместитель директора по научной работе НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы, Москва. https://orcid.org/0000-0002-2990-7736

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, директор НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы, Москва. https://orcid.org/0000-0002-0208-5218

Contact*: Alexander A. Borisov – phone: +7-977-500-99-12. E-mail: aleksandrborisov10650@gmail.com

Alexander A. Borisov – Junior Researcher in the Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; data analyst, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. https://orcid.org/0000-0003-4036-5883

Kirill M. Arzamasov – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. https://orcid.org/0000-0001-7786-0349

Serafim S. Semenov – Radiologist, Junior Researcher in the Sector of Development of Systems for the Introduction of Medical Intelligent Technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. https://orcid.org/0000-0003-2585-0864

Anton V. Vladzimirsky – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director for Scientific Work Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-2990-7736

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

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
https://doi.org/10.24835/1607-0763-1376

Неинвазивное измерение метаболизма кислорода. Часть 2: новые методики в ПЭТ и МРТ

© **Постнов А.А.[1, 2, 3*], Калаева Д.Б.[1, 2], Балахонов А.Б.[1], Пронин И.Н.[1]**

[1] ФГАУ "НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко" Минздрава России; 125047 Москва, 4-я Тверская-Ямская ул., д.16, Российская Федерация

[2] Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"; 115409 Москва, Каширское ш., 31, Российская Федерация

[3] Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН; 119991 Москва, Ленинский пр-т, д. 53, Российская Федерация

Метаболизм кислорода является ключевым фактором жизни живого организма. Статья является второй частью обзора методов измерения метаболизма кислорода.

Цель исследования: дать представление о новых методиках измерения перфузии, основанных на МРТ и КТ, сравнить их точность с "золотым стандартом" – измерениями на основе ПЭТ с $H_2{}^{15}O$, а также описать их роль в клинической практике.

Материал и методы. Проанализировано более 200 работ из базы научных публикаций Pubmed по ключевым словам perfusion, MRI, CT, ASL, oxygen metabolism, также изучались релевантные ссылки в данных публикациях, не содержащие указанных ключевых слов либо содержащие их в иной формулировке.

Результаты. В рамках данного обзора было отобрано 49 публикаций, описывающих КТ- и МР-перфузию с использованием контрастирующих препаратов и МР-ASL-перфузию. Приведены примеры использования описанных методик в фундаментальных исследованиях и прикладной медицине.

Заключение. Результаты, полученные с помощью новых неинвазивных методик молекулярной визуализации, в большинстве случаев сопоставимы с данными ПЭТ с $H_2{}^{15}O$, что позволяет шире применять МРТ- и КТ-исследования метаболизма кислорода в клинической практике.

Ключевые слова: метаболизм кислорода, ПЭТ с 15-О, КТ-перфузия, МР-перфузия, МР-ASL-перфузия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Постнов А.А., Калаева Д.Б., Балахонов А.Б., Пронин И.Н. Неинвазивное измерение метаболизма кислорода. Часть 2: новые методики в ПЭТ и МРТ. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (2): 145–152. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1376

Поступила в редакцию: 21.06.2023. **Принята к печати:** 05.12.2023. **Опубликована online:** 17.12.2023.

Non-invasive measurement of oxygen metabolism. Part 2: new techniques in PET and MRI

© **Andrey A. Postnov[1, 2, 3*], Diana B. Kalaeva[1, 2], Anton B. Balakhonov[1], Igor' N. Pronin[1]**

[1] N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 16, 4rd Tverskaya-Yamskaya str., Moscow 125047, Russian Federation

[2] National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute); 31, Kashirskoe shosse, Moscow 115230, Russian Federation

[3] P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences; 53, Leninsky prospect, Moscow 119991, Russian Federation

Oxygen metabolism is a key factor in the life of a living organism. The article is the second part of a review of methods for measuring oxygen metabolism.

Purpose. The aim of this review is to provide an insight into newly developed perfusion measurement techniques based on MRI and CT comparing their accuracy with the "gold standard" $H_2{}^{15}O$ PET measurements and describing their role in today's clinical practice.

Materials and methods. More than 200 Pubmed publications were analyzed for the keywords "perfusion, MRI, CT, ASL, oxygen metabolism". Relevant publications that do not contain these keywords or contain them in a different wording were also studied.

Results. This review selected 49 publications describing CT and MR perfusion using contrast agents and MR ASL perfusion. Examples of the use of the described methods in fundamental research and applied medicine are given.

Conclusion. The quantitative results obtained using novel non-invasive molecular imaging techniques are in most cases comparable to $H_2{}^{15}O$ PET data, which opens the way for broad use of MRI and CT perfusion and oxygen metabolism measurements in clinical practice.

Keywords: oxygen metabolism, 15-O PET, CT perfusion, MR perfusion, MR ASL perfusion

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

For citation: Postnov A.A., Kalaeva D.B., Balakhonov A.B., Pronin I.N. Non-Invasive Measurement of Oxygen Metabolism. Part 2: New Techniques in PET and MRI. *Medical Visualization.* 2024; 28 (2): 145–152. https://doi.org/10.24835/1607-0763-1376

Received: 21.06.2023. **Accepted for publication:** 05.12.2023. **Published online:** 17.12.2023.

Введение

В первой части были освещены методы измерения перфузии и появление "золотого стандарта" – позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), использующей изотоп ^{15}O для измерения метаболизма кислорода (перфузии, коэффициента экстракции и потребления кислорода тканями). Проблема получения численных значений перфузии и иных параметров обусловлена необходимостью определения активности соединений, содержащих ^{15}O ($H_2{}^{15}O$, $C^{15}O$, $C^{15}O_2$ и $^{15}O_2$) в плазме крови, т.е. требовалось установить артериальный катетер, что является инвазивной процедурой. Если в поле зрения находился крупный артериальный сосуд, как в случае исследования сердца, активность ^{15}O возможно оценивать по изображениям без забора крови [1]. Однако в случае с исследованиями головного мозга успешно действующей и признанной технологией определения такой активности до сих пор не создано. Тем важнее создание альтернативных и малоинвазивных методов измерения перфузии с их валидацией с помощью "золотого стандарта" ПЭТ. Кроме того, технологии ПЭТ с ^{15}O остаются дорогостоящими и недоступными большинству медицинских учреждений, в отличие от компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ).

В ПЭТ роль биомаркера играет сам кислород, метаболизм которого изучается. Альтернативным прямым способом измерения перфузии можно считать МРТ с синхронизацией спинов водорода в воде в составе артериальной крови (ASL-перфузию).

Измерение перфузии с помощью МРТ и КТ

С 90-х годов XX века в клинической практике широко используется МР-перфузия с внутривенным введением контрастного препарата на основе гадолиния [2], так называемое DSC (dynamic susceptibility contrast) – динамическое исследование контрастной восприимчивости, позволяющая исследовать такие параметры, как TTP (time-to-peak) – время достижения максимума контрастного препарата в ткани после инъекции, CBV (церебральный объем крови), CBF (церебральный кровоток) и MTT (mean transit time, среднее время транзита, CBV/CBF).

Те же параметры можно вычислить с помощью КТ-перфузии, при этом в качестве контрастного препарата используется йодсодержащий агент.

Важно понимать, что КТ- и МР-перфузии, осуществляемые с помощью введения внутривенно контрастного препарата, отличаются от ПЭТ-перфузии, так как контрастный препарат при этих методах не должен проникать через гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), что позволяет измерять кровоток внутри сосудов более точно. Эти методы нашли важное применение в диагностике и определении степени ишемии, особенно на ранней стадии развития инсульта [3–5], а также в диагностике опухолей головного мозга [6–8].

Основной проблемой КТ- и МРТ-контрастной перфузии является сложность определения артериальной концентрации контрастного вещества, что делает определение абсолютных значений перфузии подверженным большим флуктуациям [3].

К примеру, при исследовании пациентов с цереброваскулярными стеноокклюзивными заболеваниями [9] при сравнении КТ- и $H_2{}^{15}O$-перфузии отмечается, что КТ-методика чувствительна к применяемым в реконструкции алгоритмам обратной свертки, и результат CBF сильно зависит от временны́х характеристик прохождения болюса контрастного препарата.

Более точным считается количественное измерение КТ-перфузии с ксеноном-133. Инертный газ, в частности ксенон, является свободно диффундирующим через ГЭБ агентом, который применялся для измерения перфузии сразу же после открытия гамма-детекторов (Xe-133 с 60-х годов XX века [10]). Существенное упрощение методики произошло с внедрением КТ в медицинскую практику. Оказалось, что ксенон является тяжелым инертным газом и его можно использовать в качестве КТ-“контраста” [10–12]. Ксенон вдыхается через маску и по достижении равновесия (количество ксенона на выдохе и вдохе равно) измеряется концентрация ксенона в выдыхаемом воздухе и считается равной концентрации в артериальной крови. Далее моделирование перфузии, в том числе на пиксельном уровне, осуществляется с использованием известного метода Кети–Шмидта [13] (см. первую часть обзора).

Методика тем не менее не нашла широкого распространения из-за сравнительно высокой дозы облучения (требуется многократное КТ-сканирование области интереса), фармакологического эффекта от ксенона, включая непереносимость некоторыми пациентами процедуры, спонтанных движений вследствие релаксирующего эффекта препарата, а также необходимости установки дополнительного специализированного дорогостоящего оборудования [13–15]. Тем не менее считается, что измеренные значения перфузии точны и методика продолжает применяться в настоящее время в отдельных исследовательских центрах [16].

ASL-перфузия

Открытая в 1992 г. технология ASL-перфузии [17] позволяет избежать введения экзогенного контрастирующего препарата и лучевой нагрузки, типичной для КТ. ASL-перфузия по физическим свойствам близка к ПЭТ, а “трейсером” или биомаркером выступает та же вода, только вклад в изображение вносит атом водорода, а не кислорода.

Суть метода ASL-перфузии заключается в маркировании спинов протонов в атомах водорода в артериальной крови непосредственно перед тем, как эта кровь попадает в мозг. Сначала радиочастотные импульсы маркируют поступающую по артериям кровь, которая уменьшает сигнал от ткани, в которую поступает. Далее снимается контрольная серия без маркировки спинов. Вычитание изображений одно из другого дает изображение, пропорциональное по интенсивности поступлению маркированной крови, т.е. перфузии.

Правильно подобранный калибровочный коэффициент решает проблему неизвестной концентрации трейсера в крови (что невозможно выполнить в DSC и КТ-перфузии).

Особенностью метода является короткое время сохранения инверсии спинов (время T1-релаксации, порядка нескольких секунд), что может привести при неправильно выбранном времени задержки к ошибкам в численных значениях перфузии, а также различное время релаксации в разных тканях, что особенно важно для воды, которая свободно переходит из одной ткани в другую [18]. МР-сканеры 3,0 Тл из-за более длительного времени релаксации в сильном магнитном поле рассматриваются как более предпочтительные для использования данной методики.

Валидация метода ASL-перфузии у здоровых добровольцев

Проверка точности метода ASL-перфузии осуществлялась с помощью ПЭТ с $H_2{}^{15}O$.

A.Fan и соавт. в своем обзоре использования МРТ со спиновой маркировкой артериальной крови для изучения перфузии [18] приводят сравнение методов для здоровых добровольцев. МРТ использовалась в режиме pASL (pulsed) либо pCASL (pseudo-continuous). Измеренные значения в 6 из 7 статей, приведенных в обзоре, показали небольшую разницу в измерении общей перфузии мозга здоровых добровольцев (<15%) при CBF = 44,2 ± 9 мл/100 г/мин при ПЭТ-измерениях и 41,5 ± 9 мл/100 г/мин для МРТ-метода (для серого вещества 53,9 ± 11 и 54,1 ± 10 мл/100 г/мин соответственно). Коэффициент вариации обоих методов, приведенный в обзоре, для одного и того же объекта при повторном сканировании составляет COVASL = 8,6% и COVPET = 10,1%, а для разных объектов COVASL = 14,6% и COVPET = 13,3%, что позволяет говорить о сравнимом качестве измерений.

Недостатком ASL-перфузии остается зависимость численных результатов от времени артериального транзита (arterial transit time – ATT) с возможностью недооценки реальных показателей перфузии в случае выраженности цереброваскулярной патологии. Также вклад в ошибки абсолютных значений перфузии вносит разность индиви-

дуальных времен релаксации T1, которые зависят от гематокрита, и, таким образом, могут существенно отличаться у детей или людей с заболеваниями крови [19]. Еще больше времена релаксации зависят от окружающих тканей. Так, в сером веществе T1 порядка 1200 мс, в белом веществе 600 мс [20], при этом в артериальной крови в среднем значение T1 принимается в диапазоне 1250–1650 мс. Это приводит к тому, что уменьшение сигнала при моделировании перфузии в модели Кети–Смита может потребовать не одно-объемной (как в случае ПЭТ), а более сложной и чувствительной к соотношению сигнал/шум двухобъемной модели с соответствующим увеличением возможности ошибок. Действительно, анализ регионального кровотока, выполненный методом ASL, демонстрирует систематическую переоценку перфузии в глубоких структурах коркового и недооценку в белом веществе (к тому же ее трудно измерить из-за меньшего в 2–3 раза кровотока), префронтальной коре и базальных ядрах [21]. Существует много иных технических аспектов по улучшению точности измерения методом ASL [18], но их рассмотрение не входит в задачи данного обзора.

Недавний ввод ПЭТ-МРТ-сканеров в клиническую практику позволил измерить ASL и $H_2{}^{15}O$ одновременно, избавившись от возможного естественного изменения кровотока между экспериментами, проведенными в разное время [22–24]. Использование гипервентиляции [22], а также вазодилататора ацетазоламида позволило сравнить перфузию в большом динамическом диапазоне у одного объекта (перфузия менялась до 2 раз). При гипервентиляции глобальный кровоток составил 24,5 ± 5,1 и 23,4 ± 4,8 мл/100 г/мин для ПЭТ и ASL соответственно, в норме 40,0 ± 6,5 и 40,6 ± 4,1 мл/100 г/мин, и после введения ацетазоламида (15–20 мг/кг) 59,0 ± 10,4 и 61,7 ± 10,0 мл/100 г/мин, что можно считать хорошим совпадением, тем не менее расхождения в измерении локального кровотока сохранились. В работе O. Puig и соавт. [22], однако, зафиксированы расхождения и в глобальном кровотоке (43,3 ± 6,1 и 51,9 ± 7,1), что свидетельствует об уязвимости метода ASL к ошибкам в выборе параметров модели вычисления перфузии. Обзор более ранних работ по сравнению региональной перфузии [25] также подтверждает систематическую недооценку перфузии центральных отделов мозга ASL-методами. Данный эффект может быть скорректирован новыми алгоритмами обработки изображений с использованием искусственного интеллекта и глубокого обучения [26].

Валидация измерений перфузии при заболеваниях, влияющих на кровоток

Следует отметить, что при цереброваскулярных заболеваниях, нейродегенерации, при болезни моямоя может быть не только снижен локальный кровоток, но и замедлено время доставки крови. Метод измерения перфузии с помощью ASL предполагает, что меченая кровь (после воздействия насыщающего радиочастотного импульса) успевает достигнуть зоны измерения, т.е. время релаксации соответствует времени задержки начала измерения, называемой временем инверсии TI в импульсной последовательности ASL (PASL), либо постмаркирующей задержкой PLD в непрерывной и псевдонепрерывной ASL (CASL, pCASL). Увеличение ATT позволяет медленно текущей крови оказаться в поле зрения, но при этом доля меченых спинов падает, что повышает шумность изображения. Именно по этой причине измерение перфузии более эффективно на 3 Тл сканерах, так как время релаксации тканей увеличивается с ростом напряженности магнитного поля.

Преимущество в использовании переменного ATT, т.е. определение оптимального времени задержки для каждого пациента индивидуально, проводилось для болезни моямоя [27], при этом времена варьировались от 0,7 до 3 с. Оптимальным считается время, которое при дальнейшем увеличении не меняет значения перфузии, а только увеличивает шум. Сравнение ASL с фиксированным ATT = 1,65 с выявило существенную разницу, а валидация ПЭТ с $H_2{}^{15}O$, проведенная с артериальным забором крови, показала, что именно ASL с переменным ATT дает наиболее правильные значения перфузии. Повторный эксперимент с моямоя [28] (ATT = 0,3–3,7 с) подтвердил преимущество переменного ATT над постоянным (также валидирован ПЭТ), при этом был измерен и цереброваскулярный резерв, оказавшийся ожидаемо выше в интактных областях.

В случае цереброваскулярных заболеваний можно полагаться на ATT короче оптимального (т.е. приводящего к недооценке CBF проблемной области), если стоит задача определить церебральное перфузионное давление [29].

Клинические применения ASL в настоящее время широки и включают в себя инсульты [30], нейроонкологию, мигрени и др. [31].

ПЭТ с $H_2{}^{15}O$ в эпоху ПЭТ-МРТ: на пути к неинвазивности

Существующая с первого измерения перфузии в 1940-х годах проблема необходимости забора артериальной крови приближается к решению с помощью МРТ. Знание глобального кровотока позволяет использовать область интереса “весь мозг” для определения локального кровотока в моделировании фармакокинетики.

Первым вариантом, как упоминалось выше, может быть использование данных ASL-перфузии, собранных одновременно с ПЭТ-данными [32]. При отклонениях в точности вычисления локальной перфузии разных отделов мозга глобальная перфузия измеряется достаточно точно.

Второй вариант – фазоконтрастная МРТ (PC-МРТ) одновременно с ПЭТ-исследованием. При PC-МРТ возможно определение объемного мозгового кровотока, что позволяет использовать эти данные для получения численных значений локальной перфузии с $H_2{}^{15}O$. Метод, опробованный на свиньях массой около 20 кг [33], показал отличное совпадение данных глобальной перфузии нового и классического метода, далее был валидирован на здоровых добровольцах [34]. Данная технология применяется на практике, например, таким образом был исследован кровоток отделов мозга пациентов с жалобами на неврологические нарушения после вакцинации от COVID-19 [35].

Использование МР-изображений из синхронного сканирования для более точного выделения питающих артерий и формирования входной функции на изображении (IDIF – image derived input function) для ПЭТ также применяется [26, 33, 36], что является прямой альтернативой PC-МРТ, так как входная функция также оценивается по маленькому отрезку питающей артерии вне мозга, при этом учитываются эффекты частично заполненного объема.

Существенное улучшение качества IDIF ожидается с ростом поля зрения, достигающего в экспериментальных моделях 194 см [37] и 106 см в коммерческих [38]. При таком размере поля зрения аорта сканируется одновременно с головным мозгом и служит идеальным валидирующим источником входной функции.

Коэффициент экстракции кислорода и скорость метаболизма кислорода ($CMRO_2$)

Коэффициент экстракции кислорода OEF, изменение которого может быть маркером предынсультных состояний [39] и болезни Альцгеймера [40], также может быть измерен с помощью МРТ методом qBOLD (quantitative BOLD – blood oxygenation level-dependent) [41] или TRUST (T2-Relaxation-Under-Spin-Tagging) [42].

Оба метода валидированы ПЭТ с использованием как газов $^{15}O_2$ и $C^{15}O$, так и $H_2{}^{15}O$. В обоих случаях сравнение методов проводилось на здоровых добровольцах, причем в одном случае входная функция бралась из изображения [41], а область измерения находилась с помощью времяпролетной МР-ангиографии. Во втором случае измерение сопровождалось забором артериальной крови [42].

Дезоксигемоглобин, в отличие от оксигемоглобина, является парамагнетиком и тем самым может быть использован как экзогенный биомаркер [43], что послужило основой для развития многочисленных методик измерения как содержания кислорода в крови, так и скорости его передачи. Например, получение количественных характеристик в методике qBOLD, таких как OEF [44], сопровождается построением динамической модели, разделяющей мозг на серое и белое вещество, цереброспинальную жидкость и кровь.

Методика TRUST [45] изолирует T2-сигнал крови от окружающих тканей, при этом заранее требуется калибровка уровня сигнала не только в зависимости от содержания кислорода в крови, но и гематокрита.

Изложенные выше достижения открывают путь к неинвазивному измерению $CMRO_2$ с помощью МРТ при условии, что известна концентрация C_a кислорода в артериальной крови [34], согласно формуле $CMRO_2 = CBF \cdot OEF \cdot C_a$. Концентрация кислорода в артериальной крови берется табличной на единицу гематокрита. Концентрацию кислорода в венозной крови, необходимую для определения OEF, возможно измерить с высокой точностью, например методом МР-оксиметрии [46]. Оксиметрия проводится на отдельном крупном венозном сосуде (чаще всего в верхнем сагиттальном синусе [47]). Возможности локальных измерений ограничены высоким шумом из-за малого количества венозной крови в паренхиме мозга [48].

Неинвазивные методики определения параметров метаболизма кислорода методами МРТ представлены недавно и на момент написания обзора не получили полноценной независимой валидации.

Альтернативные радиофармпрепараты для оценки перфузии

В перечисленных выше подходах перфузия измерялась так или иначе с помощью воды или свободно диффундирующего биомаркера со схожими

свойствами, к примеру, инертного газа. Но оценку перфузии можно произвести и с помощью иных соединений с высокой экстракцией первого прохода. В работе [49], к примеру, предлагается оценивать перфузию с помощью радиофармпрепарата ^{11}C-PIB, предназначенного для диагностики болезни Альцгеймера и обнаружившего хорошую корреляцию между накоплением в первую минуту и абсолютными значениями региональной перфузии отделов головного мозга, измеренными классическим образом с помощью ПЭТ с $H_2{}^{15}O$. Такая методика позволяет оценивать перфузию одновременно с диагностическим сканированием радиофармпрепаратом с “быстрой” фармакокинетикой.

Заключение

Достижения начала XXI века в области МРТ позволяют измерить все ключевые параметры метаболизма кислорода: CBF, $CMRO_2$ и OEF. Наиболее исследованы возможности ASL МРТ, показавшие высокую стабильность в измерениях глобальной перфузии, но имеющую систематическую недооценку перфузии во внутренних отделах мозга и переоценку по периферии. Использование МРТ одновременно с ^{15}O позволяет избавиться от главного недостатка ПЭТ– необходимости установки артериального катетера. Таким образом обеспечивается неинвазивность измерений, что было главной задачей развития технологий, а ПЭТ с ^{15}O остается удобным инструментом валидации новых методов, но теперь также может применяться более комфортно для пациента.

Финансирование исследования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-25-00201).

Участие авторов

Постнов А.А. – концепция и дизайн исследования, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Калаева Д.Б. – обзор публикаций по теме статьи.

Балахонов А.Б. – обзор публикаций по теме статьи.

Пронин И.Н. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors’ participation

Postnov A.A. – concept and design of the study, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Kalaeva D.B. – review of publications.

Balakhonov A.B. – review of publications.

Pronin I.N. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Van Der Veldt A.A.M., Hendrikse N.H., Harms H.J. et al. Quantitative parametric perfusion images using ^{15}O-labeled water and a clinical PET/CT scanner: Test-retest variability in lung cancer. *J. Nucl. Med.* 2010; 51 (11): 1684–1690. https://doi.org/10.2967/jnumed.110.079137
2. Rosen B.R., Belliveau J.W., Vevea J.M., Brady T.J. Perfusion imaging with NMR contrast agents. *Magn. Reson. Med*. 1990; 14 (2): 249–265. https://doi.org/10.1002/mrm.1910140211
3. Copen W.A., Lev M.H., Rapalino O. Brain Perfusion: Computed Tomography and Magnetic Resonance Techniques. Vol. 135. 1st ed. Elsevier B.V., 2016. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53485-9.00006-4
4. Wannamaker R., Buck B., Butcher K. Multimodal CT in Acute Stroke. *Curr. Neurol. Neurosci. Rep.* 2019; 19 (9): 63. https://doi.org/10.1007/s11910-019-0978-z
5. Vilela P., Rowley H.A. Brain ischemia: CT and MRI techniques in acute ischemic stroke. *Eur. J. Radiol.* 2017; 96: 162–172. https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.08.014
6. Batalov A.I., Zakharova N.E., Pronin I.N. et al. 3D pCASL-perfusion in preoperative assessment of brain gliomas in large cohort of patients. *Sci Rep*. 2022; 12 (1): 2121. https://doi.org/10.1038/s41598-022-05992-4
7. Batalov A.I., Zakharova N.E., Chekhonin I. V. et al. Arterial Spin Labeling Perfusion in Determining the IDH1 Status and Ki-67 Index in Brain Gliomas. *Diagnostics*. 2022; 12 (6): 1–12. https://doi.org/10.3390/diagnostics12061444
8. Шульц Е.И., Пронин И.Н., Баталов А.И., Соложенцева К.Д., Павлова Г.В., Дрозд С.Ф., Беляев А.Ю., Маряшев С.А., Пицхелаури Д.И. Исследование гемодинамики злокачественных глиом методом КТ-перфузии. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (2): 105–118. https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-105-118
Shults E.I., Pronin I.N., Batalov A.I. et al. CT-perfusion in assessment of the malignant gliomas hemodynamics. *Medical Visualization*. 2020; 24 (2): 105–118. https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-105-118 (In Russian)
9. Ibaraki M., Ohmura T., Matsubara K., Kinoshita T. Reliability of CT perfusion-derived CBF in relation to hemodynamic compromise in patients with cerebrovascular steno-occlusive disease: A comparative study with ^{15}O PET. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 2015; 35 (8): 1280–1288. https://doi.org/10.1038/jcbfm.2015.39
10. Lassen N., Indvar D. Brain regions involved in voluntary movements as revealed by radioisotopic mapping of CBF or CMR-glucose changes. *Rev. Neurol. (Paris).* 1990; 146 (10): 620–625.
11. Gur D., Good W.F., Wolfson S.K. et al. In vivo mapping of local cerebral blood flow by xenon-enhanced computed tomography. *Science.* 1982; 215 (4537): 1267–1268. https://doi.org/10.1126/science.7058347
12. Yonas H., Darby J.M., Marks E.C. et al. CBF measured by Xe-CT: Approach to analysis and normal values. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 1991; 11 (5): 716–725. https://doi.org/10.1038/jcbfm.1991.128

13. Kety S.S., Schmidt C.F. The Nitrous Oxide Method for the Quantitative Determination of Cerebral Blood Flow in Man: Theory, Procedure and Normal Values. *J. Clin. Invest*. 1948; 27 (4): 476–483. https://doi.org/10.1172/JCI101994
14. Mullins M.E. Stroke Imaging with Xenon-CT. *Semin. Ultrasound, CT MRI.* 2006; 27 (3): 219–220. https://doi.org/10.1053/j.sult.2006.02.006
15. Yonas H., Pindzola R.R., Johnson D.W. Xenon / Computed Tomography Cerebral Blood Flow and its use in Clinical Management. *Neurosurg. Clin. N. Am.* 1996; 7 (4): 605–616. https://doi.org/10.1016/S1042-3680(18)30349-8
16. Svedung Wettervik T., Engquist H., Hånell A. et al. Cerebral Blood Flow and Oxygen Delivery in Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: Relation to Neurointensive Care Targets. *Neurocrit. Care*. 2022; 37 (1): 281–292. https://doi.org/10.1007/s12028-022-01496-1
17. Williams D.S., Detre J.A., Leigh J.S., Koretsky A.P. Magnetic resonance imaging of perfusion using spin inversion of arterial water. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 1992; 89 (1): 212–216. https://doi.org/10.1073/pnas.89.1.212
18. Fan A.P., Jahanian H., Holdsworth S.J., Zaharchuk G. Comparison of cerebral blood flow measurement with [^{15}O]-water positron emission tomography and arterial spin labeling magnetic resonance imaging: A systematic review. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 2015; 36 (5): 842–861. https://doi.org/10.1177/0271678X16636393
19. De Vis J.B., Hendrikse J., Groenendaal F. et al. Impact of neonate haematocrit variability on the longitudinal relaxation time of blood: Implications for arterial spin labelling MRI. *NeuroImage Clin*. 2014; 4: 517–525. https://doi.org/10.1016/j.nicl.2014.03.006
20. Steen R.G., Gronemeyer S.A., Kingsley P.B., Reddick W.E., Langston J.S., Taylor J.S. Precise and accurate measurement of proton T1 in human brain in vivo: Validation and preliminary clinical application. *J. Magn. Reson. Imaging.* 1994; 4 (5): 681–691. https://doi.org/10.1002/jmri.1880040511
21. Heijtel D.F.R., Mutsaerts H.J.M.M., Bakker E. et al. Accuracy and precision of pseudo-continuous arterial spin labeling perfusion during baseline and hypercapnia: A head-to-head comparison with ^{15}O H_2O positron emission tomography. *Neuroimage*. 2014; 92: 182–192. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.02.011
22. Puig O., Vestergaard M.B., Lindberg U. et al. Phase contrast mapping MRI measurements of global cerebral blood flow across different perfusion states – A direct comparison with ^{15}O-H_2O positron emission tomography using a hybrid PET/MR system. *J. Cereb. Blood Flow. Metab*. 2019; 39 (12): 2368–2378. https://doi.org/10.1177/0271678X18798762
23. Puig O., Henriksen O.M., Vestergaard M.B. et al. Comparison of simultaneous arterial spin labeling MRI and ^{15}O-H_2O PET measurements of regional cerebral blood flow in rest and altered perfusion states. *J. Cereb. Blood Flow. Metab*. 2020; 40 (8): 1621–1633. https://doi.org/10.1177/0271678X19874643
24. Zhang K., Herzog H., Mauler J. et al. Comparison of cerebral blood flow acquired by simultaneous [^{15}O]water positron emission tomography and arterial spin labeling magnetic resonance imaging. *J. Cereb Blood. Flow. Metab.* 2014; 34 (8): 1373–1380. https://doi.org/10.1038/jcbfm.2014.92
25. van Golen L.W., Kuijer J.P.A., Huisman M.C. et al. Quantification of Cerebral Blood Flow in Healthy Volunteers and Type 1 Diabetic Patients: Comparison of MRI Arterial Spin Labeling and [^{15}O] H_2O Positron Emission Tomography (PET). *J. Magn. Reson. Imaging.* 2014; 40: 1300–1309. https://doi.org/10.1002/jmri.24484
26. Puig O., Henriksen O.M., Andersen F.L. et al. Deep-learning-based attenuation correction in dynamic [^{15}O] H_2O studies using PET/MRI in healthy volunteers. *J. Cereb. Blood Flow. Metab*. 2021; 41 (12): 3314–3323. https://doi.org/10.1177/0271678X211029178
27. Fan A.P., Khalighi M.M., Guo J. et al. Identifying hypoperfusion in moyamoya disease with arterial spin labeling and an [^{15}O]-Water positron emission tomography/magnetic resonance imaging normative database. *Stroke*. 2019; 50 (2): 373–380. https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.023426
28. Zhao M.Y., Fan A.P., Chen D.Y.T., et al. Using arterial spin labeling to measure cerebrovascular reactivity in Moyamoya disease: Insights from simultaneous PET/MRI. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* 2022; 42 (8): 1493–1506. https://doi.org/10.1177/0271678X221083471
29. Itagaki H., Kokubo Y., Kawanami K. et al. Arterial spin labeling magnetic resonance imaging at short post-labeling delay reflects cerebral perfusion pressure verified by oxygen-15-positron emission tomography in cerebrovascular steno-occlusive disease. *Acta Radiol.* 2021; 62 (2): 225–233. https://doi.org/10.1177/0284185120917111
30. Besheli L.D., Ahmed A., Hamam O. et al. Arterial Spin Labeling technique and clinical applications of the intracranial compartment in stroke and stroke mimics – A case-based review. *Neuroradiology*. 2022; 35 (4): 437–453. https://doi.org/10.1177/19714009221098806
31. Soldozy S., Galindo J., Snyder H. et al. Clinical utility of arterial spin labeling imaging in disorders of the nervous system. *Neurosurg. Focus*. 2019; 47 (6): E5. https://doi.org/10.3171/2019.9.FOCUS19567
32. Dolui S., Fan A.P., Zhao M.Y. et al. Reliability of arterial spin labeling derived cerebral blood flow in periventricular white matter. *Neuroimage: Reports.* 2021; 1 (4): 100063. https://doi.org/10.1016/j.ynirp.2021.100063
33. Ssali T., Anazodo U.C., Thiessen J.D. et al. A noninvasive method for quantifying cerebral blood flow by hybrid PET/MRI. *J. Nucl. Med.* 2018; 59 (8): 1329–1334. https://doi.org/10.2967/jnumed.117.203414
34. Narciso L., Ssali T., Iida H., Lawrence K.St. A non-invasive reference-based method for imaging the cerebral metabolic rate of oxygen by PET/MR: Theory and error analysis. *Phys. Med. Biol.* 2021; 66 (6). https://doi.org/10.1088/1361-6560/abe737
35. Siripongsatian D., Kunawudhi A., Promteangtrong C. et al. Alterations in ^{18}F-FDG PET/MRI and ^{15}O-Water PET Brain Findings in Patients with Neurological Symptoms after COVID-19 Vaccination: A Pilot Study. *Clin. Nucl. Med.* 2022; 47 (3): E230–E239. https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000004041
36. Khalighi M.M., Deller T.W., Fan A.P. et al. Image-derived input function estimation on a TOF-enabled PET/MR for cerebral blood flow mapping. *J. Cereb. Blood Flow. Metab*. 2018; 38 (1): 126–135. https://doi.org/10.1177/0271678X17691784
37. Zhang B.L., Liu J., Lei Y. et al. An Epigenetic Mechanism of High Gdnf Transcription in Glioma Cells Revealed by

Specific Sequence Methylation. *Mol. Neurobiol*. 2015; 53 (7): 4352–4362. https://doi.org/10.1007/s12035-015-9365-1
38. Lan X., Younis M.H., Li K., Cai W. First clinical experience of 106 cm , long axial field-of-view (LAFOV) PET / CT: an elegant balance between standard axial (23 cm) and total-body (194 cm) systems. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2021; 48: 3755–3759. https://doi.org/10.1007/s00259-021-05505-x
39. Gupta A., Chazen J.L., Hartman M. et al. Cerebrovascular Reserve and Stroke Risk in Patients With Carotid Stenosis or Occlusion A Systematic Review and Meta-Analysis. *Stroke*. 2012; 43: 2884–2891. https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.112.663716
40. Ishii K., Kitagaki H., Kono M., Mon E. Decreased Medial Temporal Oxygen Metabolism in Alzheimer's Disease Shown by PET. *J. Nucl. Med.* 1996; 37: 1159–1165.
41. Cho J., Lee J., An H. et al. Cerebral oxygen extraction fraction (OEF): Comparison of challenge-free gradient echo QSM+qBOLD (QQ) with ^{15}O PET in healthy adults. *J. Cereb. Blood Flow. Metab*. 2021; 41 (7): 1658–1668. https://doi.org/10.1177/0271678X20973951
42. Jiang D., Deng S., Franklin C.G. et al. Validation of T2-based oxygen extraction fraction measurement with ^{15}O positron emission tomography. *Magn. Reson. Med.* 2021; 85 (1): 290–297. https://doi.org/10.1002/mrm.28410
43. Ogawa S., Lee T.M., Kay A.R., Tank D.W. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1990; 87: 9868–9872. https://doi.org/10.1073/pnas.87.24.9868
44. He X., Zhu M., Yablonskiy D.A. Validation of Oxygen Extraction Fraction Measurement by qBOLD Technique. *Magn. Reson. Med.* 2008; 60: 882–888. https://doi.org/10.1002/mrm.21719
45. Lu H., Xu F., Grgac K. et al. Calibration and Validation of TRUST MRI for the Estimation of Cerebral Blood Oxygenation. *Magn. Reson. Med.* 2012; 67: 42–49. https://doi.org/10.1002/mrm.22970
46. Wehrli F.W., Rodgers Z., Jain V. et al. Time-Resolved MRI Oximetry for Quantifying CMRO 2 and Vascular Reactivity. *Acad. Radiol.* 2014; 21 (2): 207–214. https://doi.org/10.1016/j.acra.2013.11.001
47. Jain V., Langham M.C., Wehrli F.W. MRI estimation of global brain oxygen consumption rate. *J. Cereb. Blood Flow Metab*. 2010; 30 (9): 1598–1607. https://doi.org/10.1038/jcbfm.2010.49
48. Li W., Xu F., Zhu D., Zijl P.C.M. Van. T2 -oximetry – based cerebral venous oxygenation mapping using Fourier-transform – based velocity-selective pulse trains. *Magn. Reson. Med.* 2022; 88 (3): 1292–1302. https://doi.org/10.1002/mrm.29300
49. Ponto L.L.B., Moser D.J., Menda Y. et al. Early Phase PIB-PET as a Surrogate for Global and Regional Cerebral Blood Flow Measures. *J. Neuroimaging.* 2019; 29 (1): 85–96. https://doi.org/10.1111/jon.12582

Для корреспонденции*: Постнов Андрей Александрович – e-mail: postnov.email@gmail.com

Постнов Андрей Александрович – канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ "НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко" Минздрава России; доцент Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ"; научный сотрудник Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Москва. https://orcid.org/0000-0003-2504-2090. E-mail: postnov.email@gmail.com

Калаева Диана Борисовна – медицинский физик отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ "НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко" Минздрава России; аспирант Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ", Москва. https://orcid.org/0000-0001-8719-2225. E-mail: dkalaeva@nsi.ru

Балахонов Антон Борисович – ведущий инженер отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ "НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-3666-0911. E-mail: ABalakhonov@nsi.ru

Пронин Игорь Николаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ "НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко" Минздрава России, Москва. https://orcid.org/0000-0002-4480-0275. E-mail: pronin@nsi.ru

Contact*: Andrey A. Postnov – e-mail: postnov.email@gmail.com

Andrey A. Postnov – Cand. of Sci. (Phys.-Math.), researcher of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia; Assistant Professor of National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute); researcher of P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow. https://orcid.org/ 0000-0003-2504-2090. E-mail: apostnov@nsi.ru

Diana B. Kalaeva – Medical physicist of the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia; graduate student of National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow. https://orcid.org/0000-0001-8719-2225. E-mail: dkalaeva@nsi.ru

Anton B. Balakhonov – Lead Engineer of the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-3666-0911. E-mail: ABalakhonov@nsi.ru

Igor' N. Pronin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow. https://orcid.org/0000-0002-4480-0275