

ISSN 2079-5343

Научно-практический рецензируемый журнал
ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ

Магнитно-резонансная томография, ультразвуковая диагностика, рентгенология, компьютерная томография,
ядерная медицина, лучевая терапия

КТ, МРТ

Диффузное аксональное повреждение у детей раннего возраста

КТ, МРТ

Кистозные образования поджелудочной железы и текстурный анализ

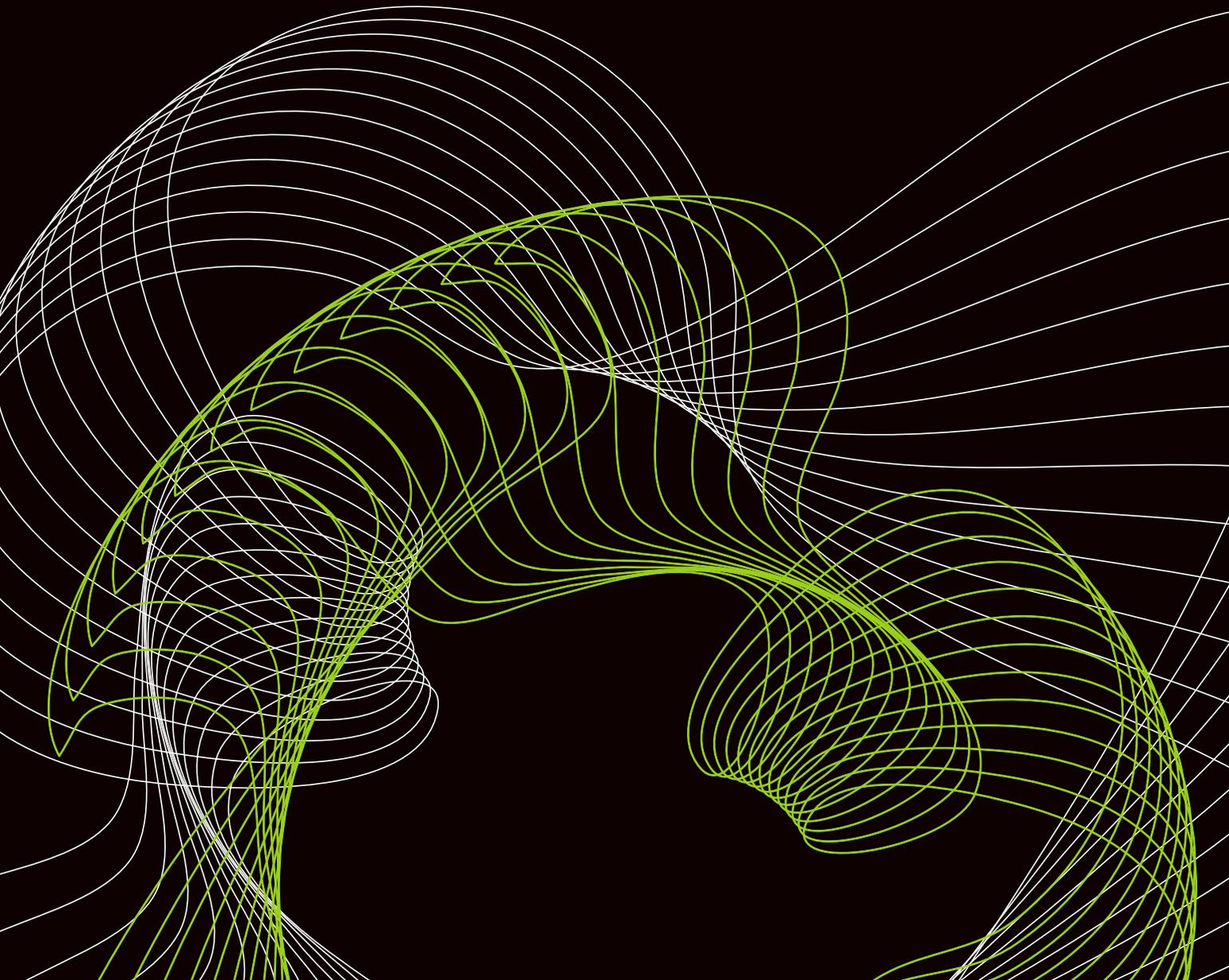
МРТ

Легочная перфузия у пациентов в постковидный период

№

2023 г.

3
(14)



Научно-практический рецензируемый журнал

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ

Магнитно-резонансная томография, ультразвуковая диагностика, рентгенология, компьютерная томография, ядерная медицина, лучевая терапия

Учредители: Санкт-Петербургское радиологическое общество,
Санкт-Петербург, Россия

Институт мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН,
Санкт-Петербург, Россия

Балтийский медицинский образовательный центр,
Санкт-Петербург, Россия

№ 3 (14)
2023

Главный редактор

Трофимова Татьяна Николаевна

доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН,
Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова,
Институт мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН, Санкт-Петербург, Россия

Заместители главного редактора

Румянцев Павел Олегович

доктор медицинских наук, профессор,
Группа компаний «Мой медицинский центр», Санкт-Петербург, Россия

Рыжкова Дарья Викторовна

доктор медицинских наук, профессор РАН,
Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Ответственный секретарь

Железняк Игорь Сергеевич

доктор медицинских наук, профессор,
Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

Журнал включен в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук: 3.1.6 — Онкология, лучевая терапия (медицинские науки); 3.1.18 — Внутренние болезни (медицинские науки); 3.1.20 — Кардиология (медицинские науки); 3.3.3 — Патологическая физиология (медицинские науки); 3.1.10 — Нейрохирургия (медицинские науки); 3.1.25 — Лучевая диагностика (медицинские науки)

Журнал включен в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ, базы данных Global Health, Google Scholar, в Российский индекс научного цитирования www.elibrary.ru

Издатель: Балтийский медицинский образовательный центр

Почтовый адрес журнала: 195176, ул. Большая Пороховская, д. 37,
к. 1, лит. А, кв. 201, Санкт-Петербург, Россия, тел.: +7 921 956-92-55

<http://radiag.bmoc-spb.ru/jour>

e-mail: ooo.bmoc@mail.ru

Объединенный каталог

«Пресса России» 42177

Редколлегия журнала

- Багненко Сергей Фёдорович* — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия
- Багненко Сергей Сергеевич* — доктор медицинских наук, доцент, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия
- Беликова Мария Яковлевна* — доктор медицинских наук, Госпиталь для ветеранов войн, Санкт-Петербург, Россия
- Беляков Николай Алексеевич* — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия
- Важенин Андрей Владимирович* — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия
- Вебер Виктор Робертович* — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия
- Долгушин Борис Иванович* — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Блохина, Москва, Россия
- Завадовская Вера Дмитриевна* — доктор медицинских наук, профессор, Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия
- Котляров Пётр Михайлович* — доктор медицинских наук, профессор, Российский научный центр рентгенорадиологии, Москва, Россия
- Лишманов Юрий Борисович* — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
- Лукина Ольга Васильевна* — доктор медицинских наук, доцент, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия
- Пронин Игорь Николаевич* — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко, Москва, Россия
- Рахимжанова Раушан Ибжановна* — доктор медицинских наук, профессор, Заслуженный деятель РК, академик Академии профилактической медицины, Медицинский университет Астана, Нур-Султан, Казахстан
- Риенмюллер Райнер* — доктор медицинских наук, профессор, г. Грац, Австрия
- Рицо Стефания* — доктор медицинских наук, Клиника радиологии, Лугано, Швейцария
- Синицын Валентин Евгеньевич* — доктор медицинских наук, профессор, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
- Станжевский Андрей Алексеевич* — доктор медицинских наук, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия
- Сухова Марина Борисовна* — доктор медицинских наук, доцент, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
- Труфанов Геннадий Евгеньевич* — доктор медицинских наук, профессор, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия
- Тулупов Андрей Александрович* — доктор медицинских наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Международный томографический центр СО РАН, Новосибирск, Россия
- Тюрин Игорь Евгеньевич* — доктор медицинских наук, профессор, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Блохина, Москва, Россия
- Усов Владимир Юрьевич* — доктор медицинских наук, профессор, Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е. Н. Мешалкина, Новосибирск, Россия
- Филиппо Дель Гранде* — доктор медицинских наук, профессор, Клиника радиологии, Лугано, Швейцария
- Чибисова Марина Анатольевна* — доктор медицинских наук, профессор, Санкт-Петербургский институт стоматологии последипломного образования, Санкт-Петербург, Россия

scientific peer-reviewed journal

DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

Magnetic resonance imaging, diagnostic ultrasound, roentgenology, computed tomography, nuclear medicine, radiotherapy

Founders: St. Petersburg Society of Radiology, St. Petersburg, Russia

N. P. Bechtereva Institute of the Human

Brain of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Baltic Medical Educational Center, St. Petersburg, Russia

No. **3**⁽¹⁴⁾
2023

Editor-in-chief

Trofimova, Tatyana Nikolaevna

Dr. of Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,
Pavlov First State Medical University of St. Petersburg,

N. P. Bechtereva the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Associates Editor

Rumyantsev, Pavel Olegovich

Dr. of Sci. (Med.), Professor,

Group of Clinics «My Medical Center», St. Petersburg, Russia

Ryzhkova, Daria Victorovna

Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Sciences,

The National Medical Research Centre of V. A. Almazov, St. Petersburg, Russia

Executive Secretary

Zheleznyak, Igor Sergeevich

Dr. of Sci. (Med.), Professor,

S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

The journal is included in the List of reviewed scientific journals of higher attestation Commission for publication of basic scientific results of theses database of the Russian Science Citation Index (RSCI), Global Health, Google Scholar, abstract journal and database VINITI

Publisher: Baltic Medical Educational Center

Mailing address of the journal: 195176, Bolshaya Porokhovskaya str.,
37/1, lit. A, sq. 201, St. Petersburg, Russia, tel.: +7 921 956-92-55

<http://radiag.bmoc-spb.ru/jour>

e-mail: ooo.bmoc@mail.ru

Union Catalogue
«The Russian Press» 42177

Editorial Board

- Sergey F. Bagnenko* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Science, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia
- Sergey S. Bagnenko* — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, the National Medical Research Centre of Oncology of N. N. Petrov, St. Petersburg, Russia
- Mariya Ya. Belikova* — Dr. of Sci. (Med.), Hospital for War Veterans, St. Petersburg, Russia
- Nikolay A. Belyakov* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Science, Honored Worker of Science, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia
- Andrey V. Vazhenin* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Science, South-Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia
- Victor R. Veber* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Sciences, The Novgorod State University of Yaroslav Mudriy, V. Novgorod, Russia
- Boris I. Dolgushin* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Sciences, the National Medical Research Centre of Oncology of N. N. Blokhin, Moscow, Russia
- Vera D. Zavadovskaya* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, the Siberian State Medical University, Tomsk, Russia
- Pyotr M. Kotlyarov* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, the Russian Research Centre of Radiology, Moscow, Russia
- Yuri B. Lishmanov* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Worker of Science, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
- Olga V. Lukina* — Dr. of Sci. (Med.), Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia
- Igor N. Pronin* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Sciences, the National Medical Research Centre of Neurosurgery of N. N. Burdenko, Moscow, Russia
- Raushan I. Rakhimzhanova* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Honored Worker of Science, Academician of the Academy of Preventive Medicine, the Astana Medical University, Nur-Sultan, Kazakhstan
- Reinmuller Rainer* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Graz, Austria
- Rizzo Stefania* — Dr. of Sci. (Med.), Radiology Clinic, Lugano, Switzerland
- Valentin Ye. Sinitsyin* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, the Moscow State University of M. V. Lomonosov, Moscow, Russia
- Andrei A. Stanzhevskii* — Dr. of Sci. (Med.), Russian Research Centre of Radiology and Surgical Techniques of A. M. Granov, Saint-Petersburg, Russia
- Marina B. Sukhova* — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, the National Research Nizhniy Novgorod State University of N. I. Lobachevskiy, Nizhniy Novgorod, Russia
- Gennadiy Ye. Trufanov* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, the National Medical Research Centre of V. A. Almazov, St. Petersburg, Russia
- Andrey A. Tulupov* — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Science, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, The Institute International Tomography Center of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
- Igor Ye. Tyurin* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, the National Medical Research Centre of Oncology of N. N. Blokhin, Moscow, Russia
- Wladimir Yu. Ussov* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, the Academician E. N. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia
- Filippo Del Grande* — Dr. of Sci. (Med.), Radiology Clinic, Lugano, Switzerland
- Marina A. Chibisova* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Saint Petersburg Dentistry Institute of Postgraduate Education, St. Petersburg, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ

- УЛЬТРАСОНОГРАФИЯ ЧЕРЕПА И СКАЛЬПА У ДЕТЕЙ: ОБЗОР 7
И. А. Крюкова, А. С. Иова, Е. Ю. Крюков, Р. С. Кулиева
- РОЛЬ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ХИРУРГИИ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ОБЗОР 18
А. С. Кудашкина, И. Г. Камышанская, В. М. Черемисин, К. В. Павелец, Д. С. Русанов, С. А. Калюжный
- ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА
 В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ КИСТОЗНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
 ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: КРИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПУБЛИКОВАННЫХ
 МЕТААНАЛИЗОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ СООБЩЕСТВ 27
А. А. Коваленко, Г. Г. Кармазановский

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

- ЭХОГЕННОСТЬ КАРОТИДНЫХ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИХ БЛЯШЕК КАК ПРЕДИКТОР
 НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ СОБЫТИЙ У ПАЦИЕНТОВ 40–64 ЛЕТ:
 ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 39
*В. В. Генкель, А. С. Кузнецова, Е. В. Лебедев, А. О. Салашенко, А. Ю. Савочкина, В. А. Сумеркина,
 К. В. Никушкина, Л. Р. Пыхова, И. И. Шапошник*
- МЕТОДИКА ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ЭЛЕКТРОДА
 В ПРОВОДЯЩУЮ СИСТЕМУ СЕРДЦА: АСПЕКТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ:
 РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 46
М. С. Медведь, С. Д. Рудь, Г. Е. Труфанов, Д. С. Лебедев
- МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЛЕГОЧНОЙ ПЕРФУЗИИ У ПАЦИЕНТОВ С РАННЕЕ
 ПЕРЕНЕСЕННОЙ COVID-19 ПНЕВМОНИЕЙ: КЛИНИЧЕСКОЕ
 КОНТРОЛИРУЕМОЕ НЕРАНДОМИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 53
А. В. Захарова, А. Н. Гвоздецкий, А. В. Поздняков, О. Ф. Позднякова
- КОРРЕЛЯЦИЯ МР-ПЕРФУЗИИ ЛЕГКИХ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕНЕСЕННОЙ COVID-19
 С КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКОЙ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ОСТРОЙ ФАЗЫ ЗАБОЛЕВАНИЯ 61
А. В. Захарова
- СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОСТРОЙ АБДОМИНАЛЬНОЙ
 ХИРУРГИЧЕСКОЙ ИНФЕКЦИИ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 67
Н. В. Климова, А. А. Гаус, И. А. Гаус
- СЦИНТИГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОЧКИ I–IV СТЕПЕНЕЙ
 ТЯЖЕСТИ И ИХ СООТВЕТСТВИЕ КЛАССИФИКАЦИИ OIS/OI AAST:
 НАБЛЮДАТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 74
К. А. Чиглинцев, А. В. Зырянов, А. Ю. Чиглинцев, М. А. Дружков, А. А. Макарян
- КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ
 ДИФFUЗНЫХ АКСОНАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ
 ТРАВМЕ У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ВОЗРАСТА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 82
*Е. С. Зайцева, Т. А. Ахадов, А. Д. Маматкулов, О. В. Божко, М. В. Ублинский, И. Н. Новосёлова,
 И. В. Понина, И. А. Мельников, Д. Н. Хусаинова*

НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

- МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ДИАГНОСТИКЕ АПИКАЛЬНОЙ
 ГИПЕРТРОФИЧЕСКОЙ КАРДИОМИОПАТИИ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 93
Ф. Н. Чанахьян, Н. И. Гуляев, Д. В. Сливинский, И. В. Клочкова, Е. В. ШUTOVA, А. Ю. Демченкова
- УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ДВОЙНОЙ ДУГИ АОРТЫ С УЧАСТКОМ АТРЕЗИИ:
 КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 99
О. Г. Малоземова, Р. М. Гасанова, Е. В. Холманская, Х. Р. Турко, А. А. Есян, Е. А. Филиппова
- УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИЧИН КАУЗАЛГИИ В ПОЗДНИЕ СРОКИ
 ПОСЛЕ ПАХОВОЙ ГЕРНИОПЛАСТИКИ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 105
Я. П. Зорин, А. Р. Гарифуллина, М. Г. Бойцова, Н. А. Карлова

CONTENTS

LECTURES AND REVIEWS

SKULL AND SCALP ULTRASOUND IN CHILDREN: A REVIEW	7
<i>I. A. Kriukova, A. S. Iova, E. Yu. Kryukov, R. S. Kulieva</i>	
THE ROLE OF 3D MODELING IN PANCREAS SURGERY: A REVIEW	18
<i>A. S. Kudashkina, I. G. Kamyshanskaya, V. M. Cheremisin, K. V. Pavelets, D. S. Rusanov, S. A. Kalyuzhny</i>	
PRECONDITIONS FOR RADIOMICS-BASED APPROACH IN DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF PANCREATIC CYSTIC LESIONS: CRITICAL EVALUATION OF META-ANALYSES AND INTERNATIONAL GUIDELINES	27
<i>A. A. Kovalenko, G. G. Karmazanovsky</i>	

ORIGINAL RESEARCH

ECHOGENICITY OF CAROTID ATHEROSCLEROTIC PLAQUES AS A PREDICTOR OF ADVERSE CARDIOVASCULAR EVENTS IN PATIENTS AGED 40–64: PROSPECTIVE STUDY	39
<i>V. V. Genkel, A. S. Kuznetsova, E. V. Lebedev, A. O. Salashenko, A. Yu. Savochkina, V. A. Sumerkina, K. V. Nikushkina, L. R. Pykhova, I. I. Shaposhnik</i>	
THE INTRAOPERATIVE VISUALISATION TECHNIQUE DURING LEAD IMPLANTATION INTO THE CARDIAC CONDUCTIVE SYSTEM: ASPECTS OF COMPUTED TOMOGRAPHY: PROSPECTIVE STUDY	46
<i>M. S. Medved, S. D. Rud, G. E. Trufanov, D. S. Lebedev</i>	
A TECHNIQUE FOR ASSESSING PULMONARY PERFUSION IN PATIENTS WITH PREVIOUSLY TREATED COVID-19 PNEUMONIA: CLINICAL CONTROLLED NON-RANDOMIZED STUDY	53
<i>A. V. Zakharova, A. N. Gvozdetskiy, A. V. Pozdnyakov, O. F. Pozdnyakova</i>	
CORRELATION OF MR PULMONARY PERFUSION IN PATIENTS WITH COVID-19 WITH QUANTITATIVE ASSESSMENT OF ACUTE PHASE CT IMAGES	61
<i>A. V. Zakharova</i>	
SYSTEMIC APPROACH TO IMAGING OF ACUTE ABDOMINAL SURGICAL INFECTION: A PROSPECTIVE STUDY	67
<i>N. V. Klimova, A. A. Gaus, I. A. Gaus</i>	
SCINTIGRAPHIC SIGNS OF KIDNEY INJURIES OF I–IV DEGREES OF SEVERITY AND THEIR COMPLIANCE WITH THE OIS/OI AAST CLASSIFICATION: OBSERVATIONAL STUDY	74
<i>K. A. Chiglintsev, A. V. Zyryanov, A. Yu. Chiglintsev, M. A. Druzhkov, A. A. Makaryan</i>	
COMPUTED TOMOGRAPHY AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING OF DIFFUSE AXONAL INJURY IN BRAIN TRAUMA IN YOUNG CHILDREN: RETROSPECTIVE STUDY	82
<i>E. S. Zaitseva, T. A. Akhadov, A. D. Mamatkulov, O. V. Bozhko, M. V. Ublinskiy, I. N. Noselova, I. V. Ponina, I. A. Melnikov, D. N. Khusainova</i>	

PRACTICAL CASES

MULTIMODALITY IMAGING IN APICAL HYPERTROPHIC CARDIOMYOPATHY: A CLINICAL CASE	93
<i>F. N. Chanakhchian, N. I. Gulyaev, D. V. Slivinski, I. V. Klochkova, E. V. Shutova, A. Yu. Demchenkova</i>	
ULTRASOUND DIAGNOSIS OF DOUBLE AORTIC ARCH WITH ATRESIAE: A CLINICAL CASE	99
<i>O. G. Malozemova, R. M. Gasanova, E. V. Kholmanskaya, K. R. Turko, A. A. Esayan, E. A. Filippova</i>	
ULTRASOUND DIAGNOSIS OF CAUSALGIA CAUSES IN THE LATE STAGES AFTER INGUINAL HERNIOPLASTY: A CLINICAL CASE	105
<i>Ya. P. Zorin, A. R. Garifullina, M. G. Boitsova, N. A. Karlova</i>	

ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ / LECTURES AND REVIEWS

УДК 617.51-073.75

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-7-17>

УЛЬТРАСОНОГРАФИЯ ЧЕРЕПА И СКАЛЬПА У ДЕТЕЙ: ОБЗОР

¹И. А. Крюкова[✉], ^{1,2}А. С. Иова[✉], ^{1,2}Е. Ю. Крюков[✉], ¹Р. С. Кулиева[✉]¹Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия²Детский городской многопрофильный клинический специализированный центр высоких медицинских технологий, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Важная задача современной педиатрии — обеспечение лучевой безопасности диагностических исследований, особенно у детей младших возрастных групп. Одним из вариантов снижения лучевой нагрузки на этапах скрининг-диагностики и динамического наблюдения является более широкое применение ультразвукографии.

ЦЕЛЬ: Проанализировать данные отечественной и зарубежной литературы, посвященной возможностям ультразвукового исследования костей свода черепа, черепных швов и скальпа у детей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Поиск литературы осуществлялся в открытых информационных базах на русском и английском языке Medline, PubMed, Web of Science, РИНЦ, eLIBRARY по ключевым словам и словосочетаниям: «ультрасонография черепа», «ультрасонография скальпа», «ультрасонография черепных швов», «skull ultrasound», «scalp ultrasound», «cranial sutures ultrasound», «point of care ultrasound», «pediatric POCUS» без ограничения глубины ретроспекции.

РЕЗУЛЬТАТЫ: На основании данных литературы и собственного многолетнего опыта применения ультразвукографии черепа в клинической практике описаны показания и методика проведения исследования, а также ключевые ультразвуковые признаки наиболее частых видов патологии. Обозначены перспективы ультразвукографии скальпа и черепа в рамках POCUS, FAST, в том числе с применением портативных соноскопов, основанных на смартфонах и планшетах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Ультрасонография черепа и скальпа — быстрый, простой, доступный, безвредный метод скрининга и мониторинга наиболее частых видов патологии костей свода черепа, черепных швов и мягких тканей волосистой части головы у детей (например, переломов, синостозов, новообразований).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ультрасонография черепа, ультрасонография скальпа, ультрасонография черепных швов, POCUS в педиатрии

*Для корреспонденции: Крюкова Ирина Александровна, e-mail: i_krukova@mail.ru

Для цитирования: Крюкова И.А., Иова А.С., Крюков Е.Ю., Кулиева Р.С. Ультрасонография черепа и скальпа у детей: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 7–17, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-7-17>.

SKULL AND SCALP ULTRASOUND IN CHILDREN: A REVIEW

¹Irina A. Kriukova[✉], ^{1,2}Alexander S. Iova[✉], ^{1,2}Evgeniy Yu. Kryukov[✉], ¹Rena S. Kulieva[✉]¹North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia²Children's City Multidisciplinary Clinical Specialized Center of High Medical Technologies, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: An important task of modern pediatrics is to ensure radiation safety of diagnostic examinations, especially in young children. One of the options for reducing radiation exposure at the stages of screening diagnostics and dynamic monitoring is a wider use of ultrasound.

OBJECTIVE: To analyze the data of domestic and foreign literature on the possibilities of ultrasound examination of the cranial vault bones, cranial sutures and scalp in children.

MATERIALS AND METHODS: The literature search was performed in open Russian and English databases Medline, PubMed, Web of Science, RSCI, eLIBRARY using keywords and phrases: «skull ultrasound», «scalp ultrasound», «cranial sutures ultrasound», «point of care ultrasound», «pediatric POCUS» without limitation of retrospective depth.

RESULTS: Based on the literature data and our own long-term experience in the use of cranial ultrasonography in clinical practice, the indications and examination technique, as well as the key ultrasound signs of the most frequent types of pathology are described. Prospects of scalp and skull ultrasonography within PoCUS, FAST, including the use of portable sonoscopes based on smartphones and tablets are outlined.

CONCLUSION: Ultrasound of the skull and scalp is a quick, simple, affordable, harmless method of screening and monitoring the most frequent types of pathologies of the cranial vault bones, cranial sutures, and soft tissues of the scalp in children (for example, fractures, synostoses, neoplasms).

KEYWORDS: «skull ultrasound», «scalp ultrasound», «cranial sutures ultrasound», «point of care ultrasound», «pediatric POCUS»

*For correspondence: Irina A. Kriukova, e-mail: i_krukova@mail.ru

For citation: Kriukova I.A., Iova A.S., Kryukov E.Yu., Kulieva R.S. Skull and scalp ultrasound in children: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 7–17, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-7-17>.

Введение. Экспертным методом диагностики патологии костей и швов черепа является компьютерная томография (КТ). Однако в последние годы публикуется все больше работ о роли ионизирующего излучения в повышении риска развития онкологических заболеваний, особенно у детей раннего возраста [1–4]. Кроме этого, М. К. Yuan и соавт. (2013) сообщают о повышенном риске появления катаракты из-за повторных КТ головы и шеи [3]. В работе М. S. Pearce и соавт. (2012) подчеркивается, что клиническая польза применения КТ несомненно должна превышать небольшой абсолютный риск, дозы облучения следует поддерживать на минимальном уровне, и при возможности желательно применять альтернативные методы, не связанные с ионизирующим излучением [2]. Перспективными альтернативами для визуализации костей и швов черепа являются ультразвуковая томография (УС) и магнитно-резонансная томография (МРТ) [4].

УС черепа — это ультразвуковое исследование, предназначенное для визуализации костей и швов свода черепа. УС скальпа проводится с целью визуализации мягких тканей волосистой части головы, объединенных понятием «скальп». Данная аббревиатура характеризует анатомические слои мягких тканей этой области (S — skin, кожа; C — connective tissue, плотная соединительная ткань; A — aroneurotic layer, апоневроз; L — loose connective tissue, рыхлая соединительная ткань; P — regicranium, надкостница).

В России первые работы, посвященные данной проблеме, принадлежат А. С. Иова, им были предложены термины «УС черепа» и «УС краниография», описаны ультразвуковые признаки краниосиностоза, переломов черепа (1996, 1997) [5]. Первые зарубежные исследования о возможностях УС в диагностике переломов костей черепа принадлежат S. Steiner (1996), а в диагностике синостозов — D. Soboleski (1997, 1998) [6–8].

Цель. Проанализировать данные отечественной и зарубежной литературы, посвященной возможностям ультразвукового исследования костей свода черепа, черепных швов и скальпа у детей.

Материалы и методы. Поиск литературы осуществляли на русском и английском языках в откры-

тых информационных базах Medline, PubMed, Web of Science, РИНЦ, eLIBRARY по ключевым словам и словосочетаниям: «ультрасонография черепа», «ультрасонография скальпа», «ультрасонография черепных швов», «skull ultrasound», «scalp ultrasound», «cranial sutures ultrasound», «point of care ultrasound», «PoCUS» без ограничения глубины ретроспекции. Выборка источников в основном ограничивалась 1990–2022 гг. По критериям запроса в окончательный анализ было включено 55 публикаций. Наш опыт применения УС черепа, черепных швов и скальпа накоплен с 1995 г., проведено более 20 000 исследований у детей от первых дней жизни до 18 лет при линейных и вдавленных переломах костей свода черепа на фоне кефалогематом/изолированных, вогнутых переломах, синостозах черепных швов, разрывах швов, врожденных костных дефектах, черепно-мозговых грыжах, послеоперационных костных дефектах, новообразованиях костей и скальпа (липома, дермоид/эпидермоид, эозинофильная гранулема и др.), растущих переломах. До 2000 г. мы применяли стационарные УС-аппараты, в 2001–2022 гг. — стационарные и портативные на базе персональных компьютеров, а с 2021 г. начато тестирование цифровых УС-аппаратов на базе планшета и смартфона.

Результаты. На основании данных литературы и собственного многолетнего опыта применения УС черепа и скальпа в клинической практике описаны показания и методика проведения исследования, а также ключевые ультразвуковые признаки наиболее частых видов патологии костей свода черепа, черепных швов и мягких тканей волосистой части головы у детей [5–55].

УС черепа и скальпа включает в себя: УС костей свода черепа, УС черепных швов, УС родничков и УС мягких тканей волосистой части головы (скальпа). Показания к УС черепа и скальпа: а) исключение переломов костей свода черепа; б) подозрение на патологию черепных швов (синостоз и др.) (например, при деформации черепа, утолщенном шве); в) патологические образования в области волосистой части головы и лба с оценкой

их взаимоотношений с костью; г) мониторинг выявленных ранее изменений: новообразований, глубины вдавленных переломов, ширины линейных переломов, размеров костных дефектов (например, послеоперационных).

Исследование скальпа и костей свода черепа проводится линейным мультимодальным датчиком 5–10 МГц в продольной и поперечной плоскостях с использованием В-режима, энергетического и цветового доплеровского картирования (ЦДК). Зона сканирования определяется локализацией внешних изменений (припухлость, крепитация, кефалогематома, очаговая болезненность, ссадины и др.). При наличии отека, гематом скальпа, мягкотканного образования датчик устанавливается непосредственно на патологическую область. При их отсутствии сканирование можно осуществлять через водный болюс (резинный баллон, заполненный водой), который располагается между датчиком и исследуемым участком головы. При ранах в зоне сканирования датчик необходимо помещать в стерильный чехол (например, в стерильную хирургическую перчатку), предварительно смазав его рабочую поверхность стерильным ультразвуковым гелем. После исследования необходимо промыть рану, обработать ее раствором антисептика и наложить стерильную повязку.

На рис. 1 представлена УС-картина скальпа и костей свода черепа в норме. Ближайшая к датчику гиперэхогенная линия — это изображение кожи, следующая за ней линия — изображение кости (ее наружной костной пластинки), между ними — гипоэхогенные мягкие ткани (подкожно-жировая клетчатка, апоневроз). Оценивается непрерывность костного рисунка. Исследование черепных швов также выполняется линейным датчиком 5–10 МГц, плоскость сканирования ориентируется перпендикулярно шву.

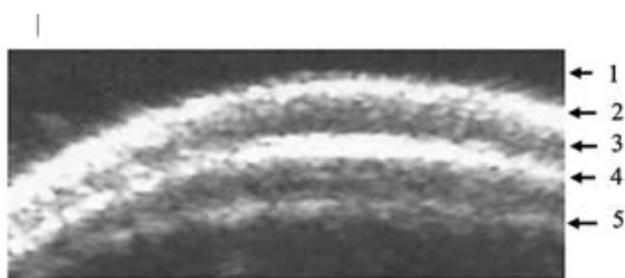


Рис. 1. Ультрасонографическое изображение скальпа и черепа в норме (сканирование через водный болюс).

1 — водный болюс; 2 — кожа; 3 — подкожная клетчатка; 4 — кость; 5 — артефакт

Fig. 1. Normal scalp and skull ultrasound (US) (scanned through the water bolus). 1 — water bolus; 3 — subcutaneous tissue; 4 — bone; 5 — artifact

На рис. 2 представлено УС-изображение черепного шва в норме. Открытый шов черепа по УС представлен гипоэхогенной «щелью» между гиперэхогенными гладкими краями кости с гиперэхоген-

ной «меткой» непосредственно под областью шва. По данным D. Soboleski и соавт. (1997), сагиттальный шов чаще имеет сквозной вид, а лямбдовидные и коронарные швы — скошенный или перекрывающийся [7].

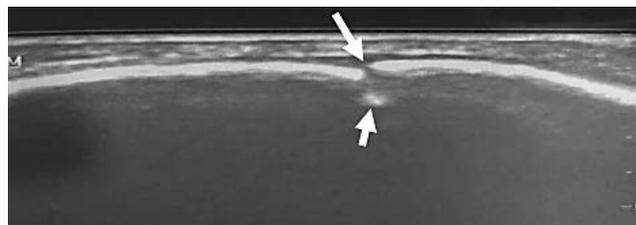


Рис. 2. Ультрасонографическое изображение лямбдовидного шва в норме. Шов обозначен длинной стрелкой, гиперэхогенная «метка» — короткой

Fig. 2. US image of the lambdoid suture in normal. The suture is indicated by the long arrow, the hyperechogenic «mark» by the short arrow

Возможности УС при переломах костей свода черепа. Высокая диагностическая точность УС в диагностике переломов костей свода черепа у детей подтверждена многими исследованиями [9–21]. В 2022 г. G. Alexandridis и соавт. представили систематический обзор с метаанализом, посвященный возможностям УС (в рамках PoCUS) по сравнению с КТ в диагностике переломов костей черепа у детей до 18 лет при черепно-мозговой травме [21]. Было отобрано 7 исследований, где УС выполняли врачи скорой помощи. Чувствительность варьировала от 67% до 100%, а специфичность — от 85% до 100%. Общие объединенные данные (n=925) продемонстрировали чувствительность 91%, специфичность 96%, положительную прогностическую ценность 88% и отрицательную прогностическую ценность 97%.

Сканирование осуществляется в области внешне измененных мягких тканей головы (припухлость, крепитация, кефалогематома, очаговая болезненность, ссадины и др.) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. УС-признаками линейного перелома являются нарушение непрерывности гиперэхогенного рисунка кости («гипоэхогенная дорожка» в области перелома) и «гиперэхогенная метка», расположенная непосредственно под областью перелома [5] (рис. 3). Следует помнить о том, что при УС линейный перелом и нормальный шов черепа могут выглядеть идентично, и при подозрении на перелом надо быть уверенным, что датчик не располагается над швом.

Клинический пример. Девочка Т., 5 месяцев. Выпала из коляски, ударила головой об асфальт, сверху на голову упала коляска. Сознание не теряла, рвоты не было, появилась припухлость в теменной области справа. Через 1 час после травмы осмотрены нейрохирургом в приемном отделении детской больницы. Выполнена УС головного мозга и костей черепа, выявлены признаки перелома

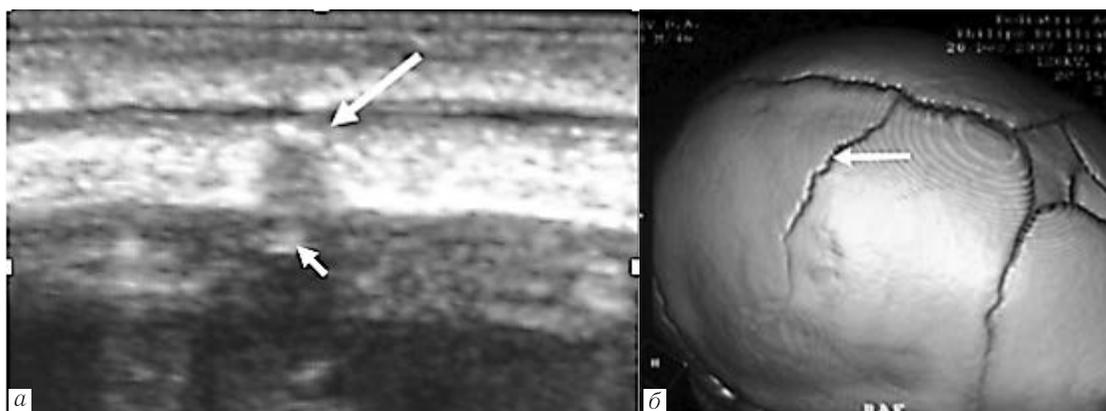


Рис. 3. Линейный перелом теменной кости: *a* — ультразвуграфическое изображение черепа (длинной стрелкой обозначена «гипоэхогенная дорожка» в области перелома, а короткой — «гиперэхогенная метка» под областью перелома); *б* — спиральная КТ (перелом обозначен стрелкой)

Fig. 3. Linear fracture of the parietal bone: *a* — skull US (the long arrow indicates a «hypoechogenic track» in the fracture area, and the short arrow indicates a «hyperechogenic mark» under the fracture area); *б* — spiral CT (fracture is indicated by an arrow)

теменной кости справа. Однако при рентгенографии черепа перелом не подтвердился. С учетом отсутствия краниографических признаков перелома черепа и неврологической симптоматики ребенок отпущен домой. На следующий день появилась припухлость в теменной области с другой стороны (слева). Обратились к неврологу амбулаторно, повторно проведена УС костей черепа — выявлены УС-признаки линейного перелома обеих теменных костей. Ребенок повторно направлен в стационар для проведения КТ. На КТ — линейный перелом обеих теменных костей подтвержден (рис. 4). Этот клинический пример наглядно демонстрирует большую диагностическую точность УС черепа в диагностике переломов костей свода черепа по сравнению с рентгенографией.

Вдавленные переломы костей свода черепа выявляются как при линейном сканировании в области предполагаемого вдавления, так и с противоположной стороны при трансстемпоральном секторном сканировании. УС черепа помогает уточнить вид перелома (импрессионный, депрессионный), измерить глубину и площадь вдавления, а также оценить динамику этих показателей, например, при вогнутых переломах по типу «пинг-понгового шарика» у новорожденных. УС-признаки вдавленного перелома: вдавление кости в полость черепа.

Важную роль УС-краниография играет в маршрутизации новорожденных с кефалогематомами (КГ) на этапе родильного дома (рис. 5). По данным литературы частота КГ колеблется в пределах 0,4–2,5%, в 3–20% случаев КГ сочетаются с линейными переломами костей свода черепа и в 2–5% — с эпидуральными гематомами [22]. Нами в условиях родильного дома с помощью УС обследовано 444 новорожденных с теменными КГ, у 17 (3,8%) из них были выявлены УС-признаки линейного перелома теменной кости, у 16 перелом был подтвержден КТ [23]. В 69% случаев (11 новорожденных) переломы сочетались с УС- и/или

КТ-признаками лакунарной краниопатии (ЛК) — наличием единичных или множественных округлых участков нарушения окостенения (истончения/дефектов) костей свода черепа (чаще теменных). Эта патология в зарубежной литературе обозначается терминами «craniolacunaria», «luckenschadel skull» или «lacunar skull». Точная причина лакунарной краниопатии неизвестна. Множественные дефекты описаны у детей со спинальным дизрафизмом, менингомиелоцеле [24, 25]. S. Kavurt и соавт. (2022) приводят клинический пример выраженной краниолакунии у новорожденного от матери с тяжелым дефицитом витамина D [26]. К 6 месяцам жизни лакуны исчезают. Клинические признаки ЛК: мягкость и истончение теменных костей, симптом «фетровой шляпы», реже пальпируемые округлые дефекты кости. УС-признаки ЛК: при линейном сканировании костей свода черепа — локальные участки истончения кости без прерывания ее гиперэхогенного рисунка (рис. 5, *в*); при чрезродничковом фронтальном сканировании — волнистый вид костей свода черепа («симптом лимона») [24].

ЛК является предрасполагающим фактором для возникновения линейных переломов даже при физиологических родах.

Возможности УС при синостозах черепных швов. Краниосиностоз (КС) — это заболевание, проявляющееся преждевременным закрытием швов черепа. В патологический процесс могут вовлекаться часть шва, один или несколько швов, что приводит к прогрессирующей деформации черепа. Ранняя диагностика синостозов имеет большое значение для выбора хирургической тактики. При выявлении патологии до 6 месяцев жизни ребенка возможно проведение минимально инвазивной операции, которая заключается в иссечении патологического шва. В возрасте 6–12 месяцев эффективность такой операции сомнительна, а после 12 месяцев она нецелесообразна. У детей старше 1 года выполняются более травматичные операции с применением

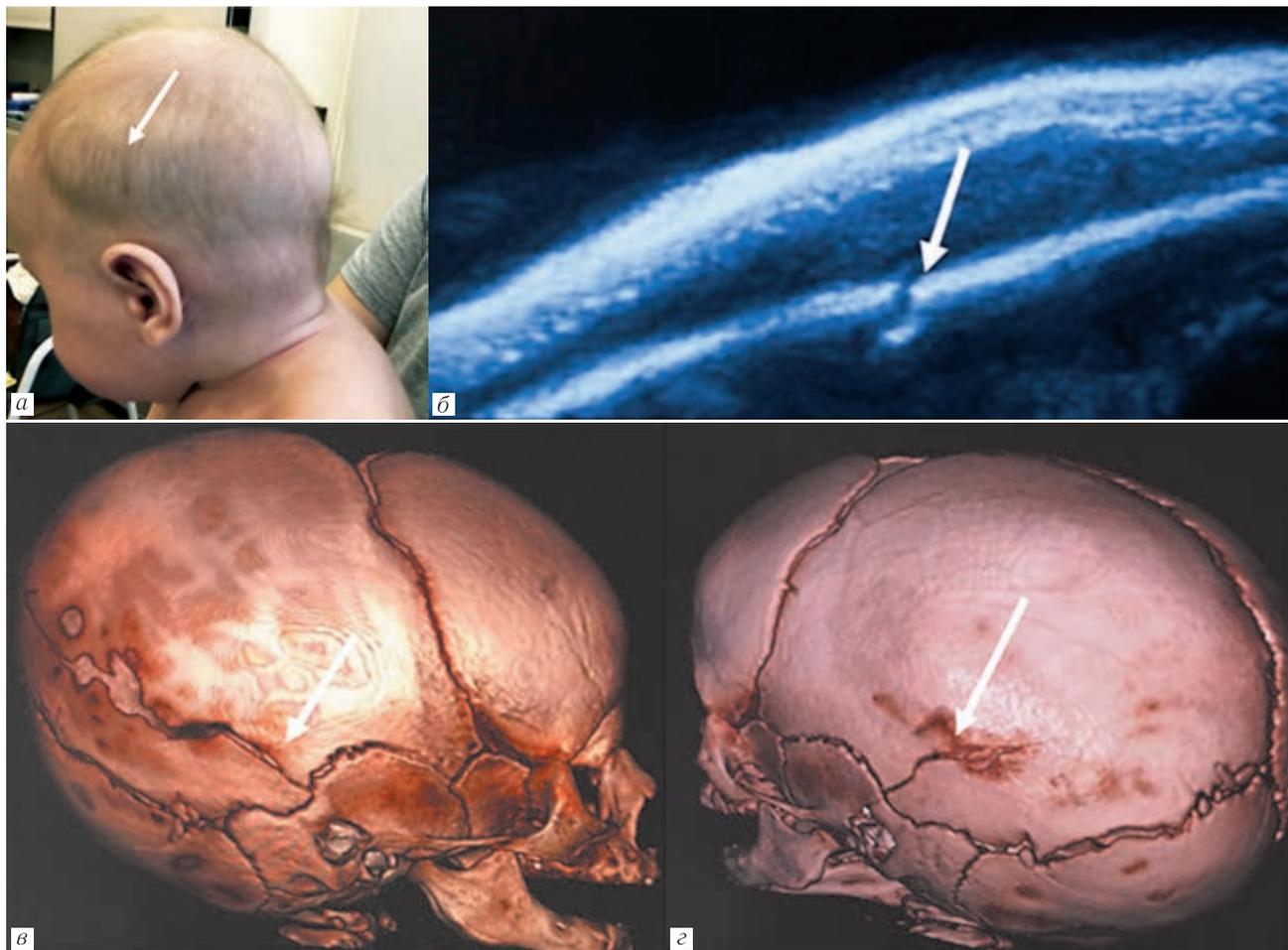


Рис. 4. Особенности визуализации костей черепа девочки Т., 5 мес: *a* — внешний вид головы девочки, припухлость в теменно-височной области слева (обозначена стрелкой), аналогичная припухлость имеется и справа; *б* — ультразвукографическое изображение теменной кости слева, линейный перелом теменной кости (указан стрелкой), аналогичное изображение и справа; *в, з* — мультиспиральная КТ, линейный перелом теменных костей (указан стрелкой)

Fig. 4. Peculiarities of the skull bones imaging of girl T., 5 months old: *a* — external view of the girl’s head, swelling in the parietal and temporal region on the left (indicated by arrow), similar swelling on the right; *б* — US of the left parietal bone, linear fracture of the parietal bone (indicated by arrow), similar image on the right; *в, з* — multispiral CT scan, linear fracture of the parietal bones (indicated by arrow)

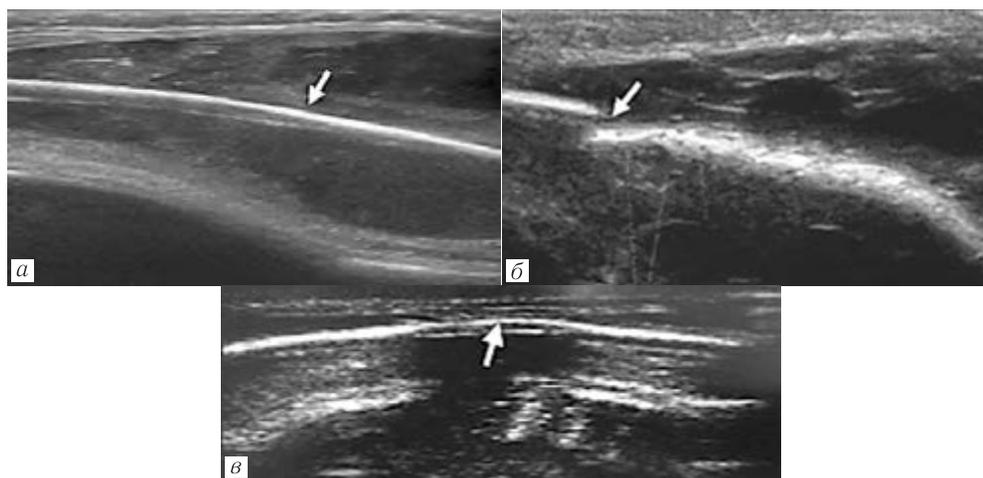


Рис. 5. Ультрасонографическое изображение теменной кости: *a* — при кефалогематоме без перелома, непрерывность кости не нарушена (кость указана стрелкой); *б* — при кефалогематоме с линейным переломом (перелом указан стрелкой); *в* — при лакунарной краниопатии (истончение кости указано стрелкой).

Fig. 5. US of the parietal bone: *a* — with a cephalohematoma without a fracture, bone continuity is not compromised (bone indicated by an arrow); *б* — with a cephalohematoma with a linear fracture (fracture indicated by an arrow); *в* — with lacunar craniopathy (bone thinning indicated by an arrow)

титановых или биодеградируемых имплантов. «Золотым стандартом» экспертной диагностики КС является мультиспиральная КТ. УС швов обеспечивает нелучевой скрининг и мониторинг синостозов

Основными УС-признаками синостоза шва являются отсутствие «гипоэхогенной щели» между костями свода черепа и симптом костного «гребня» в области патологического шва (рис. 6) [8, 27–41].

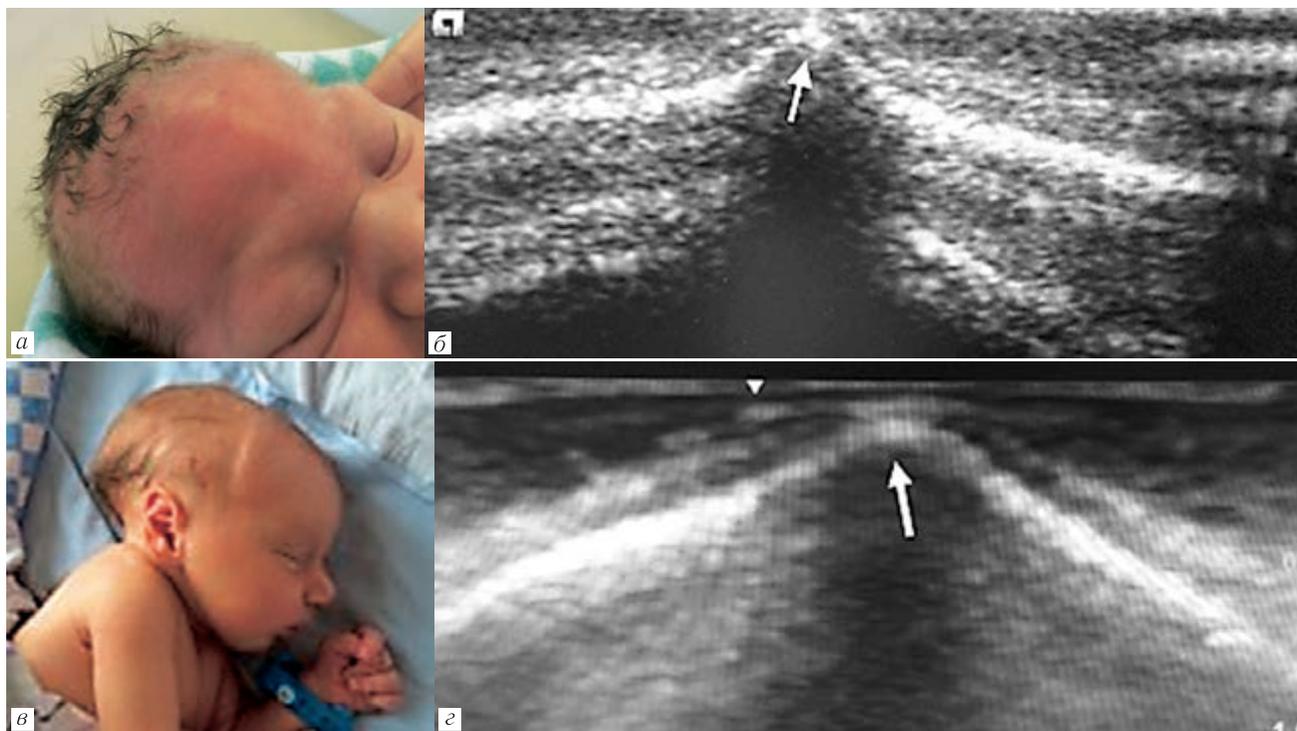


Рис. 6. Возможности ультразвукографии в диагностике синостозов черепных швов. Внешний вид головы новорожденного ребенка с синостозом метопического (*а*) и лямбдовидного шва (*в*). Ультразвукографическое изображение синостоза метопического (*б*) и лямбдовидного шва (*г*) у этих же детей. Костный гребень указан стрелкой

Fig. 6. Possibilities of US in the diagnosis of cranial suture synostosis. The appearance of the head of a newborn with metopic (*a*) and lambdoid suture synostosis (*в*). US-signs of metopic (*б*) and lambdoidal suture synostosis (*г*) in the same children. The bone ridge is indicated with an arrow

свода черепа, а также дифференциальную диагностику с позиционной плагиоцефалией, родовой конфигурацией черепа. Высокие уровни чувствительности и специфичности УС в диагностике синостозов у детей первого года жизни демонстрируются многими исследованиями [8, 27–41]. Так, L. M. Pogliani и соавт. (2017) показывают 100% чувствительность и 99,7% специфичность УС, при этом возраст до 6 месяцев жизни назван «золотым возрастом» наибольшей эффективности УС в диагностике краниосиностоза [32]. В работах M. Proisy и соавт. (2017) и T. Okamoto и соавт. (2019) чувствительность составляет 100%, а специфичность — 100% и 95,1% соответственно [33, 35]. В систематический обзор литературы I. Whittall и соавт. (2021) было включено 12 исследований с участием 1062 пациентов, у 300 из них (28,2%) был диагностирован краниосиностоз, при этом специфичность УС колебалась от 86 до 100%, а чувствительность — от 71 до 100% [41]. Многие авторы отмечают, что УС следует рассматривать как метод визуализации первой линии при деформациях черепа, тем самым ограничивая необходимость КТ только в хирургических случаях [27–41].

При тяжелых формах КС возможно выявление других УС-симптомов: снижение эхогенности костей свода черепа, сужение желудочков головного мозга, изменение (сужение) рисунка базальных цистерн, изменение ширины конвекситальных субарахноидальных ликворных пространств с перераспределением ликвора в зависимости от локализации синостоза [5].

Возможности УС при новообразованиях скальпа и костей свода черепа. Спектр патологических образований скальпа и костей свода черепа достаточно широк [42, 43]. По данным S. E. Gibson и R. A. Prayson (2007) в педиатрической популяции практически половину из них составляют дермоиды/эпидермоиды и эозинофильные гранулемы, реже встречаются другие виды патологии (например, липома, гемангиома, остеома, аневризматическая киста, злокачественные и метастатические поражения) [42].

Эпидермоид и дермоид — это доброкачественные дизэмбриогенетические опухоли, выстланы плоским эпителием. Дермоид дополнительно содержит волосные фолликулы, сальные и потовые железы. При УС они в большинстве случаев неразличимы. Могут

располагаться в области костей свода черепа, швов, переднего родничка. Пальпаторно дермоид/эпидермоид мягких тканей безболезненный, подвижный и эластичный, а локализующийся под надкостницей или внутрикостно — твердый и неподвижный. Затылочные дермоиды часто трактуются клиницистами как лимфоузлы. Дермоиды/эпидермоиды могут спонтанно регрессировать или медленно увеличиваться по мере сращивания эпителиальных клеток и выработки кератина и холестерина. УС имеет большое значение в их мониторинге [45]. Если дермоид/эпидермоид не продавливает кость в полость черепа и нет признаков деструкции кости — возможно динамическое наблюдение, а выраженное продавливание или деструкция внутренней костной пластинки является показанием к оперативному лечению. Внутрикостные образования располагаются в диплоэ и могут вызывать значительные эрозивные повреждения костных пластинок, имитируя эозинофильную гранулему [46].

С помощью УС оценивают их локализацию, размеры, признаки кровотока по ЦДК, состояние наружной и внутренней костных пластинок (целостность, продавливание в полость черепа, деструкция) [45–48]. УС-признаки дермоида/эпидермоида свода черепа представлены в табл. 1 и на рис. 7.

Дермоидная подапоневротическая киста переднего родничка впервые была описана A. Adeloeye

Происходящие из костного мозга гистиоциты (клетки Лангерганса) мигрируют и пролиферируют в разных органах и тканях. Выделяют следующие варианты ГКЛ: а) односистемный (поражение 1 органа или 1 системы тканей, чаще костной) в виде одиночного (эозинофильная гранулема) или многоочагового повреждения; б) мультисистемный вариант (поражение ≥ 2 органа или систем) (внутренние органы, гипофиз, многие кости). Эозинофильная гранулема часто локализуется в области свода черепа и клинически дебютирует болезненной припухлостью на голове. Интраскопически представляет собой мягкотканное объемное образование в участке литического поражения кости свода черепа, края костного дефекта ровные или скошенные. УС-признаки эозинофильной гранулемы: дефект кости (чаще теменной); костный дефект заполнен гипоехогенной массой, распространяющейся в пределах мягких тканей и интракраниально; по ЦДК чаще имеются признаки кровотока; из-за отсутствия кости визуализируются внутричерепные структуры под очагом поражения [43, 45, 53, 54]. W. Kosiak и соавт. (2013) подчеркивают, что хотя УС при эозинофильной гранулеме не может заменить КТ, но может сократить количество последующих КТ [53].

Липома волосистой части головы чаще локализуется в области большого родничка, пальпируется как припухлость тестоватой консистенции и не пуль-

Ультрасонографические признаки дермоида/эпидермоида свода черепа

Таблица 1

Table 1

US signs of the skull dermoid/epidermoid

Критерий	Варианты
Форма образования	Хорошо очерченное тонкостенное округлое/овальное
Эхогенность образования	— Эпидермоид: однородное, гипоехогенное — Дермоид: \pm гиперэхогенные включения (дизэмбриогенетические ткани, волосы, кальцификаты, жир, слизь и/или гной и др.)
Локализация образования	— Под апоневрозом — Под надкостницей — Внутрикостно (в диплоэ, раздвигая внутреннюю и наружную костные пластинки)
Признаки кровотока по ЦДК	Отсутствуют
Состояние кости	— Эхогенность кости не изменена — Деформация костных пластинок (продавливание кости/ внутренней костной пластинки в полость черепа) — Деструкция наружной/внутренней костной пластинки

и E. L. Odeku в 1971 г. у нигерийцев, получила название «болезнь Adeloeye–Odeku» и первоначально считалась африканской кистой [49]. Образование располагается по средней линии в области переднего родничка, мягкое, безболезненное, на широком основании, не пульсирующее, покрытое нормальной кожей. В табл. 2 представлены УС-признаки дермоида переднего родничка [50–52].

Гистиоцитоз из клеток Лангерганса (ГКЛ) — редкое генетически детерминированное системное опухольное заболевание (мутации в гене *BRAF*).

сирует. В табл. 3 и на рис. 8 представлены УС-признаки липомы скальпа [44, 55].

В области волосистой части головы могут наблюдаться и инфантильные гемангиомы. УС-признаки гемангиомы скальпа: а) четко очерченное подкожное образование неоднородной эхогенности с чередованием зон повышенной и пониженной эхоплотности; б) наружная костная пластинка не изменена; в) признаки гипертрофии при ЦДК [47].

Заключение. Ультрасонография черепа и скальпа обеспечивает: а) скрининг-диагностику и нелучевой

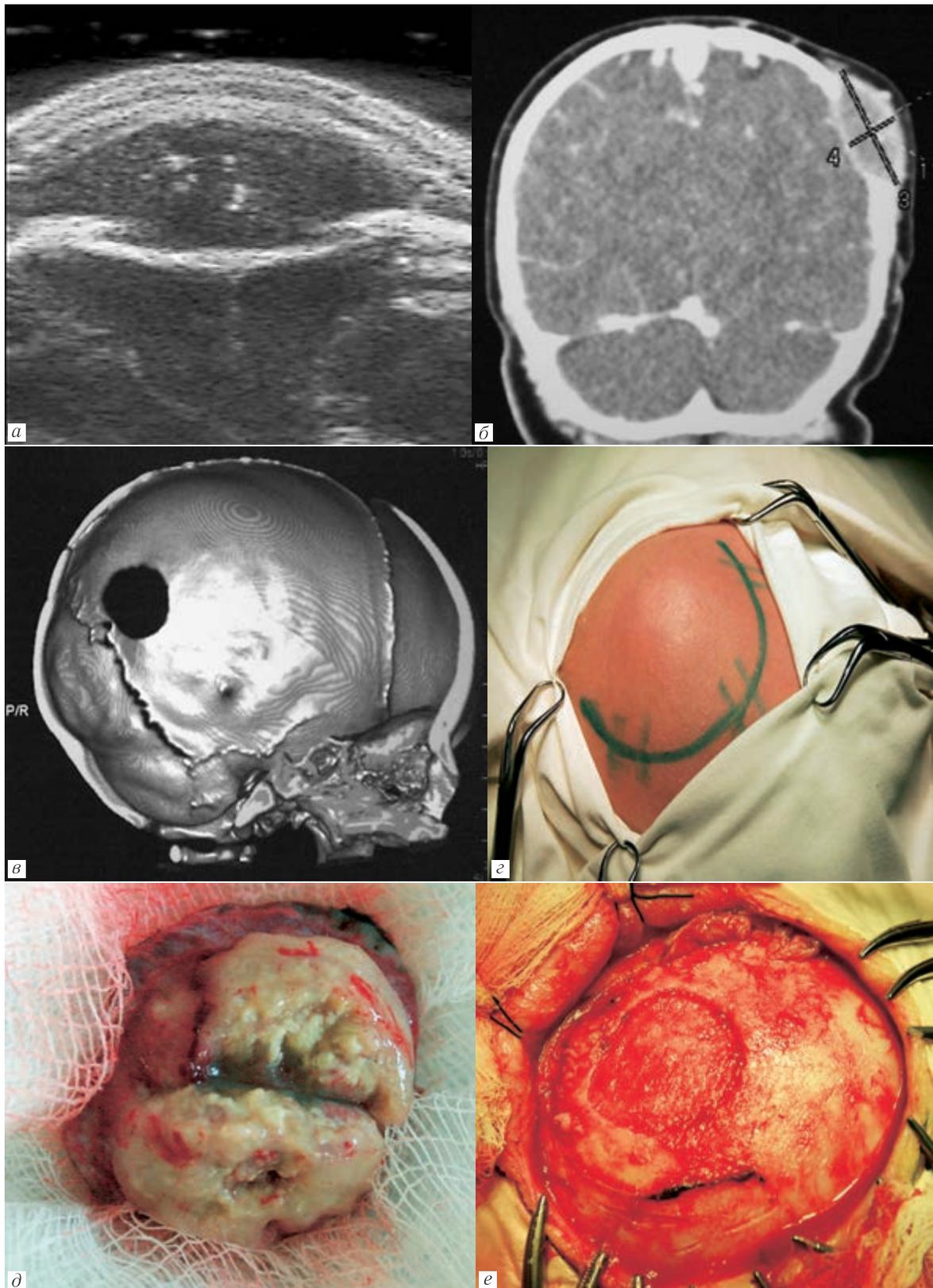


Рис. 7. Дермоид теменной кости: *a* — ультразвуграфическое изображение (анизоехогенная зона в области скальпа, отсутствие изображения кости в области образования, деформация ультразвуграфического изображения твердой мозговой оболочки в области дефекта кости); *б* — КТ (фронтальная реконструкция), подтверждающая данные ультразвуграфии; *в* — КТ — зона деструкции кости; *г-е* — этапы операции (перед разрезом кожи; на этапе удаления и после удаления дермоида, виден костный дефект)

Fig. 7. Dermoid of the parietal bone: *a* — US (anisoechogenic zone in the scalp area, no bone image in the area of the mass, US deformation of the dura mater in the area of bone defect); *б* — CT (frontal reconstruction) confirming the US data; *в* — CT — bone destruction area; *г-е* — stages of surgery (before skin incision; during removal and after dermoid removal, bone defect is seen)

Таблица 2

Ультрасонографические признаки дермоида переднего родничка

Table 2

US signs of the anterior fontanelle dermoid

Критерий	Варианты
Форма образования	Четко очерченное тонкостенное овальное
Эхогенность образования	— Однородное, анэхогенное — ± Гиперэхогенные тяжи и точки (дизэмбриогенетические ткани, волосы, кальцификаты, жир и др.) («дермоидная сетка»)
Локализация образования	Между апоневрозом и твердой мозговой оболочкой, над верхним сагиттальным синусом
Признаки кровотока по ЦДК	Отсутствуют

Таблица 3

Ультрасонографические признаки липомы скальпа

Table 3

US signs of the scalp lipoma

Критерий	Варианты
Форма образования	Хорошо очерченное тонкостенное линзовидное или полусферическое
Эхогенность образования	Гиперэхогенное/гипоэхогенное с тонкими непрерывными гиперэхогенными линиями (фиброзные перегородки) параллельно длиннику образования
Локализация образования	— Между апоневрозом и надкостницей — В области родничка между апоневрозом и твердой мозговой оболочкой
Признаки кровотока по ЦДК	Отсутствуют



Рис. 8. Ультрасонографическая картина липомы в области переднего родничка (фронтальное сканирование, липома обозначена стрелкой)

Fig. 8. US picture of a lipoma in the area of the anterior fontanelle (frontal scan, the lipoma is indicated with an arrow)

мониторинг наиболее частых видов патологии костей свода черепа, черепных швов и мягких тканей волосистой части головы (например, переломов, синустозов, новообразований); б) возможность значительно снизить количество лучевых методов исследования у новорожденных и детей раннего возраста (например, при кефалогематомах, краниосинустозах); в) визуализацию костей свода черепа и швов в рамках PoCUS и FAST. Необходимо продолжать изучение возможностей в проведении УС черепа карманных соноскопов, основанных на смартфонах и планшетах. Их использование позволит значительно повысить доступность и практическое значение УС черепа и скальпа.

Сведения об авторах:

Крюкова Ирина Александровна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры детской травматологии и ортопедии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: i_krukova@mail.ru; ORCID 0000-0002-0746-5826;

Иова Александр Сергеевич — доктор медицинских наук, профессор кафедры детской невропатологии и нейрохирургии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Детский городской многопрофильный клинический специализированный центр высоких медицинских технологий»; 198205, Санкт-Петербург, ул. Авангардная, д. 14; e-mail: a_iova@mail.ru; ORCID 0000-0002-5904-1814;

Крюков Евгений Юрьевич — доктор медицинских наук, заведующий кафедрой детской невропатологии и нейрохирургии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Детский городской многопрофильный клинический специализированный центр высоких медицинских технологий»; 198205, Санкт-Петербург, Авангардная ул., д. 14; e-mail: e.krukov@mail.ru; ORCID 0000-0002-3411-5274;

Кулиева Рена Сакит кызы — ординатор 2 года обучения кафедры детской невропатологии и нейрохирургии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: dr.kulievares@gmail.com; ORCID 0000-0003-0240-7442.

Information about the authors:

Irina A. Kriukova — Cand. of Sci. (Med.), neurologist, ultrasound doctor, associate professor of the chair of pediatric traumatology and orthopedics, North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov; 191015, Kirochnaya street, 41, Saint Petersburg, Russia; e-mail: i_krukova@mail.ru; ORCID 0000-0002-0746-5826;

Alexander S. Iova — Dr. of Sci. (Med.), neurosurgeon, ultrasound doctor, professor of the chair of pediatric neurology and neurosurgery, North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov; 191015, Kirochnaya street, 41, Saint Petersburg, Russia; St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «Children's City Multidisciplinary Clinical Specialized Center of High Medical Technologies»; 198205, Avangardnaya street, 14; Saint Petersburg, Russia; e-mail: a_iova@mail.ru; ORCID 0000-0002-5904-1814;

Evgeniy Yu. Kryukov — Dr. of Sci. (Med.), neurosurgeon, ultrasound doctor, head of the chair of pediatric neurology and neurosurgery, North-Western State Medical University n.a. I. I. Mechnikov; 191015, Kirochnaya street, 41, Saint Petersburg, Russia; St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «Children's City Multidisciplinary Clinical Specialized Center of High Medical Technologies»; 198205, Avangardnaya street, 14; Saint Petersburg, Russia; e-mail: e.kryukov@mail.ru; ORCID 0000-0002-3411-5274; *Rena S. Kulieva* — neurosurgeon resident of the chair of pediatric neuropathology and neurosurgery of North-Western State Medical University n.a. I. I. Mechnikov; 191015, 41 Kirochnaya street, Saint Petersburg, Russia; e-mail: dr.kulievars@gmail.com; ORCID 0000-0003-0240-7442.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *И. А. Крюкова, А. С. Иова, Е. Ю. Крюков*; сбор и математический анализ данных — *И. А. Крюкова, Р. С. Кулиева*; подготовка рукописи — *И. А. Крюкова, А. С. Иова, Е. Ю. Крюков, Р. С. Кулиева*.

Authors' contributions.

All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution aided in the concept and plan of the study — *IAK, ASI, EYuK*; provided collection and mathematical analysis of data — *IAK, RSK*; preparation of the manuscript — *IAK, ASI, EYuK, RSK*.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Соответствие принципам этики: одобрения этического комитета не требовалось. Информирование согласие получено от законного представителя.

Adherence to ethical standards: the approval of the ethics committee was not required. Informing consent has been obtained from a legal representative.

Поступила/Received: 03.02.2023.

Принята к печати/Accepted: 25.05.2023.

Опубликована/Published: 30.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Hauptmann M., Byrnes G., Cardis E. et al. Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study // *Lancet Oncology*. 2023. Vol. 24, No. 1. P. 45–53. doi: 10.1016/S14702045(22)00655-6.
- Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P. et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study // *Lancet*. 2012. Vol. 380, No. 9840. P. 499–505. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
- Yuan M.K., Tsai D.C., Chang S.C. et al. The risk of cataract associated with repeated head and neck CT studies: a nationwide population-based study // *AJR Am. J. Roentgenol*. 2013. Vol. 201, No. 3. P. 626–630. doi: 10.2214/AJR.12.9652.
- Eley K.A., Delso G. Imaging of bone in the head and neck region, is there more than CT? // *Curr. Radiol. Rep*. 2022. Vol. 10. P. 69–82. doi: 10.1007/s40134-022-00396-8.
- Иова А.С., Гармашов Ю.А., Андрущенко Н.В. и др. Ультрасонография в нейрорепедиатрии (новые возможности и перспективы): Ультрасонографический атлас. СПб.: Петровский и Ко, 1997. 160 с. [Iova A.S., Garmashov Yu.A., Andrushchenko N.V. et al. *Ul'trasonografiya v nejropediatricii (novye vozmozhnosti i perspektivy): Ul'trasonograficheskij atlas*. St. Petersburg: Petrovskij i Ko, 1997. 160 p. (In Russ.)].
- Steiner S., Riebel T., Nazarenko O. et al. Skull injury in childhood: comparison of ultrasonography with the conventional x-ray and CT // *Rofo Fortschr Geb. Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr*. 1996. Vol. 165, No. 4. P. 353–358.
- Soboleski D., McCloskey D., Mussari B. et al. Sonography of normal cranial sutures // *AJR Am. J. Roentgenol*. 1997. Vol. 168, No. 3. P. 819–821. doi: 10.2214/ajr.168.3.9057541.
- Soboleski D., Mussari B., McCloskey D. et al. High-resolution sonography of the abnormal cranial suture // *Pediatr. Radiol*. 1998. Vol. 28, No. 2. P. 79–82. doi: 10.1007/s002470050297.
- Trenchs V., Curcoy A.I., Castillo M. et al. Minor head trauma and linear skull fracture in infants: cranial ultrasound or computed tomography? // *Eur. J. Emerg. Med*. 2009. Vol. 16, No. 3. P. 150–152. doi: 10.1097/MEJ.0b013e328321b7b5.
- Ramirez-Schrempf D., Vinci R.J., Liteplo A.S. Bedside ultrasound in the diagnosis of skull fractures in the pediatric emergency department // *Pediatr. Emerg. Care*. 2011. Vol. 27, No. 4. P. 312–314. doi: 10.1097/PEC.0b013e3182131579.
- Riera A., Chen L. Ultrasound evaluation of skull fractures in children: a feasibility study // *Pediatr. Emerg. Care*. 2012. Vol. 28, No. 5. P. 420–425. doi: 10.1097/PEC.0b013e318252da3b.
- Parri N., Crosby B.J., Glass C. et al. Ability of emergency ultrasonography to detect pediatric skull fractures: a prospective, observational study // *J. Emerg. Med*. 2013. Vol. 44, No. 1. P. 135–141. doi: 10.1016/j.jemermed.2012.02.038.
- Rabiner J.E., Friedman L.M., Khine H. et al. Accuracy of point-of-care ultrasound for diagnosis of skull fractures in children // *Pediatrics*. 2013. Vol. 131, No. 6. P. 1757–1764. doi: 10.1542/peds.2012-3921.
- Parri N., Crosby B.J., Mills L. et al. Point-of-Care Ultrasound for the Diagnosis of skull fractures in children younger than two years of age // *J. Pediatr*. 2018. Vol. 196. P. 230–236.e2. doi: 10.1016/j.jpeds.2017.12.057.
- Choi J.Y., Lim Y.S., Jang J.H. et al. Accuracy of bedside ultrasound for the diagnosis of skull fractures in children aged 0 to 4 years // *Pediatr. Emerg. Care*. 2018. Vol. 36, No. 5. P. 268–273. doi: 10.1097/PEC.0000000000001485.
- Gokcen E., Savrun A. Bedside ultrasonographic evaluation of skull fractures in pediatric head trauma patients admitted to emergency department // *Middle Black Sea Journal of Health Science*. 2019. Vol. 5, No. 3. P. 233–238. doi: 10.19127/mbsjohs.647426.
- Masaeli M., Chahardoli M., Azizi S. et al. Point of care ultrasound in detection of brain hemorrhage and skull fracture following pediatric head trauma; a diagnostic accuracy study // *Arch. Acad. Emerg. Med*. 2019. Vol. 7, No. 1. P. e53. doi: 10.22037/aaem.v7i1.4137.
- Dehbozorgi A., Mousavi-Roknabadi R.S., Hosseini-Marvast S.R. et al. Diagnosing skull fracture in children with closed head injury using point-of-care ultrasound vs. computed tomography scan // *Eur. J. Pediatr*. 2021. Vol. 180. P. 477–484. doi: 10.1007/s00431-020-03851-w.
- Gordon I., Sinert R., Chao J. The utility of ultrasound in detecting skull fractures after pediatric blunt head trauma // *Pediatric Emergency Care*. 2021. Vol. 37, No. 12. P. 1701–1707. doi: 10.1097/PEC.0000000000001958.
- Alexandridis G., Verschuuren E.W., Rosendaal A.V. et al. Evidence base for point-of-care ultrasound (POCUS) for diagnosis of skull fractures in children: a systematic review and meta-analysis // *Emerg. Med J*. 2022. Vol. 39. P. 30–36. doi: 10.1136/emered-2020-209887.
- Cicogna A., Minca G., Posocco F. et al. Non-ionizing Imaging for the Emergency Department Assessment of Pediatric Minor Head Trauma // *Front. Pediatr*. 2022. Vol. 10. P. 1–8. doi: 10.3389/fped.2022.881461.
- Volpe J.J. *Volpe's Neurology of the Newborn*. 6th ed. Philadelphia: Elsevier Science, 2018. 1240 p.
- Крюкова И.А., Крюков Е.Ю., Козырев Д.А. и др. К вопросу о снижении лучевой нагрузки при родовой травме головы // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2017. Т. 5, № 4. С. 24–30. [Kryukova I.A., Kryukov E.Y., Kozyrev D.A. et al. Reducing radiation exposure in newborns with birth head trauma // *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*, 2017. Vol. 5, No. 4, pp. 24–30 (In Russ.)]. doi: 10.17816/PTORS5424-30.
- Coley B. Ultrasound diagnosis of luckenschadel (lacunar skull) // *Pediatric Radiology*. 2000. Vol. 30. P. 82–84. doi: 10.1007/s002470050019.
- Edzie E.K.M., Dzeif-Tetty K., Gorleku P.N. et al. Craniolacunia in A neonate. A clinical and CT scan illustrative case report // *Clin. Case Rep*. 2021. Vol. 9, No. 7. P. e04501. doi: 10.1002/ccr3.4501
- Kavurt S., Demirel N., Tokgöz C.D. Isolated lacunar skull defect in a newborn // *Turk. J. Womens Health Neonatol*. 2022. Vol. 4, No. 3. P. 159–163. doi: 10.46969/EZH.1155776.
- Regelsberger J., Dellinger J., Helmke K. et al. Ultrasound in the diagnosis of craniosynostosis // *J. Craniofac Surg*. 2006. Vol. 17, No. 4. P. 623–625. doi: 10.1097/00001665-200607000-00002.

28. Krimmel M., Will B., Wolff M. et al. Value of high-resolution ultrasound in the differential diagnosis of scaphocephaly and occipital plagiocephaly // *Int. J. Oral. Maxillofac. Surg.* 2012. Vol. 41. P. 797–800. doi: 10.1016/j.ijom.2012.02.022.
29. Alizadeh H., Najmi N., Mehdizade M. et al. Diagnostic accuracy of ultrasonic examination in suspected craniosynostosis among infants // *Indian Pediatr.* 2013. Vol. 50. P. 148–150. doi: 10.1007/s13312-013-0029-9.
30. Rozovsky K., Udjus K., Wilson N. et al. Cranial ultrasound as a first-line imaging examination for craniosynostosis // *Pediatrics.* 2016. Vol. 137, No. 2. P. e20152230. doi: 10.1542/peds.2015-2230.
31. Hall K.M., Besachio D.A., Moore M.D. et al. Effectiveness of screening for craniosynostosis with ultrasound: a retrospective review // *Pediatr. Radiol.* 2017. Vol. 47. P. 606–612. doi: 10.1007/s00247-017-3793-1.
32. Pogliani L., Zuccotti G.V., Furlanetto M. et al. Cranial ultrasound is a reliable first step imaging in children with suspected craniosynostosis // *Child's Nerv. Syst.* 2017. Vol. 33. P. 1545–1552. doi: 10.1007/s00381-017-3449-3.
33. Proisy M., Riffaud L., Chouklati K. et al. Ultrasonography for the diagnosis of craniosynostosis // *Eur. J. Radiol.* 2017. Vol. 90. P. 250–255. doi: 10.1016/j.ejrad.2017.03.006.
34. Суфианов А.А., Садыкова О.Н., Якимов Ю.А. и др. Ультразвуковое исследование швов черепа как метод диагностики краниосинозозов у детей // *Педиатрия им. Г.Н. Сперанского.* 2019. Т. 98, № 5. С. 40–46. [Sufianov A.A., Sadykova O.N., Iakimov I.A. et al. Ultrasound examination of cranial sutures as a method for craniosynostosis diagnosis in children. *Pediatricia n.a. G. N. Speransky*, 2019, Vol. 98, No. 5, pp. 40–46 (In Russ.).]
35. Okamoto T., Nuri T., Harada A. et al. Cranial suture measurement by 2-point method in ultrasound screening of craniosynostosis // *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open.* 2019. Vol. 7, No. 5. P. e2225. doi: 10.1097/GOX.0000000000002225.
36. Proisy M., Bruneau B., Riffaud L. How ultrasonography can contribute to diagnosis of craniosynostosis // *Neurochirurgie.* 2019. Vol. 65, No. 5. P. 228–231. doi: 10.1016/j.neuchi.2019.09.019.
37. Джанджгава Н.Н., Сугак А.Б., Филиппова Е.А. и др. Возможности ультразвукового метода в диагностике краниосинозозов у детей первого года жизни // *Рос. вестн. перинатол. и педиатр.* 2021. Т. 66, № 5. С. 127–134. [Dzhandzhgava N.N., Sugak A.B., Filippova E.A., Satanin L.A. et al. Possibilities of the ultrasonography in the diagnosis of craniosynostosis in children of the first year of life. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*, 2021, Vol. 66, No. 5, pp. 127–134 (In Russ.).] doi: 10.21508/1027-4065-2021-66-5-127-134.
38. Иова А.С., Крюков Е.Ю., Гармашов Ю.А. и др. Ультрасонография черепа в нейрорепедиатрии (возможности и перспективы) // *Лучевая диагностика и терапия.* 2021. № 5 (13). С. 162–163. [Iova A.S., Kryukov E.Y., Garmashov Yu.A. et al. Skull ultrasound in neuropediatrics (opportunities and perspectives) // *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2021, No. 5 (13), pp. 162–163 (In Russ.).] doi: 10.22328/2079-5343-2022-13-S-159-174.
39. Marino S., Ruggieri M., Marino L. et al. Sutures ultrasound: useful diagnostic screening for posterior plagiocephaly // *Childs Nerv. Syst.* 2021. Vol. 37. P. 3715–3720. doi: 10.1007/s00381-021-05324-3.
40. Щербяков А.В., Данилин В.Е., Летыгин Г.В. и др. Ультразвуковое исследование швов черепа как мера снижения лучевой нагрузки в диагностике краниосинозозов у детей раннего возраста // *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко.* 2022. Т. 86, № 2. С. 64–70. [Shcherbakov A.V., Danilin V.E., Letyagin G.V. et al. Cranial suture ultrasound for reducing radiation exposure in diagnosis of craniosynostosis in young children. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii Imeni N. N. Burdenko*, 2022, Vol. 86, No. 2, pp. 64–70 (In Russ.).] doi: 10.17116/neiro20228602164.
41. Whittall I., Lambert W.A., Moote D.J. et al. Postnatal diagnosis of single-suture craniosynostosis with cranial ultrasound: a systematic review // *Childs Nerv. Syst.* 2021. Vol. 37. P. 3705–3714. doi: 10.1007/s00381-021-05301-w.
42. Gibson S.E., Prayson R.A. Primary skull lesions in paediatric population: A 25 years experience // *Arch. Pathol. Lab. Med.* 2007. Vol. 131, No. 5. P. 761–766. doi: 10.5858/2007-131-761-PSLTP.
43. Riebel T., David S., Thomale U.W. Calvarial dermoids and epidermoids in infants and children: sonographic spectrum and follow-up // *Child's Nerv. Syst.* 2008. Vol. 24, No. 11. P. 1327–1332. doi: 10.1007/s00381-008-0660-2.
44. Holley A. Sonographic diagnosis of intraosseous epidermoid cysts of the calvarium: Intraosseous epidermoid cysts of the calvarium // *Sonography.* 2016. Vol. 3, No. 3. P. 108–113. doi: 10.1002/sono.12071.
45. Bansal A.G., Oudsema R., Masseur J.A. et al. US of Pediatric Superficial Masses of the Head and Neck // *RadioGraphics.* 2018. Vol. 38, No. 4. P. 1239–1263. doi: 10.1148/rg.2018170165.
46. Gomez C.K., Schiffman S.R., Bhatt A.A. Radiological review of skull lesions // *Insights into Imaging.* 2018. Vol. 9. P. 857–882. doi: 10.1007/s13244-018-0643.
47. Choudhary G., Udayasankar U., Saade C. et al. A systematic approach in the diagnosis of paediatric skull lesions: what radiologists need to know // *Pol. J. Radiol.* 2019. Vol. 84. P. e92-e111. doi: 10.5114/pjr.2019.83101.
48. Weingarten M., Gadarowski M.B., Zyck S. et al. An unusual pediatric case of an intradiploic epidermoid cyst with cranial bone invasion // *JAAD Case Rep.* 2020. Vol. 6, No. 9. P. 912–914. doi: 10.1016/j.jder.2020.07.033.
49. Adeloje A., Odeku E.L. Congenital subgaleal cysts over the anterior fontanelle in Nigerians // *Arch. Dis. Child.* 1971. Vol. 46, No. 245. P. 95–98. doi: 10.1136/adc.46.245.95.
50. Udina C., Calligaris L., Berti I. et al. Inclusion cyst of anterior fontanelle // *Arch. Dis. Child.* 2018. Vol. 105, No. 1. P. 95. doi: 10.1136/archdischild-2018-315727.
51. Adenigba P.T., Lawal T.A., Elemile P.O. et al. The value of ultrasonography in the diagnosis of a rare congenital dermoid cyst of the anterior fontanelle in an infant // *J. West. Afr. Coll. Surg.* 2019. Vol. 9, No. 4. P. 21–25. doi: 10.4103/jwas.JWAS_34_21.
52. Ponce-Ayala A., Navarro-Garcia de Llano J.P., Degollado-Garcia J. et al. Anterior fontanelle dermoid cyst: surgical technique // *Cureus.* 2021. Vol. 13, No. 7. P. e16348. doi: 10.7759/cureus.16348.
53. Kosiak W., Piskunowicz M., Swieton D. et al. Sonographic diagnosis and monitoring of localized langerhans cell histiocytosis of the skull // *J. Clin. Ultrasound.* 2013. Vol. 41, No. 3. P. 134–139. doi: 10.1002/jcu.21988.
54. Vanhoenacker F.M., Verlooy J., De Praeter M. Spontaneous resolution of unifocal Langerhans cell histiocytosis of the skull: potential role of ultrasound in detection and imaging follow-up // *J. Ultrason.* 2018. Vol. 18, No. 74. P. 265–270. doi: 10.15557/JoU.2018.0038.
55. Vlad M.-M., Dupont M., Kayser F. Subgaleal lipoma: imaging findings // *Journal of the Belgian Society of Radiology.* 2021. Vol. 105, No. 1 (23). P. 1–4. doi: 10.5334/jbsr.2372.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

Объединенный каталог «Пресса России» 42177

УДК 616.37-089.86-073.584

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-18-26>

РОЛЬ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ХИРУРГИИ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ОБЗОР

²А. С. Кудашкина^{®*}, ^{1,2}И. Г. Камышанская[®], ¹В. М. Черемисин[®], ²К. В. Павелец[®], ²Д. С. Русанов[®],
²С. А. Калюжный[®]

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Городская Мариинская больница, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Хирургические вмешательства на поджелудочной железе отличаются технической сложностью и сопровождаются достаточно большим количеством осложнений, что во многом обусловлено вариантой анатомией поджелудочной железы.

ЦЕЛЬ: Оценить возможности 3D-моделирования при хирургическом лечении заболеваний поджелудочной железы по данным литературы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Выполнен поиск литературы на русском и английском языках за период с 2017 по 2022 гг. в базах данных Medline/PubMed, РИНЦ/Elibrary, КиберЛенинка, Google Scholar по ключевым словам: поджелудочная железа, хронический панкреатит, рак поджелудочной железы, резекция поджелудочной железы, компьютерная томография, 3D-моделирование, 3D-реконструкция, хирургическое планирование, хирургическое вмешательство, pancreas, chronic pancreatitis, pancreas cancer, pancreatectomy, computed tomography, 3D modeling, 3D reconstruction, surgical planning.

РЕЗУЛЬТАТЫ: В окончательный анализ были включены 49 публикаций, посвященных различным аспектам применения 3D-моделирования в хирургии поджелудочной железы. Показана диагностическая ценность построения трехмерных моделей в оценке резектабельности опухолей поджелудочной железы, выявлении индивидуальных топографо-анатомических особенностей панкреатобилиарной зоны, которые должны учитываться во время операции во избежание интра- и послеоперационных осложнений. Представлены примеры описания на основе 3D-моделирования редких сосудистых аномалий и кист, не визуализированных по данным стандартной компьютерной томографии, у пациентов, которым планируется операция на поджелудочной железе. Обозначена значимость послеоперационного 3D-моделирования поджелудочной железы для оценки адекватности проведенного хирургического вмешательства и раннего выявления возможных осложнений операции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: 3D-моделирование является инновационным и перспективным методом диагностики, который позволяет повысить информативность стандартной компьютерной томографии в хирургии поджелудочной железы. 3D-модели позволяют отобрать пациентов для резекции поджелудочной железы и обосновать оптимальную хирургическую стратегию. В перспективе следует ожидать улучшение результатов хирургического лечения опухолей поджелудочной железы и осложненного панкреатита.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: 3D-моделирование, компьютерная томография, резекция поджелудочной железы, хирургическое планирование

*Для корреспонденции: Кудашкина Александра Сергеевна, e-mail: alkudashkina@gmail.com

Для цитирования: Кудашкина А.С., Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Павелец К.В., Русанов Д.С., Калюжный С.А. Роль 3D-моделирования в хирургии поджелудочной железы: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 18–26. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-18-26>.

THE ROLE OF 3D MODELING IN PANCREAS SURGERY: A REVIEW

²Alexandra S. Kudashkina^{®*}, ^{1,2}Irina G. Kamyshanskaya[®], ¹Vladimir M. Cheremisin[®],
²Konstantin V. Pavelets[®], ²Dmitry S. Rusanov[®], ²Sergey A. Kalyuzhny[®]

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Mariinsky City Hospital, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Surgical interventions on the pancreas are technically complex and are accompanied by a fairly large number of complications, which is largely due to the variant anatomy of the pancreas.

© Авторы, 2023. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

OBJECTIVE: The aim of this paper is to evaluate the possibilities of 3D modeling in the surgical treatment of pancreatic diseases according to the literature.

MATERIALS AND METHODS: Literature searched in Russian and English for the period from 2017 to 2022 in Medline/PubMed, RSCI/Elibrary, CyberLeninka, Google Scholar databases. The search was conducted on the keywords: pancreas, chronic pancreatitis, pancreatic cancer, pancreatic resection, computed tomography, 3-D modeling, 3-D reconstruction, surgical planning, surgical intervention, pancreas, chronic pancreatitis, pancreas cancer, pancreatectomy, computed tomography, 3-D modeling, 3D reconstruction, surgical planning.

RESULTS: 49 publications on various aspects of the use of 3D modeling in pancreatic surgery were included in the final analysis. The diagnostic value of building three-dimensional models in assessing the resectability of pancreatic tumors, identifying individual topographic and anatomical features of the pancreatobiliary zone, which should be taken into account during surgery to avoid intra- and postoperative complications, is shown. Examples of a description based on 3D modeling of rare vascular anomalies and cysts that are not visualized according to standard computed tomography in patients who are scheduled for pancreatic surgery are presented. The importance of postoperative 3D modeling of the pancreas for assessing the adequacy of the surgical intervention and early detection of possible complications of the operation is indicated.

CONCLUSION: 3D modeling is an innovative and promising diagnostic method that allows increasing the information content of standard computed tomography in pancreatic surgery. 3D models make it possible to select patients for pancreatic resection and substantiate the most optimal surgical strategy. In the future, we should expect an improvement in the results of surgical treatment of pancreatic tumors and complicated pancreatitis.

KEYWORDS: 3D-modeling, computed tomography, pancreatectomy, surgical planning

*For correspondence: Kudashkina Alexandra Sergeevna, e-mail: alkudashkina@gmail.com

For citation: Kudashkina A.S., Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., Pavelets K.V., Rusanov D.S., Kalyuzhny S.A. The role of 3D modeling in pancreas surgery: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 18–26, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-18-26>.

Введение. Поджелудочная железа (ПЖ) с анатомической точки зрения является очень варибельным органом, размер, форма, положение и сосудистые структуры которого зависят от многих факторов, в том числе, возраста, пола, ожирения, характеристик заболеваний, поражающих орган (сахарного диабета, злокачественных новообразований, панкреатита) [1, 2]. За последние годы тактика хирургического лечения патологии ПЖ изменилась в сторону более агрессивной и радикальной резекции, стали выполняться сложные виды резекций в сочетании с реконструкцией сосудов [3]. Во избежание интра- и послеоперационных осложнений при хирургических вмешательствах в данной области необходимо учитывать вариантную анатомию ПЖ. Автоматическая сегментация ПЖ позволяет повысить точность предоперационной диагностики и эффективность лечения заболеваний эндокринной и экзокринной части органа [4].

Основным методом визуализации ПЖ на сегодняшний день является компьютерная томография (КТ) [5, 6]. Технический прогресс в области инструментальной визуализации внутренних органов привел к возникновению инновационной технологии цветного 3D-моделирования области хирургического вмешательства [7–9]. Метод представляет собой создание с помощью специальных компьютерных программ цветных объемных 3D-моделей органа после его сегментирования на основе данных мультиспиральной КТ с внутривенным болюсным контрастным усилением. Полученная модель представляет собой интегральное отображение всех фаз КТ,

которое можно разворачивать на 360° в любой плоскости в трехмерном пространстве, что позволяет в мельчайших подробностях изучить топографо-анатомические особенности исследуемого органа [10]. В последние годы технология 3D-моделирования стала успешно применяться в различных областях науки, в том числе, в абдоминальной хирургии, главным образом, при операциях на печени [11, 12].

Цель. Оценить возможности 3D-моделирования при хирургическом лечении заболеваний ПЖ по данным литературы.

Материалы и методы. Проведен поиск отечественной и зарубежной литературы в базах данных Medline/PubMed, РИНЦ/Elibrary, КиберЛенинка, Google Scholar за период с 2017 по 2022 г. Поиск осуществлялся на русском и английском языках с использованием ключевых слов: поджелудочная железа, хронический панкреатит, рак поджелудочной железы, резекция поджелудочной железы, компьютерная томография, 3D-моделирование, 3D-реконструкция, хирургическое планирование, хирургическое вмешательство, pancreas, chronic pancreatitis, pancreas cancer, pancreatectomy, computed tomography, 3-D modeling, 3D reconstruction, surgical planning. В анализ включались журнальные статьи, обзоры литературы, оригинальные исследования, клинические случаи. Не рассматривались материалы из сборников конференций, авторефераты, диссертации, учебники, учебные пособия. В итоге в работу были включены 49 публикаций, в том числе 16 отечественных и 33 зарубежных.

Варианты хирургических вмешательств на ПЖ.

Наиболее частыми заболеваниями ПЖ, которые требуют хирургического лечения, являются злокачественные новообразования и панкреатит. За последние 10 лет в Российской Федерации распространенность рака ПЖ увеличилась и в 2021 г. составила 14,1 случай на 100 тыс. населения, при этом в 58,2% случаев заболевание выявляется на IV стадии [13]. Несмотря на определенный прогресс в диагностике и лечении злокачественных новообразований, прогноз больных раком ПЖ остается неблагоприятным — летальность в течение года после установления диагноза достигает 65,1% [13]. Методом выбора при лечении злокачественных опухолей ПЖ является резекция, которая позволяет продлить жизнь пациента. Правильная оценка резектабельности опухоли служит одним из прогностических факторов общей выживаемости пациентов со злокачественным образованием ПЖ [14, 15].

Рак ПЖ чаще всего локализуется в головке ПЖ (70% случаев), реже — в теле и хвосте (20% и 10% соответственно). Предложены различные варианты резекционных хирургических операций при раке ПЖ. Радикальным методом хирургического лечения рака головки ПЖ является панкреатодуоденальная резекция с сохранением привратника без резекции желудка (операция Траверсо–Лонгмайра) или резекция головки ПЖ и двенадцатиперстной кишки единым блоком с частичной гастрэктомией (операция Кауша–Уиппла). При раке тела и хвоста ПЖ выполняют резекцию ПЖ слева со спленэктомией [16]. В зависимости от размера левосторонней аденокарциномы резекция может быть выполнена в объеме субтотальной левосторонней панкреатэктомии или тотальной панкреатэктомии, при многоочаговом происхождении карциномы показана тотальная панкреатэктомия со спленэктомией. В случае распространенной левосторонней опухоли ПЖ с поражением смежных органов (толстый кишечник, желудок) возможен вариант мультивисцеральной резекции с радикальным удалением опухоли [17].

Ключевыми моментами при выборе варианта хирургического лечения являются локализация, объем и распространение опухоли в соседние ткани. Клинический исход злокачественных новообразований зависит от потенциальной резектабельности, степени и стадии заболевания. Рентгенологическая оценка резектабельности опухоли является обязательным компонентом предоперационного планирования и подразумевает, в том числе, выявление нерезектабельных случаев. Неверная оценка резектабельности опухоли приводит к повышению периоперационного риска и завершению резекции с присвоением статуса R2, что ассоциировано с неблагоприятным прогнозом для пациента [18].

Для максимально полной предоперационной оценки резектабельности опухоли ПЖ необходимы ее четкая сегментарная локализация, а также определение

вовлеченности в опухолевый процесс сосудистых структур и близрасположенных органов. Применение 3D-моделирования позволяет точно рассчитать объем поражения ПЖ и оценить степень вовлеченности в патологический процесс парапанкреатических тканей, что, в свою очередь, способствует адекватной оценке объема хирургического вмешательства.

Основными осложнениями панкреатита, требующими чрескожного, эндоскопического и, реже, хирургического лечения, являются инфицированные перипанкреатические скопления жидкости и панкреонекроз. На сегодняшний день выбор тактики хирургического лечения панкреатита при наличии показаний остается дискуссионным вопросом. Наиболее распространенными операциями являются резекция по Бегеру (дуоденумсберегающая резекция головки ПЖ) и резекция по Фрею (резекция головки ПЖ с продольным панкреатоеюноанастомозом). Однако стандартизированные объективные показания к тому или иному методу резекции ПЖ четко не определены, и во многом выбор вида хирургического вмешательства зависит от личных предпочтений хирурга [19, 20]. При этом частота осложнений после операций на ПЖ высока и может достигать 50%, особенно в случае развития панкреонекроза [21, 22].

3D-моделирование при хирургическом лечении рака ПЖ. Рак ПЖ считается нерезектабельным при наличии гематогенных метастазов или перитонеальном распространении опухоли, поскольку в этом случае хирургическое вмешательство не улучшает общий прогноз пациентов [23]. Целесообразность паллиативной резекции в настоящее время остается дискуссионным вопросом. И поэтому исключение метастатического распространения по данным визуализирующих методик остается важной частью оценки резектабельности опухоли ПЖ.

G. F. Hess и соавт. (2021) представили клинический случай женщины 25 лет с нейроэндокринной опухолью ПЖ G2 T4N1M1 [24]. На основе анализа трехмерной модели ПЖ авторы выполнили предоперационное планирование с учетом сложных топографо-анатомических взаимоотношений пораженной области, после чего пациентке была успешно проведена обширная операция в виде резекции головки ПЖ с сохранением привратника, расширенной интераортокавальной лимфодиссекцией и атипичной резекцией печени в сегменте VI. Констатирована полная хирургическая резекция первичной опухоли (180 мм), также был полностью удален метастаз печени. Таким образом, 3D-моделирование может помочь избежать ненужного хирургического вмешательства и послеоперационных рисков за счет расширенной идентификации скрытых метастазов, которые не идентифицируются при стандартной КТ.

Метастатическое поражение лимфатических узлов является предиктором общей выживаемости при разных видах злокачественных новообразований, включая аденокарциному ПЖ [25]. Резекция ПЖ со стан-

дартной лимфаденэктомией включает удаление лимфатических узлов в парапанкреатической области, по ходу печеночно-двенадцатиперстной связки, чревного ствола и верхней брыжеечной артерии. Лимфатические метастазы возникают достаточно часто при раке ПЖ, однако наличие метастатического поражения локорегионарных лимфатических узлов в целом не исключает возможности радикального хирургического вмешательства. В этой связи оценка вовлеченности лимфатических узлов в опухолевый процесс важна для определения объема лимфодиссекции. Технология 3D-моделирования позволяет существенно повысить точность обнаружения метастазов в лимфатических узлах [26].

Предоперационная диагностика перитонеального метастазирования рака ПЖ проблематична, особенно на ранних стадиях поражения. Часто метастазы брюшины можно предположить по наличию только косвенных признаков, например, небольшого количества свободной перитонеальной жидкости. По данным литературы, частота непредвиденного перитонеального распространения, обнаруженного во время операции, составляет 5% [27].

Помимо наличия метастазов, частой находкой при оценке нерезектабельности опухоли является локальная инвазия первичной опухоли в смежные сосудистые структуры. При резекции головки ПЖ важно учитывать анатомическое расположение отдельных артерий. Окружающая ПЖ сосудистая сеть имеет сложное строение, поэтому во время операций на ПЖ высока вероятность ее травмирования, а добавочные артерии являются дополнительными путями опухолевой диссеминации [28]. Несмотря на существенное улучшение диагностических качеств визуализирующих методик за последние годы, полученные данные нередко являются сомнительными в отношении вовлечения артерий в патологический процесс, что требует хирургического исследования, которое продолжает оставаться «золотым стандартом» в определении резектабельности опухолей.

Показателен клинический случай пациента 71 года, которому планировалась резекция головки ПЖ с сохранением привратника и реконструкцией по Traverso-Longmire по поводу местно-распространенной аденокарциномы ПЖ [29]. При предоперационном планировании реконструкция 3D-модели ПЖ позволила выявить редкую сосудистую аномалию — артерио-артериальный анастомоз между верхней брыжеечной артерией и чревным стволом (анастомоз Бюлера), который встречается всего у 1–2% больных. Следует отметить, что при стандартизированной КТ и КТ-ангиографии у данного пациента не было выявлено хирургически значимых анатомических вариаций. Дооперационная диагностика сосудистой аномалии с помощью 3D-моделирования ПЖ позволила избежать интраоперационных осложнений.

В случае левосторонней локализации опухоли селезеночные сосуды, как правило, включаются в ком-

плексную резекцию хвоста ПЖ и селезенки. Н.Т. Zhou и соавт. (2020) с помощью трехмерной реконструкции ПЖ с достоверностью 80,9% установили, что большая площадь контакта между резецируемой ПЖ и селезеночной веной, а также большая площадь окружности селезеночного сосуда, инвазированного в резецируемую ПЖ, наряду с большим объемом опухоли являются независимыми факторами неудачного исхода лапароскопической дистальной панкреатэктомии с сохранением селезеночных сосудов [30]. В то же время, несмотря на поражение сосудов, необходимо обеспечить радикальную резекцию опухоли, что технически сложно [31]. При любом варианте резекции ПЖ стараются сохранить артериальное кровоснабжение печени, желудка и кишечника, а также мезентерико-портальную венозную систему. Если не учитывать анатомо-топографические особенности сосудистых структур при резекции ПЖ, высока вероятность нарушения непосредственного артериального кровоснабжения печени, желчных протоков и желудка, даже с учетом коллатеральных путей кровотока. В исходе возможно развитие таких серьезных осложнений, как печеночная недостаточность, некроз желчных протоков, перфорация желудка и ишемическая язва органов желудочно-кишечного тракта.

Точное определение вовлеченности сосудистых структур при раке ПЖ отражено в системе стадирования TNM. Так, категория T3, представляющая местно-инвазивную, но потенциально резектабельную опухоль, включает локальную инвазию в мезентерико-портальную венозную систему, тогда как категория T4 относится к местно-распространенной нерезектабельной опухоли и подразумевает инвазию верхней брыжеечной артерии, чревного ствола или общей печеночной артерии [32]. Рак тела ПЖ с поражением чревного ствола и/или общей печеночной артерии считается нерезектабельным.

Общая печеночная артерия отличается топографо-анатомической вариабельностью, поэтому при нестандартном расположении ее инвазия опухолью может быть неожиданной находкой [33]. Высокий интраоперационный риск представляет ранее не диагностированный тяжелый стеноз чревного ствола, который становится клинически значимым после отключения коллатерального кровотока от гастродуоденальной артерии или при случайном повреждении aberrантной печеночной артерии. Опухолевая инфильтрация такой артерии является противопоказанием к резекции ПЖ так же, как и инвазия верхней брыжеечной артерии или общей печеночной артерии.

Необходимость дополнительной артериальной резекции при операциях на головке ПЖ ассоциирована со значительно большей периоперационной летальностью и плохой выживаемостью пациентов [34]. И поэтому во многих случаях артериальная инвазия опухоли ПЖ считается критерием нерезектабельности. 3D-моделирование очень точно отображает анатомию артерий в верхней части живота перед операцией.

Опухолевое поражение воротной вены не является абсолютным противопоказанием к резекции головки ПЖ, и в случае отрицательных краев резекции выживаемость пациентов сопоставима с таковой у пациентов без резекции воротной вены [35]. Однако при обширной инвазии брыжеечной вены и ее ответвлений опухоль может расцениваться как нерезектабельная, что еще раз подчеркивает необходимость точного предоперационного анализа анатомии артериовенозной сети, который обеспечивает технология 3D-моделирования.

Исследования свидетельствуют, что трехмерные реконструированные КТ-изображения способствует более точной оценке артериальной инвазии и сосудистых сужений, а также более четкой оценке окружного и продольного контакта опухоли с сосудом по сравнению с обычными КТ-снимками [36]. Так, С. Andolfi и соавт. описали клинический случай 56-летней женщины с аденокарциномой головки ПЖ, у которой данные КТ свидетельствовали о пограничной резектабельной опухоли с вовлечением гастродуоденальной артерии, однако оставалась неясной связь опухоли с печеночной артерией [37]. 3D-реконструкция ПЖ позволила четко установить инвазию кровеносных сосудов и, таким образом, опухоль была признана нерезектабельной. Таким образом, 3D-моделирование обеспечивает оптимальную визуализацию анатомических вариантов артерий, которые, если их не оценить до операции, увеличивают риск интраоперационной ишемии и послеоперационных осложнений.

Недавно Z. Zhang и соавт. (2022) представили клинический случай успешного хирургического лечения редкой высокодифференцированной нейроэндокринной опухоли ПЖ с инвазией в перипанкреатические сосуды у женщины 39 лет [38]. На догоспитальном этапе по данным КТ брюшной полости с контрастированием было выявлено новообразование с кистой головки и тела ПЖ с прорастанием в перипанкреатические сосуды, что было расценено как метастатическая карцинома. Однако 3D-визуализация КТ-снимков пациентки показала интактные перипанкреатические сосуды, что позволило провести радикальную панкреатодуоденальную резекцию, при этом интраоперационно было подтверждено сдавление магистральных кровеносных сосудов парапанкреатической области опухолевой массой, но не их инвазия. Больная была выписана на 19-е сутки в удовлетворительном состоянии, и при наблюдении в течение последующих 18 месяцев каких-либо патологических отклонений не отмечалось. Таким образом, предоперационная реконструкция КТ брюшной полости помогает достоверно определить степень инвазии жизненно важных перипанкреатических сосудов и играет ключевую роль в составлении плана операции, улучшая прогноз пациента.

Некоторые авторы предлагают применять трехмерное моделирование для оценки показаний к хирургическому лечению патологии ПЖ. Например, Я. И. Нерестюк и соавт. (2017) в ретроспективном исследовании на основе трехмерного моделирования КТ-изображений ПЖ у 30 пациентов с протоковой аденокарциномой определили показания к дуоденопанкреатэктомии [39]. Согласно авторам исследования, оптимальным является проведение операции в случае, когда опухоль по данным 3D-моделирования составляет более 31,8% объема ПЖ.

3D-моделирование в послеоперационном периоде. Следует отметить, что 3D-моделирование может быть использовано не только в ходе предоперационного планирования, но и после хирургического вмешательства для оценки эффективности проведенного лечения и своевременного выявления осложнений. Доказана эффективность трехмерной реконструкции КТ-изображений ПЖ как инструмента для оценки осложнений, возникших после панкреатодуоденальной или дистальной панкреатэктомии (замедленное опорожнение желудка, несостоятельность анастомозов, образование свищей, стриктуры, абсцессы, инфаркт и т.д.), а также связанных с резекцией и реконструкцией сосудов (кровотечение, псевдоаневризма, тромбоз сосудов и ишемия) [40]. В структуре осложнений после хирургического лечения резектабельного рака ПЖ доминирующую роль играет несостоятельность панкреатоэнтероанастомоза или панкреатическая фистула, которая нередко является причиной летального исхода [18]. Применение 3D-моделирования, среди прочего, позволяет достоверно оценить степени фиброза и жировой инфильтрации паренхимы ПЖ, которые рассматриваются в качестве предикторов развития панкреатической фистулы [41]. Y. Renard и соавт. (2018) считают, что одной из причин высокой частоты развития панкреатической фистулы после операций на ПЖ является неверная анатомо-хирургическая сегментация органа на дооперационном этапе [42]. Авторы предлагают разделять ПЖ на сегменты, основываясь на расположении протоков ПЖ по данным их 3D-реконструкции.

3D-моделирование при хирургическом лечении панкреатита. Не визуализированные на преоперационном этапе кисты ПЖ не дренируются во время операции и могут служить причиной рецидива панкреатита, а также сопряжены с риском повреждения сосудов при их близком расположении.

С. Е. Каторкин и соавт. (2017) описали случай хирургического лечения панкреатита у пациента, у которого в предоперационном периоде с помощью цветного 3D-моделирования было определено три кистозных образования головки ПЖ в труднодоступных местах [20]. Кисты были успешно ликвидированы в ходе операции, что позволило предотвратить интра- и послеоперационные осложнения.

В работе Е. А. Корымасова и соавт. (2021) показано, что трехмерное моделирование обладает большей информативностью, чем КТ, при определении объема панкреонекроза и степени поражения клетчаточных пространств, что имеет важное прогностическое значение [22]. Кроме того, компьютерное 3D-моделирование в послеоперационном периоде помогает проанализировать адекватность дренирования и санации очагов деструкции.

В ретроспективном исследовании P. F. Wang и соавт. (2018) продемонстрировано, что технология 3D-визуализации позволяет выбрать оптимальный вариант установки дренажей (количество дренажей и точки их установки) у пациентов с инфицированным некротизирующим панкреатитом, а также значительно повышает эффективность некрэктомии через ригидный нефроскоп [43]. При этом операция занимает около 102 ($102 \pm 20,7$) мин.

Дифференциальная диагностика между злокачественными и доброкачественными образованиями ПЖ является принципиальным аспектом при выборе лечебной тактики. В проспективном исследовании Y. Shi и соавт. (2017) показана высокая диагностическая ценность 3D-моделирования в дифференциации аденокарциномы протоков ПЖ и панкреатита, который по данным КТ визуализируется как солидное образование [44]. Чувствительность, специфичность и точность коэффициента жесткости, рассчитанного по данным трехмерной модели ПЖ для дифференциальной диагностики, были выше 0,9 и превосходили аналогичные показатели для сыровоточного СА19–9.

Другие возможности 3D-моделирования ПЖ. В литературе представлены данные об успешном применении дооперационной трехмерной реконструкции КТ-изображений перед хирургическим удалением солидной и псевдопапиллярной опухолей ПЖ, а также новообразований другой локализации у детей (средний возраст обследованных детей на момент операции составил 68,2 мес) [45].

Важно отметить, что оценка 3D-реконструкций ПЖ требует меньших временных затрат по сравнению с анализом данных КТ. Например, в исследовании S. Magcon и соавт. (2017) показано, что среднее время, затрачиваемое врачами на оценку 3D-модели, составило $60,67 \pm 25,5$ с, тогда как на оценку результатов мультиспиральной КТ требовалось в среднем $127,04 \pm 35,91$ с [46].

В последние годы в различных областях хирургии широкое распространение получили малоинвазивные методики. Минимально инвазивная эндопанкреатическая хирургия, при которой выполняется резекция ПЖ изнутри протока ПЖ, была предложена в качестве экспериментальной альтернативы резекции головки ПЖ с сохранением двенадцатиперстной кишки, в том числе при хроническом панкреатите. Однако лапароскопическая панкреатодуоденальная резекция является технически сложной

процедурой, ассоциированной с высокой частотой осложнений, и на сегодняшний день применяется нечасто. Во многом техническая сложность данной процедуры связана с трудностями пространственной ориентации в операционном поле. По данным M. Mazzola и соавт. (2020) и P. C. Müller и соавт. (2020) 3D-технологии за счет точной анатомо-топографической реконструкции зоны хирургического вмешательства могут способствовать улучшению результатов лапароскопической панкреатодуоденальной резекции и снижению частоты непредвиденных осложнений [47, 48].

Наглядность 3D-моделей может служить инструментом общения между врачом, пациентом и его родственниками, поскольку они позволяют доступно для неспециалиста в области хирургии показать патологический процесс до и после хирургического вмешательства. В свою очередь, это важно для поддержания комплаенса и соответствует принципам современной пациент-ориентированной медицины.

Кроме того, 3D-визуализация может быть потенциальным дополнительным инструментом обучения при создании системы знаний об анатомии, КТ-изображениях и планировании операций для стажеров-хирургов [49].

Заключение. Построение 3D-модели на основе КТ-снимков является перспективным методом, который позволяет точно рассчитать локализацию и объем поражения ПЖ, выявить индивидуальные топографо-анатомические особенности области хирургического вмешательства и признаки резектабельности опухоли ПЖ, обнаружить редкие сосудистые аномалии и труднодоступные кисты, не визуализируемые другими методами исследования. Полученные данные могут быть использованы при отборе пациентов для резекции ПЖ по поводу новообразований или осложненного панкреатита и предоперационном планировании хирургической стратегии, снижая периоперационный риск. Данные литературы свидетельствуют, что 3D-моделирование обладает большей диагностической информативностью по сравнению со стандартной КТ. Послеоперационное 3D-моделирование позволяет оценить адекватность объема проведенного хирургического вмешательства.

Недостатком технологии 3D-моделирования является дороговизна метода и достаточно продолжительное время, необходимое для создания 3D-модели. Однако с учетом современной тенденции к цифровизации можно ожидать, что в ближайшее время создание 3D-моделей внутренних органов станет более доступным в реальной клинической практике. В настоящее время технология 3D-моделирования не является рутинным методом в хирургии ПЖ, поэтому необходимо проведение дальнейших исследований, позволяющих проанализировать преимущества и недостатки этого метода с целью его внедрения в ежедневную клиническую практику.

Сведения об авторах:

Кудашкина Александра Сергеевна — ассистент кафедры онкологии федерального государственного бюджетного образования учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; заведующая отделением магнитно-резонансной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; e-mail: alkudashkina@gmail.com, ORCID 0009-0004-3085-9964;

Камышанская Ирина Григорьевна — доктор медицинских наук, доцент кафедры онкологии федерального государственного бюджетного образования учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; заведующая отделом лучевой диагностики Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; e-mail: irinaka@mail.ru, ORCID 0000-0002-8351-9216;

Черемисин Владимир Максимович — доктор медицинских наук, профессор кафедры онкологии федерального государственного бюджетного образования учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 6–8; e-mail: vm_cher@mail.ru, ORCID 0000-0003-1402-2844;

Павелец Константин Вадимович — доктор медицинских наук, профессор кафедры факультетской хирургии им. проф. А. А. Русанова федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; кафедры общей хирургии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; заведующий хирургическим отделением Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; e-mail: prof.kvp@icloud.com; ORCID 0000-0002-1921-8427;

Русанов Дмитрий Сергеевич — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры факультетской хирургии им. проф. А. А. Русанова федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2, врач-эндоскопист Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; e-mail: rusanov.vergeltung@yandex.ru; ORCID 0000-0001-9101-7673;

Калюжный Сергей Алексеевич — врач-хирург Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; e-mail: sergey_kalyuzhnyy@rambler.ru; ORCID 0000-0002-3507-6123.

Information about the authors:

Aleksandra S. Kudashkina — Assistant of the Department of Oncology of the Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «St. Petersburg State University», 199034, St. Petersburg, Universitetskaya nab., 7–9; Head of the Magnetic Resonance Imaging Department of the St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «City Mariinsky Hospital», St. Petersburg, Liteyny Ave. 56, alkudashkina@gmail.com, ORCID 0009-0004-3085-9964;

Irina G. Kamyshanskaya — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Oncology of the Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «St. Petersburg State University», 199034, St. Petersburg, Universitetskaya nab., 7–9, Head of the Department of Radiation Diagnostics of the St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «City Mariinsky Hospital», St. Petersburg, Foundry 56 ave., irinaka@mail.ru, ORCID 0000-0002-8351-9216;

Vladimir M. Cheremisin — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Oncology of the Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University», 199034, Saint Petersburg, Universitetskaya nab., 6–8, vm_cher@mail.ru, ORCID 0000-0003-1402-2844;

Konstantin V. Pavelets — Dr. of Sci. (Med.), Professor of Department of faculty surgery to them. Professor A. A. Rusanov, Saint Petersburg state pediatric medical University, Department of General surgery, 194100, Saint Petersburg, St. Litovskaya, 2, head of the surgical Department of St. Petersburg state budgetary health care institution «City Mariinsky hospital», 191014, Saint Petersburg, 56 Liteyny Ave, prof.kvp@icloud.com, ORCID: 0000-0002-1921-8427;

Dmitry S. Rusanov — Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Department of faculty surgery named after Prof. A. A. Rusanov of the Saint Petersburg state pediatric medical University, 194100, Saint Petersburg, St. Litovskaya, 2, endoscopist of the Saint Petersburg state budgetary healthcare institution «City Mariinsky hospital» 191014, Saint Petersburg, 56 Liteyny Ave., rusanov.vergeltung@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9101-7673;

Sergey A. Kalyuzhnyy — surgeon of the Saint Petersburg state budgetary healthcare institution «City Mariinsky hospital», 191014, Saint Petersburg, 56 Liteyny Ave., sergey_kalyuzhnyy@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-3507-6123.

Вклад авторов: Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — А. С. Кудашкина, К. В. Павелец; сбор и математический анализ данных — А. С. Кудашкина, Д. С. Русанов; подготовка рукописи — А. С. Кудашкина, С. А. Калюжный, И. Г. Камышанская.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: ASK, KVP aided in the concept and plan of the study; ASK, DSR provided collection and mathematical analysis of data; ASK, SAK, IGK preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Поступила/Received: 27.02.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Кригер А.Г., Пронин Н.А., Двухжилов М.В. и др. Хирургический взгляд на артериальную анатомию поджелудочной железы // *Анналы хирургической гепатологии*. 2021. Т. 26, № 3. С. 112–122. [Kriger A.G., Pronin N.A., Dvukhzhilov M.V. Other Surgical view of the arterial anatomy of the pancreas. *Annals of surgical hepatology*, 2021, Vol. 26, No. 3, pp. 112–122 (In Russ.)]. doi: 10.16931/1995-5464.2021-3-112-122.
2. Alanentalo T., Hahn M., Willekens S.M.A., Ahlgren U. Mesoscopic Optical Imaging of the Pancreas-Revisiting Pancreatic Anatomy and Pathophysiology // *Front Endocrinol. (Lausanne)*. 2021. Vol. 12. P. 633063. doi: 10.3389/fendo.2021.633063. PMID: 33746904.
3. Javed A.A., Young R.W.C., Habib J.R. et al. Cinematic Rendering: Novel Tool for Improving Pancreatic Cancer Surgical Planning // *Curr. Probl. Diagn. Radiol.* 2022. Vol. 51, No. 6. P. 878–883. doi: 10.1067/j.cpradiol.2022.04.001. PMID: 35595587.
4. Kumar H., DeSouza S.V., Petrov M.S. Automated pancreas segmentation from computed tomography and magnetic resonance images: A systematic review // *Comput Methods Programs Biomed.* 2019. Vol. 178. P. 319–328. doi: 10.1016/j.cmpb.2019.07.002. PMID: 31416559.
5. Zhang L., Sanagapalli S., Stoita A. Challenges in diagnosis of pancreatic cancer // *World J. Gastroenterol.* 2018. Vol. 24, No. 19. P. 2047–2060. doi: 10.3748/wjg.v24.i19.2047. PMID: 29785074.
6. Barat M., Dohan A., Gaujoux S. et al. Computed tomography features of acinar cell carcinoma of the pancreas // *Diagn. Interu Imaging*. 2020. Vol. 101, No. 9. P. 565–575. doi: 10.1016/j.diii.2020.02.007. PMID: 32146131.
7. Панченков Д.Н., Иванов Ю.В., Колсанов А.В. и др. Виртуальное 3D-моделирование в хирургии печени // *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2019. Т. 178, № 5. С. 74–80. [Panchenkov D.N., Ivanov Yu.V., Kolsanov A.V. et al. Virtual 3D modeling in liver surgery. *Bulletin of Surgery named after I. I. Grekov*, 2019, Vol. 178, No. 5, pp. 74–80 (In Russ.)]. doi: 10.24884/0042-4625-2019-178-5-74-80.
8. Ромашенко П.Н., Железняк И.С., Майстренко Н.А., Блюмина С.Г. Способ проектирования хирургического доступа для адrenaлэктоми при помощи 3D-моделирования // *Таврический медико-биологический вестник*. 2020. Т. 23, № 2. С. 165–171. [Romashchenko P.N., Zheleznyak I.S., Maistrenko N.A.,

- Blyumina S.G. A method for designing surgical access for adrenalectomy using 3D modeling. *Tauride Medical and Biological Bulletin*, 2020. Vol. 23, No. 2, pp. 165–171 (In Russ.). doi: 10.37279/2070-8092-2020-23-2-165-171.
9. Ballard D.H., Wake N., Witowski J. et al. Radiological Society of North America (RSNA) 3D Printing Special Interest Group (SIG) clinical situations for which 3D printing is considered an appropriate representation or extension of data contained in a medical imaging examination: abdominal, hepatobiliary, and gastrointestinal conditions // *3D Print Med*. 2020. Vol. 6, No. 1. P. 13. doi: 10.1186/s41205-020-00065-6. PMID: 32514795.
 10. Frohn J., Pinkert-Leetsch D., Missbach-Güntner J. et al. 3D virtual histology of human pancreatic tissue by multiscale phase-contrast X-ray tomography // *J. Synchrotron Radiat*. 2020. Vol. 27, Pt 6. P. 1707–1719. doi: 10.1107/S1600577520011327. PMID: 33147198.
 11. Boedecker C., Huetfl F., Saalfeld P. et al. Using virtual 3D-models in surgical planning: workflow of an immersive virtual reality application in liver surgery // *Langenbecks Arch. Surg*. 2021. Vol. 406, No. 3. P. 911–915. doi: 10.1007/s00423-021-02127-7. PMID: 33710462.
 12. Зельтер П.М., Колсанов А.В., Пышкина Ю.С. Сегментация очаговых образований печени и виртуальная резекция на основе данных компьютерной томографии // *Бюллетень сибирской медицины*. 2021. Т. 20, № 1. С. 39–44. [Zelter P.M., Kolsanov A.V., Pyshkina Yu.S. Segmentation of focal liver lesions and virtual resection based on computed tomography data. *Bulletin of Siberian Medicine*, 2021, Vol. 20, No. 1, pp. 39–44 (In Russ.).] doi: 10.20538/1682-0363-2021-1-39-44.
 13. *Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году* / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Москва: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 239 с. [*The state of oncological care for the population of Russia in 2021*: ed. A. D. Kaprin, V. V. Starinsky, A. O. Shakhzadova. Moscow: MNI OI im. P. A. Gertsen — branch of the Federal State Budgetary Institution «NMITs Radiology» of the Ministry of Health of Russia, 2022. 239 p. (In Russ.)].
 14. Кармазановский Г.Г. Дифференциальная диагностика и определение резектабельности рака поджелудочной железы с помощью МСКТ и МРТ // *Анналы хирургической гепатологии*. 2019. Т. 24, № 3. С. 22–35. [Karmazanovsky G.G. Differential diagnosis and analysis of pancreatic cancer resectability using CT and MRI. *Annals of HPB Surgery*, 2019, Vol. 24, No. 3, pp. 22–35 (In Russ.).] doi: 10.16931/1995-5464.2019322-35.
 15. Кудрявцева А.В., Багненко С.С., Дзидзава И.И. и др. КТ и МРТ в оценке резектабельных и условно резектабельных опухолей поджелудочной железы // *Анналы хирургической гепатологии*. 2021. Т. 26, № 1. С. 34–47. [Kudryavtseva A.V., Bagnenko S.S., Dzidzawa I.I. et al. CT and MRI in the assessment of resectable and borderline resectable pancreatic tumors. *Annals of HPB Surgery*, 2021, Vol. 26, No. 1, pp. 34–47 (In Russ.).] doi: 10.16931/1995-5464.2021134-47.
 16. Ревшвили А.Ш., Кригер А.Г., Вишневыский В.А. и др. Актуальные вопросы хирургии поджелудочной железы // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2018. № 9. С. 5–14. [Revishvili A.Sh., Kriger A.G., Vishnevskiy V.A. and other Topical issues of pancreatic surgery. *Surgery. Journal them. N.I. Pirogov*, 2018, No. 9, pp. 5–14 (In Russ.)] doi: 10.17116/hirurgia20180915.
 17. Beetz O., Sarisin A., Kaltenborn A. et al. Multivisceral resection for adenocarcinoma of the pancreatic body and tail—a retrospective single-center analysis // *World J. Surg. Oncol*. 2020. Vol. 18, No. 1. P. 218. doi: 10.1186/s12957-020-01973-x. PMID: 32819373.
 18. Михайлов И.В., Бондаренко В.М., Кудряшов В.А. и др. Динамика результатов лечения резектабельного рака головки поджелудочной железы за 30-летний период // *Проблемы здоровья и экологии*. 2019. Т. 3, № 61. С. 50–55. [Mikhailov I.V., Bondarenko V.M., Kudryashov V.A. Dynamics of the results of treatment of resectable pancreatic head cancer over a 30-year period. *Problems of health and ecology*, 2019, Vol. 3, No. 61, pp. 50–55 (In Russ.)].
 19. Грекова Н.М., Шишменцев Н.Б., Ю.В. Наймушина Ю.В. и др. Острый панкреатит: современные концепции хирургического лечения // *Новости хирургии. News of Surgery*, 2020, Vol. 28, No. 2, pp. 197–206 (In Russ.).] doi: 10.18484/2305-0047.2020.2.197.
 20. Каторкин С.Е., Колсанов А.В., Быстров С.А. и др. Виртуальное 3-D моделирование в хирургическом лечении хронического панкреатита // *Новости хирургии. News of Surgery*, 2017, Vol. 25, No. 5, pp. 503–509 (In Russ.).] doi: 10.18484/2305-0047.2017.5.503-509.
 21. Каприн И.А., Эльдарова З.Э., Глабай В.П. Хирургическое лечение и осложнения операций при остром панкреатите тяжелого течения // *Исследования и практика в медицине*. 2018. Т. 5, № 4. С. 72–81. [Kaprin I.A., Eldarova Z.E., Glabay V.P. Surgical treatment and complications of operations in severe acute pancreatitis. *Research and practice in medicine*, 2018, Vol. 5, No. 4, pp. 72–81 (In Russ.).] doi: 10.17709/2409-2231-2018-5-4-7.
 22. Корымазов Е.А., Кривошеков Е.П., Хорошилов М.Ю., Зельтер П.М. 3D-моделирование при остром панкреатите: клинический пример эффективности применения цифровых технологий // *Современная медицина*. 2021. № 2 (21). С. 57–60. [Korymasov E.A., Krivoshchekov E.P., Khoroshilov M.Yu., Zelter P.M. 3D-modeling in acute pancreatitis: a clinical example of the effectiveness of the use of digital technologies. *Modern medicine*, 2021, No. 2 (21), pp. 57–60 (In Russ.)].
 23. Dumont R., Puleo F., Collignon J. et al. A single center experience in resectable pancreatic ductal adenocarcinoma: the limitations of the surgery-first approach. Critical review of the literature and proposals for practice update // *Acta Gastroenterol Belg*. 2017. Vol. 80, No. 4. P. 451–461. PMID: 29560639.
 24. Hess G.F., Soysal S.D., Nicolas G. et al. Surgical Strategy Based on Radiological 3D Reconstruction in a Giant Metastatic Neuroendocrine Tumor of the Pancreas: A Case Report of an Interdisciplinary Approach // *Case Rep. Surg*. 2021. Vol. 2021. P. 8811155. doi: 10.1155/2021/8811155. PMID: 33564486.
 25. Joliat G.R., Labгаа I., Sulzer J. et al. International assessment and validation of the prognostic role of lymph node ratio in patients with resected pancreatic head ductal adenocarcinoma // *Hepatobiliary Surg. Nutr*. 2022. Vol. 11, No. 6. P. 822–833. doi: 10.21037/hbsn-21-99. PMID: 36523941.
 26. Lu Q., Zhou C., Zhang H. et al. A multimodal model fusing multiphase contrast-enhanced CT and clinical characteristics for predicting lymph node metastases of pancreatic cancer // *Phys. Med. Biol*. 2022. Vol. 67, No. 17. doi: 10.1088/1361-6560/ac858e. PMID: 35905729.
 27. Kojima H., Kitago M., Iwasaki E. et al. Peritoneal dissemination of pancreatic cancer caused by endoscopic ultrasound-guided fine needle aspiration: A case report and literature review // *World J. Gastroenterol*. 2021. Vol. 27, No. 3. P. 294–304. doi: 10.3748/wjg.v27.i3.294. PMID: 33519143.
 28. Andersen B.T., Stimec B.V., Kazaryan A.M. et al. Re-interpreting mesenteric vascular anatomy on 3D virtual and/or physical models, part II: anatomy of relevance to surgeons operating splenic flexure cancer // *Surg. Endosc*. 2022. Vol. 36, No. 12. P. 9136–9145. doi: 10.1007/s00464-022-09394-5. PMID: 35773607.
 29. Templin R., Tabriz N., Hoffmann M. et al. Case Report: Virtual and Interactive 3D Vascular Reconstruction Before Planned Pancreatic Head Resection and Complex Vascular Anatomy: A Bench-To-Bedside Transfer of New Visualization Techniques in Pancreatic Surgery // *Front Surg*. 2020. Vol. 7. P. 38. doi: 10.3389/fsurg.2020.00038. PMID: 32626723.
 30. Zhou H.T., Peng C.B., Han Y. et al. Quantitative analysis of three-dimensional reconstruction data to guide the selection of methods for laparoscopic distal pancreatectomy // *J. Hepatobiliary Pancreat. Sci*. 2021. Vol. 28, No. 8. P. 659–670. doi: 10.1002/jhpb.849. PMID: 33053264.
 31. Dolay K., Malya F.U., Akbulut S. Management of pancreatic head adenocarcinoma: From where to where? // *World J. Gastrointest. Surg*. 2019. Vol. 11, No. 3. P. 143–154. doi: 10.4240/wjgs.v11.i3.143.
 32. McGuigan A., Kelly P., Turkington R.C. et al. Pancreatic cancer: A review of clinical diagnosis, epidemiology, treatment and outcomes // *World J. Gastroenterol*. 2018. Vol. 24, No. 43. P. 4846–4861. doi: 10.3748/wjg.v24.i43.4846. PMID: 30487695.
 33. Рубцова Н.А., Федулеев М.Н., Нерестюк Я.И. и др. Артериальное кровоснабжение печени, целиако-мезентериальный бассейн (обзор литературы) // *Медицинская визуализация*. 2021. Т. 25, № 2. С. 74–83. [Rubtsova N.A., Pheduleev M.N., Nerestyuk Ya.I. et al. Arterial blood supply to the liver, celiac and mesenteric pool (literature review). *Medical Visualization*, 2021, Vol. 25, No. 2, pp. 74–83 (In Russ.).] doi: 10.24835/1607-0763-928.
 34. Kwon J., Shin S.H., Yoo D. et al. Arterial resection during pancreatectomy for pancreatic ductal adenocarcinoma with arterial invasion: A single-center experience with 109 patients // *Medicine (Baltimore)*. 2020. Vol. 99, No. 37. e22115. doi: 10.1097/MD.00000000000022115. PMID: 32925757.
 35. Heckler M., Hackert T. Surgery for locally advanced pancreatic ductal adenocarcinoma—is it only about the vessels? // *J. Gastrointest. Oncol*. 2021. Vol. 12, No. 5. P. 2503–2511. doi: 10.21037/jgo-20-313. PMID: 34790411.
 36. Marconi S., Pugliese L., Del Chiaro M. et al. An innovative strategy for the identification and 3D reconstruction of pancreatic cancer from CT images // *Updates Surg*. 2016. Vol. 68, No. 3. P. 273–278. doi: 10.1007/s13304-016-0394-8. PMID: 27605209.
 37. Andolfi C., Plana A., Kania P. et al. Usefulness of Three-Dimensional Modeling in Surgical Planning, Resident Training, and Patient Education // *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. A*. 2017. Vol. 27, No. 5. P. 512–515. doi: 10.1089/lap.2016.0421. PMID: 27813710.
 38. Zhang Z., Liu L., Li Y. et al. Therapeutic experience of a pancreatic mixed serous neuroendocrine neoplasm invading peripancreatic vessels: A case report // *Medicine (Baltimore)*. 2022. Vol. 101, No. 35. e30323. doi: 10.1097/MD.00000000000030323. PMID: 36107509.
 39. Нерестюк Я.И., Кармазановский Г.Г., Кубышкин В.А. и др. Трехмерная реконструкция компьютерных томограмм в выборе оперативного вмешательства при протоковой аденокарциноме поджелудочной железы // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2017. № 4. С. 36–40. [Nerestyuk Ya.I., Karmazanovsky G.G., Kubyskhin V.A. et al. Three-dimensional reconstruction of computed tomograms in the choice of operating mode in pancreatic ductal adenocarcinoma. *Surgery. Journal them. N.I. Pirogov*, 2017, No. 4, pp. 36–40 (In Russ.).] doi: 10.17116/hirurgia2017436-40.

40. Hafezi-Nejad N., Fishman E.K., Zaheer A. Imaging of post-operative pancreas and complications after pancreatic adenocarcinoma resection // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2018. Vol. 43, No. 2. P. 476–488. doi: 10.1007/s00261-017-1378-y. PMID: 29094173.
41. Хатьков И.Е., Домрачев С.А., Цвиркун В.В. и др. Прогнозирование панкреатической фистулы после панкреатодуоденальной резекции с помощью компьютерной томографии // *Медицинская визуализация*. 2019. Т. 23, № 1. С. 19–27. [Khatkov I.E., Domrachev S.A., Tsvirkun V.V. et al. Prediction of postpancreatoduodenectomy pancreatic fistula with the use of computer tomography. *Medical Visualization*, 2019, Vol. 23, No. 1, pp. 19–27 (In Russ.)]. doi: 10.24835/1607-0763-2019-1-19-27.
42. Renard Y., de Mestier L., Perez M. et al. Unraveling Pancreatic Segmentation // *World J. Surg.* 2018. Vol. 42, №4. P. 1147–1153. doi: 10.1007/s00268-017-4263-5. PMID: 28975436.
43. Wang P.F., Liu Z.W., Cai S.W. et al. Usefulness of three-dimensional visualization technology in minimally invasive treatment for infected necrotizing pancreatitis // *World J. Gastroenterol.* 2018. Vol. 24, No. 17. P. 1911–1918. doi: 10.3748/wjg.v24.i17.1911. PMID: 29740206.
44. Shi Y., Gao F., Li Y. et al. Differentiation of benign and malignant solid pancreatic masses using magnetic resonance elastography with spin-echo echo planar imaging and three-dimensional inversion reconstruction: a prospective study // *Eur. Radiol.* 2018. Vol. 28, No. 3. P. 936–945. doi: 10.1007/s00330-017-5062-y. PMID: 28986646
45. Irtan S., Hervieux E., Boutroux H. et al. Preoperative 3D reconstruction images for paediatric tumours: Advantages and drawbacks // *Pediatr. Blood Cancer*. 2021. Vol. 68, No. 1. e28670. doi: 10.1002/pbc.28670. PMID: 32827349.
46. Marconi S., Pugliese L., Botti M. et al. Value of 3D printing for the comprehension of surgical anatomy // *Surg. Endosc.* 2017. Vol. 31, No. 10. P. 4102–4110. doi: 10.1007/s00464-017-5457-5. PMID: 28281114.
47. Mazzola M., Morini L., Crippa J. et al. Totally Laparoscopic Pancreaticoduodenectomy: Technical Notes // *Chirurgia (Bucur)*. 2020. Vol. 115, No. 3. P. 385–393. doi: 10.21614/chirurgia.115.3.385. PMID: 32614295.
48. Müller P.C., Haslebacher C., Steinemann D.C. et al. Image-guided minimally invasive endopancratic surgery using a computer-assisted navigation system // *Surg. Endosc.* 2021. Vol. 35, No. 4. P. 1610–1617. doi: 10.1007/s00464-020-07540-5. PMID: 32253555.
49. Lin C., Gao J., Zheng H. et al. Three-dimensional visualization technology used in pancreatic surgery: a valuable tool for surgical trainees // *Journal of Gastrointestinal Surgery*. 2020. Vol. 24, No. 4. P. 866–873. doi: 10.1007/s11605-019-04214-z. PMID: 31012044.

ЕЖЕГОДНАЯ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦИЯ

Современные стандарты анализа лучевых изображений
и принципы построения заключения

15
декабря
2023
Санкт-Петербург

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас принять участие в работе Ежегодной телеконференции «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения», которая состоится 15 декабря 2023 года в Санкт-Петербурге.

Формат проведения конференции: заочный, с использованием дистанционных технологий, в том числе онлайн-трансляции в режиме реального времени.

Место проведения: онлайн площадка <https://medum.org/>

Предварительная регистрация участников обязательна на сайте: <https://medum.org/>

Открытие конференции: 15 декабря 2023 г. в 9:00

Организатор: Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова.

Председатель Организационного комитета: главный лучевой диагност СЗФО РФ и комитета по здравоохранению Санкт-Петербурга, член-корреспондент РАН, д.м.н., профессор Т. Н. Трофимова.

Основные темы конференции:

- Аномалии развития центральной нервной системы.
- Ишемический инсульт, искусственный интеллект, шкала ASPECTS.
- Молекулярное и мультипараметрическое картирование при раке молочной железы.
- Изомеризм и лучевая диагностика.
- Лучевая диагностика энцефалитов.
- Лучевая диагностика венозного инфаркта.
- Лучевая и радионуклидная диагностика нейроэндокринных опухолей.
- ПЭТ/КТ с ⁶⁸Ga — ПСМА: стадирование впервые выявленного рака предстательной железы.
- Стандарты лучевой диагностики поражений легких вирусной этиологии. Чему нас научила пандемия.

Планируется представление заявки на аккредитацию конференции Комиссией по оценке учебных мероприятий и материалов для непрерывного медицинского образования на соответствие установленным требованиям Министерства здравоохранения Российской Федерации (НМО).

УДК 616.37-006.2/-073.75

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-27-38>

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ КИСТОЗНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: КРИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПУБЛИКОВАННЫХ МЕТААНАЛИЗОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ СООБЩЕСТВ

¹А. А. Коваленко^{✉*}, ^{1,2}Г. Г. Кармазановский[✉]

¹Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского, Москва, Россия

²Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Кистозные образования поджелудочной железы (ПЖ) представлены гетерогенной группой доброкачественных и злокачественных изменений, различных по гистологическим, патоморфологическим и прогностическим признакам. Широкое внедрение и совершенствование методов лучевой диагностики повышает выявляемость кист ПЖ. Несмотря на современные диагностические методики, по-прежнему, актуальна и сложна проблема дифференцировки различных подтипов кист и поиска признаков малигнизации.

ЦЕЛЬ: Анализ международных публикаций, посвященных возможностям и трудностям дифференцировки кистозных образований ПЖ методами инвазивной и неинвазивной лучевой диагностики, анализ утвержденных рекомендаций по ведению пациентов с данной патологией, выявление предпосылок для использования текстурного анализа изображений в диагностике кистозных образований ПЖ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитических системах PubMed и Springer за период 2009–2023 гг. по ключевым словам: «pancreatic tumors» (опухоль ПЖ), «pancreatic cyst» (киста ПЖ), «pancreatic cystic lesion» (кистозное образование ПЖ), «pancreatic radiomics» (радиомика ПЖ), «intraductal papillary mucinous neoplasm» (внутрипротоковая папиллярная муцинозная опухоль), «pancreatic cystadenoma» (цистаденома ПЖ). Для анализа было отобрано 49 публикаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Несмотря на высокий потенциал современных методов неинвазивной диагностики в обнаружении кист ПЖ, до сих пор представляет большую трудность дифференцировка кистозных образований между собой. Существующим на данный момент руководствам недостает специфичности в дифференцировке кистозных образований, что требует поиска новых маркеров. На данный момент оценка потенциала малигнизации кист ПЖ сводится лишь к двум основным критериям — диаметру главного панкреатического протока (ГПП) и наличию васкуляризованного солидного компонента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Схожесть семиотики, ограниченность инвазивных методов диагностики, высокие риски рецидива и потенциала малигнизации при определенных подтипах кистозных неоплазий диктуют необходимость разработки и внедрения в практику новых диагностических методик, которые позволят более прецизионно оценивать структуру образований, точнее стратифицировать риски и отдаленный прогноз. Текстурный анализ изображений является новым и перспективным направлением неинвазивной лучевой диагностики и делает возможным оценку тех структурных параметров образований, суждение о которых невозможно по данным методов лучевой диагностики в их привычном виде, и позволяет в определенной степени нивелировать проблемы традиционного диагностического подхода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поджелудочная железа, кистозная опухоль, радиомика

*Для корреспонденции: Коваленко Анастасия Андреевна, e-mail: nastua_kovalenko@mail.ru

Для цитирования: Коваленко А.А., Кармазановский Г.Г. Предпосылки для использования текстурного анализа в дифференциальной диагностике кистозных образований поджелудочной железы: критическая оценка опубликованных метаанализов и рекомендаций международных сообществ // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 27–38, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-27-38>.

PRECONDITIONS FOR RADIOMICS-BASED APPROACH IN DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF PANCREATIC CYSTIC LESIONS: CRITICAL EVALUATION OF META-ANALYSES AND INTERNATIONAL GUIDELINES

¹Anastasia A. Kovalenko^{*}, ^{1,2}Grigory G. Karmazanovsky[®]

¹A. V. Vishnevsky Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russia

²Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Pancreatic cystic lesions (PCLs) are a heterogeneous group of lesions ranging from benign to malignant with variable histological, pathomorphological and prognostic characteristics. The development and improvement of radiation methods provides a great opportunity to diagnose such neoplasms. However, there are still difficulties in differential diagnosis and prediction malignant potential in pancreatic cyst subtypes due to their similar radiation characteristics.

OBJECTIVE: To determine the diagnostic performance and difficulties of differentiating PCLs by invasive and non-invasive radiological methods. To determine the preconditions for radiomics-based approach in differential diagnosis of pancreatic cystic lesions based on a review and analysis of international guidelines.

MATERIALS AND METHODS: We searched for scientific publications in the PubMed and Springer information and analytical systems for 2009–2023 by keywords: «pancreatic tumors», «pancreatic cyst», «pancreatic cystic lesion», «pancreatic radiomics», «intraductal papillary mucinous neoplasm», «pancreatic cystadenoma». As a result, 49 articles were selected for analysis.

RESULTS: Despite the high potential of modern non-invasive radiation methods in the detection of pancreatic cysts, differentiation of PCLs subtypes is still very difficult. Due to the variability of international guidelines and a lack of their specificity, there is no universal consensus for management PCLs. In this regard, introduction new alternative diagnostic methods and markers is an important direction of research. At the moment, the assessment of the malignant potential of PCLs is comes down to only two main signs — the main pancreatic duct diameter and the vascularized solid component.

CONCLUSION: Currently, common semiotic features, limitations of invasive diagnostic methods and increasing risks of recurrence and malignancy dictate the need to apply new diagnostic approaches to evaluation of PCLs. Searching and introduction new markers will allow us to analyze the lesion structure, to stratify risks and long-term prognosis more accurately. Textural image analysis is a new and promising noninvasive method with high power. This tool plays an important role to estimate those structural parameters which are impossible to judge according to the standard radiologic features, and to offset the problems of traditional diagnostic approach.

KEYWORDS: pancreas, cystic tumor, radiomics

^{*}For correspondence: Anastasia A. Kovalenko, e-mail: nastua_kovalenko@mail.ru

For citation: Kovalenko A.A., Karmazanovsky G.G. Preconditions for radiomics-based approach in differential diagnosis of pancreatic cystic lesions: critical evaluation of meta-analyses and international guidelines // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 27–38, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-27-38>.

Введение. Кистозные образования поджелудочной железы (ПЖ) представлены гетерогенной группой доброкачественных и злокачественных изменений, различных по гистологическим, патоморфологическим и прогностическим признакам. Спектр кистозных образований включает первично кистозные опухоли, кистозные образования неопухолевого происхождения и солидные опухоли с кистозной дегенерацией, и продемонстрирован в табл. 1 [1, 2]. Широкое внедрение и совершенствование методов лучевой диагностики повышает выявляемость кист ПЖ. От 8 до 50% кистозных образований ПЖ являются случайными находками [3, 4].

Несмотря на современные диагностические методики, по-прежнему актуальна и сложна проблема дифференцировки различных подтипов кист. У 17–25% пациентов, перенесших хирургическую резекцию по поводу предполагаемой муцинозной кистозной опухоли, обнаруживают доброкачественную кисту. В 25% случаев по результатам морфологического исследования кистозное образование не имеет

признаков злокачественности. До 78% муцинозных кист не обнаруживают дооперационно предполагаемых участков злокачественного роста [5].

Таким образом, специалисты диагностического профиля сталкиваются с проблемой не только дифференцировки подтипов кист, но и поиска признаков малигнизации. Все это может приводить как к гипо-, так и к гипердиагностике.

Цель. Провести анализ международных публикаций, посвященных возможностям и трудностям дифференцировки кистозных образований ПЖ методами инвазивной и неинвазивной лучевой диагностики, анализ утвержденных рекомендаций по ведению пациентов с данной патологией, выявление предпосылок для использования текстурного анализа изображений в диагностике кистозных образований ПЖ.

Материалы и методы. Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитических системах PubMed и Springer за период 2009–2023 гг. по ключевым словам: «pancreatic tumors» (опухоль ПЖ), «pancreatic cyst» (киста ПЖ), «pan-

Таблица 1

Обобщенная классификация кистозных образований поджелудочной железы в соответствии с патоморфологическим типом

Table 1

Generalized classification of pancreatic cystic lesions according to pathomorphological type

Группа	Представители
Эпителиальные неопластические	Муцинозные — ВПМО — Муцинозная цистаденома Немуцинозные — Серозная цистаденома/цистаденокарцинома — Кистозные НЭО — Ацинарноклеточная карцинома с кистозной дегенерацией — Кистозная форма протоковой АК — СППО — Кистозная гамартома — Кистозная тератома
Эпителиальные не неопластические	— Простая киста — Врожденная киста — Лимфоэпителиальная киста — Простая муцинозная киста — Ретенционная киста — Ацинарная кистозная трансформация
Неэпителиальные неопластические	— Лимфангиома — Саркома
Неэпителиальные не неопластические	— Псевдокиста — Паразитарная киста — Отграниченный некроз

Примечание: НЭО — нейроэндокринные опухоли; АК — аденокарцинома; СППО — солидно-псевдопапиллярная опухоль.

Note: НЭО — neuroendocrine tumors; АК — adenocarcinoma; СППО — solid pseudopapillary neoplasm.

creatic cystic lesion» (кистозное образование ПЖ), «pancreatic radiomics» (радиомика ПЖ), «intraductal papillary mucinous neoplasm» (внутрипротоковая папиллярная муцинозная опухоль), «pancreatic cystadenoma» (цистаденома ПЖ). Для анализа было отобрано 49 публикаций.

Результаты. Рост выявляемости кистозных образований коррелирует с увеличением числа инвазивных вмешательств, порой необоснованных, вплоть до резекционных пособий. Как известно, резекции ПЖ являются одними из самых сложных операций в абдоминальной хирургии и связаны со значительной частотой осложнений, достигающей 50% [6]. Высок показатель числа резекций условно доброкачественных кистозных образований ПЖ из-за ложноотрицательной оценки потенциала малигнизации (61%) [7]. Точность дооперационной диагностики муцинозной цистаденомы, имеющей наибольший потенциал злокачественного патоморфоза, достоверно ниже по сравнению с точностью предоперационной диагностики немучинозных кист и внутрипротоковой папиллярной муцинозной опухоли (ВПМО) 2-го типа (53,6% против 75%) [7].

Необходимо отметить, что течение большинства кист ПЖ индолентное. Часто симптомными являются муцинозные цистаденомы [8]. В ряде случаев обструкция протока муцином и последующий его разрыв могут вызывать клиническую картину острого панкреатита [9]. Достоверно чаще острый пан-

креатит возникает у пациентов с 1-м и 3-м типами ВПМО [10].

Разные морфологические типы кистозных неоплазий имеют отличный друг от друга потенциал малигнизации — наибольший риск представляют ВПМО 1-го типа и муцинозная цистаденома [11].

В настоящее время с целью стандартизации и оптимизации ведения пациентов с кистозными образованиями ПЖ утвержден целый ряд международных рекомендаций. Сводные данные по стратегическим критериям основных руководств представлены в табл. 2.

Текущие руководящие принципы в оценке стратификации рисков и прогнозирования потенциала злокачественности кист переменны и местами противоречивы.

Первые рекомендации по ведению пациентов с кистозными образованиями ПЖ датируются 2006 г. и одобрены на XII съезде Международной ассоциации панкреатологов в г. Сендае, Япония. По итогу пересмотренных Сендайских критериев были утверждены критерии Fukuoka (2012, 2017 гг.) [12]. Тогда же впервые была предпринята попытка стигматизации рисков с выделением двух подкатегорий признаков малигнизации: признаков высокого риска (high-risk stigmata) и тревожных признаков (worrisome features). Следует отметить, что консенсусные критерии Fukuoka разработаны в отношении ВПМО и не распространяются на другие гистологические типы неопластических кист.

Таблица 2
Table 2

Сравнительные данные по стратегическим критериям международным руководствам по диагностике и ведению пациентов с кистозными образованиями поджелудочной железы

Overview of pancreatic cystic neoplasm guidelines and recommendations

Показатели	Международная ассоциация панкреатологов 2017 (IAP 2017)	Американское общество гастроэнтерологов 2015 (AGA 2015)	Европейские рекомендации 2018 (Eureopan 2018)	Американский колледж радиологии 2017 (ACR 2017)
	2	3	4	5
Перечень образований	ВПМО	Бессимптомные кистозные неоплазии, за исключением СППО, проточной АК с кистозной дегенерацией, НЭО, ВПМО 1-го типа	Все кистозные неоплазии	Все случайно выявленные кисты
Метод утверждения	Разработано консенсусом экспертной группы на основании обзора литературы	Экспертная группа гастроэнтерологов комитета по клиническим рекомендациям Американской гастроэнтерологической ассоциации	Мультидисциплинарное общество гастроэнтерологов, хирургов, радиологов, онкологов, эндоскопистов и ученых	Мультидисциплинарное общество абдоминальных радиологов, гастроэнтерологов и хирургов-панкреатологов
Стратификация хирургического риска	Признаки высокого риска и тревожные признаки	—	Абсолютные и относительные показания	Признаки высокого риска и тревожные признаки
Показания к хирургическому лечению	Признаки высокого риска Пациенты до 65 лет с ВПМО 2 типа при размере кисты более 2 см	Наличие одновременно солидного компонента и расширенного панкреатического протока и/или тревожных признаков по данным ЭУЗИ и аспирационной биопсии	Относительные при ВПМО — ГПП 5–9,9 мм, размер кисты ≥ 4 см, рост кисты ≥ 5 мм/год, повышенный уровень СА 19–9 (>37 U/мл), васкуляризованный солидный узел < 5 мм, впервые выявленный диабет, клиническая картина острого панкреатита	—
			Абсолютные при ВПМО: желтуха, васкуляризованный солидный узел ≥ 5 мм, диаметр ГПП ≥ 10 мм, высокая степень дисплазии/карцинома по данным цитологии, ВПМО 1-го и 3-го типа	
			При муцинозных цистаденомах — размер ≥ 4 см или независимо от размера при наличии симптомов и факторов высокого риска (солидный узел)	
			При серозных цистаденомах в случае симптомов, обусловленных компрессией соседних органов	
			Все СППО	
			Кистозные НЭО > 2 см	

Продолжение таблицы 2				
1	2	3	4	5
Показания к ЭУЗИ	Тревожные признаки	Как минимум два критерия высокого риска — размер кисты ≥ 3 см, расширение ГПП, наличие солидного компонента Изменения кисты в динамике (появление солидного компонента, увеличение диаметра ГПП и размера кисты ≥ 3 см) На протяжении 5 лет (при отсутствии динамики размеров и структуры) После операции — каждые 2 года (если киста с дисплазией или инвазивным раком) Не наблюдать после операции — если киста без признаков высокой дисплазии или инвазивного рака	При наличии клинических или радиологических признаков, вызывающих беспокойство	Любая киста с признаками высокого риска или тревожными признаками
Конечная точка наблюдения	—	—	—	На протяжении 9–10 лет. Для пациентов ≥ 80 лет на протяжении 2 лет
Диаметр ГПП	Признак высокого риска ≥ 10 мм Тревожный признак 5–9,9 мм	Признак высокого риска, не утверждены количественные показатели диаметра протока	Абсолютный показатель ≥ 10 мм Относительный показатель 5–9,9 мм	Признак высокого риска ≥ 10 мм Тревожный признак ≥ 7 мм
Васкуляризованный солидный узел	Признак высокого риска ≥ 5 мм Тревожный признак < 5 мм	Признак высокого риска, не утверждены размеры солидного компонента	Абсолютный показатель ≥ 5 мм. Относительный показатель < 5 мм	Признак высокого риска, не утверждены размеры солидного компонента
Размер кисты	Тревожный признак ≥ 3 см	Признак высокого риска ≥ 3 см	Относительный/абсолютный показатель в зависимости от типа образования ≥ 4 см	Тревожный признак ≥ 3 см
Лимфаденопатия	Тревожный признак	—	—	—
Атрофия паренхимы ПЖ дистальнее образования	Тревожный признак	—	—	—
Скорость роста	Тревожный признак ≥ 5 мм/2 года	—	Относительный показатель ≥ 5 мм/год	Критерии роста: Для кист < 5 мм: увеличение максимального размера (на аксиальной или коронарной проекции) на 100% Для кист ≥ 5 мм и < 15 мм: увеличение максимального размера (на аксиальной или коронарной проекции) на 50% Для кист $\geq 1,5$ см: увеличение максимального размера (на аксиальной или коронарной проекции) на 20%
Желтуха	Признак высокого риска	—	Абсолютный показатель	Признак высокого риска

Окончание таблицы 2		5	4	3	2	1
Острый панкреатит		—			Тревожный признак	
Впервые выявленный диабет		—	Относительный показатель	—	—	
Повышенный уровень СА 19–9		—	Относительный показатель	—	Тревожный признак	

Именно в практических рекомендациях Американского общества гастроэнтерологов освещен вопрос конечной точки наблюдения за пациентами, согласно которому продолжительность наблюдения лимитируется 5 годами при условии стабильности состояния кисты [13].

В 2013 г. были разработаны Европейские рекомендации, по итогу пересмотра которых в 2018 г. был расширен список абсолютных показаний к хирургическому лечению [14].

Американский колледж радиологии впервые стратифицировал критерии роста в зависимости от исходного размера кисты [15]. Американское общество гастроэнтерологов, напротив, не регламентирует пограничные величины роста образования, которые могли бы служить отправными точками в разделении категорий пациентов [13].

В 2017 г. Американский колледж радиологии выпустил собственный всеобъемлющий набор рекомендаций по ведению случайно обнаруженных кист (инциденталом) ПЖ. Документ постулирует необходимость рассмотрения любой кисты ПЖ как муцинозной, пока не доказано обратное. В отличие от остальных руководств, в алгоритм данных рекомендаций включен возраст пациентов. Еще одним новшеством явилась стандартизация измерений кист и критериев их роста. Оценка размеров и динамики роста образования важна для коррекции частоты наблюдения и принятия решения о радикальном лечении. *Стандартизация параметров измерения повышает согласованность специалистов в оценке роста образований.* Измерение в соответствии с критериями RECIST представляются наиболее актуальными [16]. При больших размерах образования следует ожидать более низкую абсолютную точность измерений. Смена метода визуализации приводит к погрешностям до 6 мм [17].

Отличаются также рекомендации, касающиеся сроков послеоперационного наблюдения за пациентами. Так, Американское общество гастроэнтерологов рекомендует наблюдение за пациентами лишь в случае обнаружения в кисте при морфологическом исследовании участков высокой дисплазии/инвазивной карциномы [13]. В критериях Fukuoka и Европейских рекомендациях, напротив, не утверждены сроки динамического наблюдения [12, 14].

Ввиду завышенных критериев отбора рекомендации Американского общества гастроэнтерологов направлены на ограниченный спектр нозологий. Так, обсуждение данного документа нацелено исключительно на пациентов с бессимптомными неопластическими кистами, с исключением СППО, кистозных форм протоковой АК, НЭО и ВПМО 1-го типа [13].

В целом *большинство сообществ сходятся в том, что основными «красными флагами» являются следующие критерии: размер образования (более 3–4 см), наличие солидного компо-*

нента (≥ 5 мм), диаметр ГПП (≥ 10 мм) и скорость роста (≥ 5 мм в год/2 года) [12, 14, 15].

Все вышеизложенное доказывает необходимость дальнейшей валидации и разработки альтернативных подходов в диагностике кистозных образований ПЖ. Между группами экспертов нет согласия относительно ведения пациентов с неопластическими кистами ПЖ. В текущих руководящих принципах местами вариабельны и противоречивы подходы в отношении как диагностических критериев, так и необходимости и сроков динамического наблюдения [14, 15, 18, 19].

Представляет интерес недавно опубликованное исследование, посвященное оценке долгосрочного риска рецидива у пациентов в возрасте до 50 лет, оперированных по поводу ВПМО. Среди наблюдаемых 78 пациентов (медиана наблюдения 72 месяца) у 45% обнаружен злокачественный потенциал трансформации (высокая степень дисплазии/ассоциированность с карциномой). При этом у каждого пятого пациента из группы злокачественной трансформации имел место рецидив заболевания. Учитывая высокие показатели малигнизации и рецидива, авторами поднимается вопрос о необходимости выполнения превентивного хирургического вмешательства при ВПМО у пациентов с высокой ожидаемой продолжительностью жизни [20].

Нерешенным остается вопрос недооценки распространенности изменений при ВПМО. В 29% случаев при ВПМО 2-го типа, по данным морфологического исследования, обнаруживается вовлечение главного панкреатического протока, которое не было очевидным при предоперационной визуализации [21]. Наоборот, у трети пациентов с предполагаемым ВПМО 1-го типа, перенесших панкреатэктомию, опухолевые клетки обнаруживаются лишь в части железы. В связи со столь высоким риском необоснованного объема хирургического пособия целесообразно рассмотреть вопрос об оптимизации и этапности лечения — выполнении частичной резекции, интраоперационном срочном гистологическом исследовании среза и принятии решения о необходимости расширения объема операции [22].

Спектр диагностических возможностей в отношении кист ПЖ включает неинвазивные и инвазивные методы — КТ, МРТ, УЗИ, ЭУЗИ, ЭРХПГ. Определение морфологического типа кистозного образования (серозное/муцинозное) и поиск признаков злокачественной трансформации являются первоочередными диагностическими задачами.

С целью дифференцировки серозных и муцинозных кист, а также псевдокист возможно выполнение цитологического и биохимического исследования аспирата, полученного путем тонкоигольной аспирационной биопсии (ТАБ) под контролем ЭУЗИ [23]. Цитологический анализ имеет ограниченную

чувствительность (35–55%), но сравнительно высокую специфичность (83–100%) в диагностике муцинозных/злокачественных кист [23]. В целом малоклеточность аспирата, контаминация муцином и эпителием желудочно-кишечного тракта, перекрестные значения маркеров между различными подтипами кистозных образований ограничивают широкое внедрение данного метода в рутинную практику [12, 19, 23, 24].

В настоящее время активно обсуждаются возможности молекулярно-генетического анализа кистозного содержимого. В систематическом обзоре A. Gillis и соавт. (2015) оценены точность и возможные дополнительные преимущества молекулярного анализа аспирата в сравнении с цитологическим исследованием. Изолированная оценка молекулярно-генетического анализа и цитологического исследования показала низкую диагностическую точность, при этом чувствительность и специфичность составляют 42 и 99%, 39 и 95% соответственно. В качестве приоритетного рассматривается комбинированное использование данных методов, что требует дальнейшего изучения [25].

Также не существует биомаркера, который бы точно дифференцировал муцинозную цистаденому от ВПМО 2-го типа [8].

Таким образом, анализ кистозного содержимого находит ограниченное применение, относится к классу слабых рекомендаций и имеет низкий уровень доказательности в соответствии с современными международными рекомендациями.

Показатели диагностической точности КТ и МРТ в оценке кистозных образований ПЖ различны по данным разных источников. Согласно данным одного из мета-анализов [26], МРТ и КТ демонстрируют умеренную чувствительность и специфичность в дифференцировке доброкачественных и злокачественных кистозных образований ПЖ. Общая диагностическая точность МРТ, КТ и ЭУЗИ составляет 85, 75 и 81% соответственно. При этом показатели чувствительности и специфичности МРТ и КТ сопоставимы.

КТ и МРТ имеют эквивалентную значимость в выявлении признаков высокого риска ВПМО [27].

По данным другого мета-анализа [28], сравнение диагностического потенциала КТ, ПЭТ/КТ, МРТ/МРХПГ, ЭУЗИ и ДВИ показало, что наибольшую чувствительность (80%) и общую диагностическую точность (AUC 0,92) в дифференцировке ВПМО различного потенциала злокачественности демонстрирует именно ПЭТ/КТ. В свою очередь, КТ и МРТ/МРХПГ показывают промежуточные результаты (чувствительность 70 и 76%, AUC 0,8 и 0,87).

S. Zhu и соавт. (2019) изучили выявляемость кистозных образований ПЖ методами КТ и МРТ на большой выборке пациентов (более 2000 пациентов суммарно). МРТ показала большую чувствительность в обнаружении кист, в особенности небольших

(до 2 см). Частота хирургических резекций у пациентов, которым выполнена МРТ, выше, чем у обследованных методом КТ (55% и 37% соответственно), что, вероятно, обусловлено более точной оценкой морфологии кисты (благодаря высокой контрастности МРТ и режиму МРХПГ) и более прецизионным отбором для хирургического лечения [29].

На данный момент дифференциальная диагностика кистозных образований ПЖ базируется на оценке морфологических параметров кисты и клинико-анамнестических данных (табл. 3) [30]. Оцениваются такие семиотические характеристики, как размер камер, наличие перегородок, папиллярного и инфильтративного компонента, структура стенки, наличие кальцинатов, сообщение с протоком. Также оцениваются парапанкреатическая клетчатка и интактная паренхима железы.

По данным метаанализа J. Wu и соавт. (2019), включающего 21 исследование и 3723 пациента, показано, что критерии Fukuoka и Американского общества гастроэнтерологов имеют неудовлетворительную точность в предикции неопластического потенциала кистозных образований ПЖ: показатели чувствительности и специфичности для критериев Fukuoka и Американского общества гастроэнтерологов составляют 67 и 64%, 59 и 77% соответственно [31].

По-прежнему, ключевой представляется оценка протоковой системы и выявление связи новообразования с ней. Безусловно, МРТ и МРХПГ служат «золотым стандартом» в решении данной задачи [19]. Сообщение с протоком позволяет дифференцировать ВПМО от других типов кист, однако отсутствие сообщения не исключает ВПМО [32]. Напротив, сообщение кисты с ГПП не всегда указывает на неопластическую природу кисты. Так, по данным S. Nabashi и P. V. Draganov (2008) до 65% псевдокист могут сообщаться с протоковой системой [33].

Компрессионный эффект и ассоциированная эктазия протоков дистальнее образования могут приводить к формированию эрозии и истинного сообщения образования с ГПП [34]. Кистозное образование, ассоциированное с дистальным расширением ГПП, не исключает наличия серозной цистаденомы и ВПМО 2-го типа [30, 35].

Схожесть семиотики различных типов кистозных образований затрудняет их дифференциальную диагностику. Неотличимыми по данным методов визуализации являются макрокистозные типы — муцинозная цистаденома, макрокистозный тип серозной цистаденомы и ВПМО 2-го типа [36]. Практически четверть НЭО (21–26%) имеют в своей структуре кистозный компонент [37].

Кистозные образования ПЖ характеризуются скудным цитологическим материалом, внутренней гетерогенностью и неоднородностью степени дисплазии в различных участках, что потенциально

может снижать точность дооперационной инвазивной диагностики методом биопсии. Например, инвазивная карцинома на фоне ВПМО не всегда проявляется типичным солидным узлом [38].

Оценка характера жидкостной фракции методами лучевой диагностики затруднена. В ряде случаев по данным МРТ и сигнальным характеристикам возможно предположить муцинозный характер содержимого в образовании, что, однако, не является облигатным критерием [32].

Новым и перспективным направлением неинвазивной лучевой диагностики является радиомика. Концепция, лежащая в основе радиомики, заключается в количественной оценке структуры опухоли на основании распределения пикселей и вокселей серого в изображении [39].

Первичным этапом является сегментация КТ или МРТ-изображений с последующим автоматическим извлечением текстурных показателей. На настоящее время разработано бесплатное специализированное программное обеспечение (ПО), свободно доступное для скачивания в сети Интернет — например, ПО LifEx (<https://www.lifexsoft.org>), ПО 3D-Slicer (<https://www.slicer.org>).

Текстурный анализ делает возможным оценку тех параметров (показатели первого, второго и более высоких порядков, характеристики формы), суждение о которых невозможно по данным методов лучевой диагностики в их привычном виде, и позволяет в определенной степени нивелировать проблемы традиционного диагностического подхода [39].

Также с появлением радиомики стало возможным сопоставлять текстурные показатели изображений с генетическим профилем опухоли [40].

Большинство опубликованных работ о диагностическом потенциале радиомики при кистозных новообразованиях ПЖ посвящено дифференцировке серозных (в ряде случаев лишь макрокистозных форм) и муцинозных цистаденом, а также дифференцировке злокачественного потенциала ВПМО [41–43].

S. Jeon и соавт. (2021) показали, что добавление текстурных показателей в оценочный ряд к типичным стигматам малигнизации (солидный компонент, диаметр ГПП) повышает диагностические показатели в предикции малигнизации ВПМО [44].

A. N. Hanania и соавт. (2016) продемонстрировали возможности радиомики в дифференцировке злокачественного потенциала ВПМО в сравнении с классической оценкой признаков малигнизации по критериям Fukuoka [41]. Чувствительность и специфичность текстурного анализа в дифференцировке ВПМО low grade/high grade составляет 97% и 88%, AUC 0.96. При этом при изолированной оценке по критериям Fukuoka в 36% случаев обнаруживается ложноположительный результат.

Таблица 3
Основные морфологические характеристики разных типов кистозных образований поджелудочной железы
 (адаптировано из [30])

Table 3
Most important morphological characteristics in evaluation of pancreatic cystic lesions (adapted from [30])

Показатели	Серозная цистаденома		Муцинозная цистаденома	ВМПО 2-й тип	ВМПО 1-й тип
	микрокистозная	макрокистозная			
Морфологические характеристики	Микрокистозная, дольчатая, тонкие перегородки	Макрокистозная, унилокулярная, дольчатая, размер камер >20 мм	Макрокистозная, округлая, с перегородками	Макрокистозная, мультилокулярная, в виде «гроздьев винограда»	Расширение ГПП
Стенка	Тонкая	Тонкая	Толстая	Тонкая	Тонкая
Солидный компонент	–	–	+– предиктор малигнизации	+– предиктор малигнизации	+– предиктор малигнизации
Содержимое	Серозное	Серозное	Муцинозное, иногда геморрагическое	Муцинозное	Муцинозное
Частота кальцификации	30%	Редко	15%	Редко	Редко
Морфология кальцинатов	Центральное расположение (рубец)	–	Периферическое расположение по типу скорлупы	–	–
Количество образований	Иногда мультифокально	Унифокально	Унифокально	Иногда мультифокально	Унифокально
Наиболее частая локализация	Тело и хвост (60%), головка (40%)		Тело и хвост	Головка	–
ГПП	Иногда расширен		N	N	Расширен
Связь с протоковой системой	–	–	–	+	–
Потенциал малигнизации	–	–	+	+	+
Показатели	Псевдокиста	СППО	НЭО с кистозной дегенерацией	Лимфоэпителиальная киста	Эпидермоидная киста
Морфологические характеристики	Унилокулярная	Унилокулярная	Унилокулярная, макрокистозная, округлая	Унилокулярная, макрокистозная, иногда с перегородками	Унилокулярная
Стенка	Толстая	Толстая	Неравномерно утолщена	Толстая	Толстая
Солидный компонент	–	+– не всегда предиктор малигнизации	+–	+–	Кератиновый компонент
Содержимое	Геморрагическое, с детритом	Геморрагическое	Некротический компонент	Вариабельное количество зернистого кератинового компонента, жира	Вариабельное количество зернистого кератинового компонента
Частота кальцификации	Редко	30%	Редко	Редко	Редко
Морфология кальцинатов	–	Периферическое расположение, точечное	Дистрофическая кальцификация, обычно в крупных и гормонально неактивных образованиях	Периферическое, слабовыраженное	–
Количество образований	–	Унифокально	Иногда мультифокально	Унифокально	Унифокально
Наиболее частая локализация	Любая	Головка	Любая	Любая	Хвост
ГПП	Расширен	N	N	N	N
Связь с протоковой системой	+–	–	–	–	–
Потенциал малигнизации	–	+	+	–	–

Актуальным является поиск наиболее типичных текстурных показателей для дифференцировки тех или иных подтипов кист. В исследовании S. Jeon и соавт. (2021) на основе анализа МРХПГ в итоговую модель по определению потенциала малигнизации ВПМО отобраны лишь два текстурных показателя — показатель первого порядка (энтропия) и показатель формы (компактность) [44]. Считается, что большая энтропия и меньшая компактность образования характерны для ВПМО с дисплазией высокой степени и/или ассоциированных с карциномой. Подобные результаты вполне ожидаемы. Известно, что показатель энтропии отражает степень гетерогенности опухоли и потому напрямую коррелирует со степенью злокачественности. Показатель компактности, между тем, отражает степень приближенности формы опухоли к сфере и меньше в ВПМО 1-го типа, обладающих, как известно большим потенциалом малигнизации [44]. J. Permut и соавт. (2016) при анализе КТ-изображений выявили различия между ВМПО разного потенциала малигнизации не только в энтропии и показателях формы, но также и в показателях второго и более высокого порядка [45]. Напротив, в исследовании A. N. Napania и соавт. (2016) показаны возможности дифференцировки ВМПО более высокого грейда лишь на основании текстурных показателей второго порядка артериальной фазы исследования (матрица смежности уровней серого, Gray-Level Co-Occurrence Matrix, GLCM) [41].

Текстурные показатели высокого порядка (Intensity T-range, Wavelet features) позволяют наилучшим образом дифференцировать серозные и несерозные кистозные образования ПЖ в условиях оценки артериальной/венозной фазы контрастирования [46, 47].

Впечатляют показатели эффективности текстурного анализа в классификации разных подтипов кистозных неоплазий ПЖ — ВПМО, серозной цистаденомы, муцинозной цистаденомы, СППО и кистозных НЭО (AUC 0,94) [48].

Неизученным остается вопрос дифференцировки эпителиальных и неэпителиальных новообразований (в особенности псевдокист), а также разных типов ВПМО между собой. На эту тему нами найдено лишь одно исследование [49], основанное на результатах МРТ и включающее в рабочую группу пациентов с неэпителиальными образованиями (псевдокистами и ограниченным некрозом).

Следует отметить, что аналогичные исследования по данным КТ на настоящий момент отсутствуют.

Интерес представляет поиск наиболее точных текстурных показателей в различные фазы сканирования. Большинство опубликованных работ основаны на сегментации образований в одну из фаз контрастного усиления, и ни в одном из исследований не проводилось сегментации всех четырех фаз сканирования (нативной, артериальной, венозной и отсроченной).

Другим потенциальным профилем для изучения является оценка воспроизводимости текстурных показателей при различных условиях предварительной обработки изображений и в ее отсутствие. В настоящее время требуется разработка не утвержденных на данный момент единых стандартизованных подходов к сегментации изображений и извлечению текстурных показателей.

Заключение. Несмотря на высокий потенциал современных методов неинвазивной диагностики в обнаружении кист ПЖ, до сих пор представляет большую трудность дифференцировка кистозных образований между собой. Существующим на данный момент руководствам недостает специфичности в дифференцировке кистозных образований, что требует поиска новых маркеров.

На данный момент оценка потенциала малигнизации кист ПЖ сводится лишь к двум основным критериям — диаметру ГПП и наличию васкуляризованного солидного компонента. Схожесть симптоматики, ограниченность инвазивных методов диагностики, высокие риски рецидива и потенциала малигнизации при определенных подтипах кистозных неоплазий диктуют необходимость в разработке и внедрении в практику новых диагностических методик, которые позволят более прецизионно оценивать структуру образований, точнее стратифицировать риски и отдаленный прогноз.

В этом отношении новым и перспективным направлением является текстурный анализ диагностических изображений. Для успешной интеграции данного направления в алгоритм ведения пациентов перед радиомикой стоят следующие задачи: стандартизация подходов к предварительной обработке изображений, сегментации образований и извлечению текстурных показателей; диагностика образований с наибольшим потенциалом малигнизации (муцинозных цистаденом и ВПМО) и дифференцировка эпителиальных и неэпителиальных кист между собой.

Сведения об авторах:

Коваленко Анастасия Андреевна — ординатор по специальности «Рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Большая Серпуховская ул., д. 27; e-mail: nastua_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0001-8276-3594;

Кармазановский Григорий Григорьевич — доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, заведующий отделом лучевых методов диагностики и лечения федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Большая Серпуховская ул., д. 27; профессор кафедры лучевой диагностики и терапии медико-биологического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117321, Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: karmazanovskiy@yandex.ru; ORCID 0000-0002-9357-0998.

Information about authors:

Anastasia A. Kovalenko — intern-radiologist of the Radiology department «A. V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery» of the Ministry of Health of Russia; 115093, Moscow, ul. Bolshaya Serpukhovskaya, 27; e-mail: nastua_kovalenko@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8276-3594;

Grigory G. Karmazanovsky — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Radiology department «A. V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery» of the Ministry of Health of Russia, 115093, Moscow, ul. Bolshaya Serpukhovskaya, 27, professor of Radiology department of MBF of Pirogov Russian National Research Medical University, e-mail: karmazanovsky@yandex.ru; ORCID 0000-0002-9357-0998.

Вклад авторов: все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и дизайн исследования — Г.Г. Кармазановский; сбор и анализ данных, подготовка рукописи — А.А. Коваленко.

Authors' contributions: All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution GKG aided in the concept and plan of the study; AAK provided collection and analysis of data, preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the authors declare no conflicts of interest.

Поступила/Received: 07.08.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Ozaki K., Ikeno H., Kaizaki Y. et al. Pearls and pitfalls of imaging features of pancreatic cystic lesions: a case-based approach with imaging-pathologic correlation // *Jpn. J. Radiol.* 2021. Vol. 39, No. 2. P. 118–142. doi: 10.1007/s11604-020-01032-1.
- Kloth C., Hagggenmüller B., Beck A. et al. Diagnostic, Structured Classification and Therapeutic Approach in Cystic Pancreatic Lesions: Systematic Findings with Regard to the European Guidelines // *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 454. doi: 10.3390/diagnostics13030454.
- Zerboni G., Signoretto M., Crippa S., Falconi M., Arcidiacono P.G., Capurso G. Systematic review and meta-analysis: Prevalence of incidentally detected pancreatic cystic lesions in asymptomatic individuals // *Pancreatology*. 2019. Vol. 19, No. 1. P. 2–9. doi: 10.1016/j.pan.2018.11.014.
- Valsangkar N.P., Morales-Oyarvide V., Thayer S.P. et al. 851 resected cystic tumors of the pancreas: a 33-year experience at the Massachusetts General Hospital // *Surgery*. 2012. Vol. 152, No. 3, Suppl 1. P. 4–12. doi: 10.1016/j.surg.2012.05.033.
- Springer S., Masica D.L., Dal Molin M. et al. A multimodality test to guide the management of patients with a pancreatic cyst // *Sci. Transl. Med.* 2019. Vol. 11, No 501. doi: 10.1126/scitranslmed.aav4772.
- Javed A.A. et al. Pancreatic Fistula and Delayed Gastric Emptying After Pancreatectomy: Where do We Stand? // *Indian J. Surg.* 2015. Vol. 77, No. 5. P. 409–425. doi: 10.1007/s12262-015-1366-9.
- De Pretis N., Mukewar S., Aryal-Khanal A., Bi Y., Takahashi N., Chari S. Pancreatic cysts: Diagnostic accuracy and risk of inappropriate resections // *Pancreatology*. 2017. Vol. 17, No. 2. P. 267–272. doi: 10.1016/j.pan.2017.01.002.
- Larson A., Kwon R.S. Natural History of Pancreatic Cysts // *Dig. Dis. Sci.* 2017. Vol. 62, No. 7. P. 1770–1777. doi: 10.1007/s10620-017-4542-x.
- Hata T., Sakata N., Okada T. et al. Dilated papilla with mucin extrusion is a potential predictor of acute pancreatitis associated with intraductal papillary mucinous neoplasms of pancreas // *Pancreatology*. 2013. Vol. 13, No. 6. P. 615–620. doi: 10.1016/j.pan.2013.09.003.
- Jang J.W., Kim M.H., Jeong S.U. et al. Clinical characteristics of intraductal papillary mucinous neoplasm manifesting as acute pancreatitis or acute recurrent pancreatitis // *J. Gastroenterol. Hepatol.* 2013. Vol. 28, No. 4. P. 731–738. doi: 10.1111/jgh.12121.
- Yoon J.G., Smith D., Ojili V., Paspulati R.M., Ramaiya N.H., Tirumani S.H. Pancreatic cystic neoplasms: a review of current recommendations for surveillance and management // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2021. Vol. 46, No. 8. P. 3946–3962. doi: 10.1007/s00261-021-03030-x.
- Tanaka M., Fernández-Del Castillo C., Kamisawa T. et al. Revisions of international consensus Fukuko guidelines for the management of IPMN of the pancreas // *Pancreatology*. 2017. Vol. 17, No. 5. P. 738–753. doi: 10.1016/j.pan.2017.07.007.
- Vege S.S., Ziring B., Jain R., Moayyedi P. Clinical Guidelines Committee; American Gastroenterology Association. American gastroenterological association institute guideline on the diagnosis and management of asymptomatic neoplastic pancreatic cysts // *Gastroenterology*. 2015. Vol. 148, No. 4. P. 819–822. doi: 10.1053/j.gastro.2015.01.015.
- European Study Group on Cystic Tumours of the Pancreas. European evidence-based guidelines on pancreatic cystic neoplasms // *Gut*. 2018. Vol. 67, No. 5. P. 789–804. doi: 10.1136/gutjnl-2018-316027.
- Megibow A.J., Baker M.E., Morgan D.E. et al. Management of Incidental Pancreatic Cysts: A White Paper of the ACR Incidental Findings Committee // *J. Am. Coll. Radiol.* 2017. Vol. 14, No. 7. P. 911–923. doi: 10.1016/j.jacr.2017.03.010.
- Dunn D.P., Brook O.R., Brook A. et al. Measurement of pancreatic cystic lesions on magnetic resonance imaging: efficacy of standards in reducing inter-observer variability // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2016. Vol. 41, No. 3. P. 500–507. doi: 10.1007/s00261-015-0588-4.
- Boos J., Brook A., Chingko C.M. et al. MDCT vs. MRI for incidental pancreatic cysts: measurement variability and impact on clinical management // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 2. P. 521–530. doi: 10.1007/s00261-016-0883-8.
- Takakura K., Torisu Y., Kinoshita Y. et al. An Appraisal of Current Guidelines for Managing Malignancy in Pancreatic Intraductal Papillary Mucinous Neoplasm // *JOP*. 2018. Vol. 19, No. 4. P. 178–182.
- Elta G.H., Enestvedt B.K., Sauer B.G., Lennon A.M. ACG Clinical Guideline: Diagnosis and Management of Pancreatic Cysts // *Am. J. Gastroenterol.* 2018. Vol. 113, No. 4. P. 464–479. doi: 10.1038/ajg.2018.14.
- Kaiser J., Hackert T., Hinze U. et al. Surgery for intraductal papillary mucinous neoplasms in young patients: High-risk population // *Surgery*. 2023. Vol. 174, No. 2. P. 330–336. doi: 10.1016/j.surg.2023.04.045.
- Fritz S., Klaus M., Bergmann F. et al. Pancreatic main-duct involvement in branch-duct IPMNs: an underestimated risk // *Ann. Surg.* 2014. Vol. 260, No. 5. P. 848–856. doi: 10.1097/SLA.0000000000000980.
- Crippa S., Pergolini I., Rubini C. et al. Risk of misdiagnosis and overtreatment in patients with main pancreatic duct dilatation and suspected combined/main-duct intraductal papillary mucinous neoplasms // *Surgery*. 2016. Vol. 159, No. 4. P. 1041–1049. doi: 10.1016/j.surg.2015.11.003.
- Boot C. A review of pancreatic cyst fluid analysis in the differential diagnosis of pancreatic cyst lesions // *Ann. Clin. Biochem.* 2014. Vol. 51, No. 2. P. 151–166. doi: 10.1177/0004563213503819.
- Abdelkader A., Hunt B., Hartley C.P., Panarelli N.C., Giordagze T. Cystic Lesions of the Pancreas: Differential Diagnosis and Cytologic-Histologic Correlation // *Arch. Pathol. Lab. Med.* 2020. Vol. 144, No. 1. P. 47–61. doi: 10.5858/arpa.2019-0308-RA.
- Gillis A., Cipollone I., Cousins G., Conlon K. Does EUS-FNA molecular analysis carry additional value when compared to cytology in the diagnosis of pancreatic cystic neoplasm? A systematic review // *HPB (Oxford)*. 2015. Vol. 17, No. 5. P. 377–386. doi: 10.1111/hpb.12364.
- Udare A., Agarwal M., Alabousi M. et al. Diagnostic Accuracy of MRI for Differentiation of Benign and Malignant Pancreatic Cystic Lesions Compared to CT and Endoscopic Ultrasound: Systematic Review and Meta-analysis // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2021. Vol. 54, No. 4. P. 1126–1137. doi: 10.1002/jmri.27606.
- Kang H.J., Lee J.M., Joo I. et al. Assessment of Malignant Potential in Intraductal Papillary Mucinous Neoplasms of the Pancreas: Comparison between Multidetector CT and MR Imaging with MR Cholangiopancreatography // *Radiology*. 2016. Vol. 279, No. 1. P. 128–139. doi: 10.1148/radiol.2015150217.
- Liu H., Cui Y., Shao J., Shao Z., Su F., Li Y. The diagnostic role of CT, MRI/MRCP, PET/CT, EUS and DWI in the differentiation of benign and malignant IPMN: A meta-analysis // *Clin Imaging*. 2021. Vol. 72. P. 183–193. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.11.018.
- Zhu S., Wang W.T., Shang X.S. et al. Difference analysis in prevalence of incidental pancreatic cystic lesions between computed tomography and magnetic resonance imaging // *BMC Med. Imaging*. 2019. Vol. 19, No. 1. P. 43–52. doi: 10.1186/s12880-019-0341-5.

30. Ozaki K., Ikeno H., Kaizaki Y. et al. Pearls and pitfalls of imaging features of pancreatic cystic lesions: a case-based approach with imaging-pathologic correlation // *Jpn. J. Radiol.* 2021. Vol. 39, No. 2. P. 118–142. doi: 10.1007/s11604-020-01032-1.
31. Wu J., Wang Y., Li Z. et al. Accuracy of Fukuoka and American Gastroenterological Association Guidelines for Predicting Advanced Neoplasia in Pancreatic Cyst Neoplasm: A Meta-Analysis // *Ann. Surg. Oncol.* 2019. Vol. 26, No. 13. P. 4522–4536. <https://doi.org/10.1245/s10434-019-07921-8>.
32. Mamone G., Barresi L., Tropea A., Di Piazza A., Miraglia R. MRI of mucinous pancreatic cystic lesions: a new updated morphological approach for the differential diagnosis // *Updates Surg.* 2020. Vol. 72, No. 3. P. 617–637. doi: 10.1007/s13304-020-00800-y.
33. Habashi S., Draganov P.V. Pancreatic pseudocyst // *World J. Gastroenterol.* 2009. Vol. 15, No. 1. P. 38–47. doi: 10.3748/wjg.15.38.
34. Park M., Lee J., Kim Y. et al. Pancreatic serous cystic neoplasm mimicking intraductal papillary mucinous neoplasm: Two case reports and literature review // *Medicine (Baltimore)*. 2023. Vol. 102, No. 5. doi: 10.1097/MD.00000000000032820.
35. Amico E.C., Alves J.R., de Araújo Lima Liguori A., Sousa R.L. Serous Pancreatic Cystadenoma with Compression of Wirsung's Duct // *J. Gastrointest. Surg.* 2019. Vol. 23, No. 1. P. 176–178. doi: 10.1007/s11605-018-3794-x.
36. Ishigami K., Nishie A., Mochidome N. et al. Mucinous nonneoplastic cyst of the pancreas: CT and MRI appearances // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 12. P. 2827–2834. doi: 10.1007/s00261-017-1204-6.
37. Karmazanovsky G., Belousova E., Schima W., Glotov A., Kalinin D., Kriger A. Nonhypervascular pancreatic neuroendocrine tumors: Spectrum of MDCT imaging findings and differentiation from pancreatic ductal adenocarcinoma // *Eur. J. Radiol.* 2019. Vol. 110. P. 66–73. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.04.006.
38. Koshita S., Fujita N., Noda Y. et al. Invasive carcinoma derived from «flat type» branch duct intraductal papillary mucinous neoplasms of the pancreas: impact of classification according to the height of mural nodule on endoscopic ultrasonography // *J. Hepatobiliary Pancreat. Sci.* 2015. Vol. 22, No. 4. P. 301–309. doi: 10.1002/jhpb.199.
39. Karmazanovsky G., Gruzdev I., Tikhonova V. et al. Computed tomography-based radiomics approach in pancreatic tumors characterization // *Radiol. Med.* 2021. Vol. 126. P. 1388–1395. doi: 10.1007/s11547-021-01405-0.
40. Dalal V., Carmichael J., Dhaliwal A., Jain M., Kaur S., Batra S.K. Radiomics in stratification of pancreatic cystic lesions: Machine learning in action // *Cancer Lett.* 2020. Vol. 469. P. 228–237. doi: 10.1016/j.canlet.2019.10.023.
41. Hanania A.N., Bantis L.E., Feng Z. et al. Quantitative imaging to evaluate malignant potential of IPMNs // *Oncotarget*. 2016. Vol. 7, No. 52. P. 85776–85784. doi: 10.18632/oncotarget.11769.
42. Yang J., Guo X., Ou X., Zhang W., Ma X. Discrimination of Pancreatic Serous Cystadenomas From Mucinous Cystadenomas With CT Textural Features: Based on Machine Learning // *Front Oncol.* 2019. Vol. 9, No. 494. doi: 10.3389/fonc.2019.00494.
43. Xie H., Ma S., Guo X., Zhang X., Wang X. Preoperative differentiation of pancreatic mucinous cystic neoplasm from macrocystic serous cystic adenoma using radiomics: Preliminary findings and comparison with radiological model // *Eur. J. Radiol.* 2020. Vol. 122. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.108747.
44. Jeon S.K., Kim J.H., Yoo J. et al. Assessment of malignant potential in intraductal papillary mucinous neoplasms of the pancreas using MR findings and texture analysis // *Eur. Radiol.* 2021. Vol. 31, No. 5. P. 3394–3404. doi: 10.1007/s00330-020-07425-0.
45. Permuth JB, Choi J, Balarunathan Y. et al. Combining radiomic features with a miRNA classifier may improve prediction of malignant pathology for pancreatic intraductal papillary mucinous neoplasms // *Oncotarget*. 2016. Vol. 7, No. 52. doi: 10.18632/oncotarget.11768.
46. Liang W., Tian W., Wang Y. et al. Classification prediction of pancreatic cystic neoplasms based on radiomics deep learning models // *BMC Cancer*. 2022. Vol. 22, No. 1. doi: 10.1186/s12885-022-10273-4.
47. Wei R., Lin K., Yan W. et al. Computer-Aided Diagnosis of Pancreas Serous Cystic Neoplasms: A Radiomics Method on Preoperative MDCT Images // *Technol. Cancer Res. Treat.* 2019. Vol. 18. doi: 10.1177/1533033818824339.
48. Chu L.C., Park S., Soleimani S. et al. Classification of pancreatic cystic neoplasms using radiomic feature analysis is equivalent to an experienced academic radiologist: a step toward computer-augmented diagnostics for radiologists // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2022. Vol. 47, No. 12. P. 4139–4150. doi: 10.1007/s00261-022-03663-6.
49. Ștefan P.A., Lupean R.A., Lebovici A. et al. Quantitative MRI of Pancreatic Cystic Lesions: A New Diagnostic Approach // *Healthcare (Basel)*. 2022. Vol. 10, No. 6. doi: 10.3390/healthcare10061039.

БИБЛИОТЕКА ЖУРНАЛА «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ»



Руководство для врачей предназначено для подготовки врачей — лучевых диагностов и врачей-клиницистов по вопросам современных подходов к получению и анализу лучевых изображений в соответствии с критериями, принятыми в международной клинической практике, а также требованиями, предъявляемыми к формированию структурированных отчетов. Такой подход обеспечивает повышение качества выполняемых исследований, интерпретации изображений и достоверности заключений, а также способствует улучшению междисциплинарной коммуникации. Настоящее издание является логическим продолжением руководств для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений» (2017), «Современные классификации RADS и принципы построения заключения» (2018), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения» (2019), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и алгоритмы построения заключения» (2020, 2021, 2022). При его подготовке были использованы материалы, обсуждавшиеся на одноименной Международной ежегодной телеконференции 13 декабря 2022 г. в Санкт-Петербурге.

Руководство для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения. Том VII» может использоваться для подготовки в системе последипломного и дополнительного профессионального образования, а также в системе ОМС и ДМС для контроля качества оказываемой медицинской помощи.

Приобрести книгу можно

по тел.: +7 (812) 956-92-55 и на сайте издательства <https://www.bmoc-spb.ru/>

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL RESEARCH

УДК 616.13-004.6-06:616.12-008-053.84

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-39-45>**ЭХОГЕННОСТЬ КАРОТИДНЫХ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИХ БЛЯШЕК КАК ПРЕДИКТОР НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ СОБЫТИЙ У ПАЦИЕНТОВ 40–64 ЛЕТ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

В. В. Генкель^{✉*}, А. С. Кузнецова[✉], Е. В. Лебедев[✉], А. О. Салашенко[✉], А. Ю. Савочкина[✉], В. А. Сумеркина[✉],
К. В. Никушкина[✉], Л. Р. Пыхова[✉], И. И. Шапошник[✉]

Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Неинвазивная оценка морфологии каротидных атеросклеротических бляшек (АСБ) представляет собой перспективное направление, позволяющее оптимизировать не только оценку риска сердечно-сосудистых событий, но и отбор пациентов для реваскуляризации сонных артерий. Определение эхогенности АСБ посредством GSM-анализа может быть использовано в рамках мультипараметрической оценки нестабильности АСБ и прогнозирования неблагоприятных сердечно-сосудистых событий.

ЦЕЛЬ: Оценить предиктивную ценность эхогенности каротидных атеросклеротических бляшек в отношении развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов 40–64 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В исследование был включен 191 пациент с каротидным атеросклерозом в возрасте 40–64 лет. Всем пациентам проводили дуплексное сканирование артерий каротидного бассейна с определением эхогенности каротидных АСБ. Комбинированная конечная точка (ККТ) состояла из следующих возможных событий: нефатальный инфаркт миокарда или нестабильная стенокардия, нефатальный инсульт, коронарную реваскуляризацию или реваскуляризацию периферических артерий, смерть от сердечно-сосудистых причин. Сбор данных о наступлении ККТ, проводили во время повторных визитов и с помощью медицинских информационных систем.

Статистика: Анализ данных проводили с помощью программного обеспечения MedCalc (версия 20.216). Для описания номинальных данных использовали частоты и проценты, для количественных данных медиану и квартили. Для оценки вероятности развития событий, составляющих комбинированную конечную точку, применяли метод анализа выживаемости Каплана–Майера. С целью оценки риска наступления события и влияния независимых переменных на указанный риск применяли регрессионный анализ Кокса.

РЕЗУЛЬТАТЫ: По результатам корреляционного анализа эхогенность каротидных АСБ (GSM) обратно коррелировала с ИМТ ($r = -0,355$; $p < 0,0001$), окружностью талии ($r = -0,337$; $p < 0,0001$), уровнем триглицеридов ($r = -0,163$; $p = 0,027$), мочевой кислотой ($r = -0,188$; $p = 0,028$). Длительность периода наблюдения составляла 15,1 (12,2; 22,9) мес. События, составляющие ККТ, произошли у 15 (7,85%) пациентов: нефатальный инфаркт миокарда — у 2 (1,05%) пациентов, нефатальный инсульт — у 2 (1,05%), реваскуляризация миокарда — у 6 (3,14%), нестабильная стенокардия — у 5 (2,61%) пациентов. Наличие каротидных АСБ с эхогенностью ≤ 39 усл.ед. позволяло прогнозировать развитие событий, составляющих ККТ, с чувствительностью 53,3% и специфичностью 80,7%. По результатам анализа выживаемости Каплана–Мейера было установлено, что кумулятивная выживаемость пациентов, имеющих каротидные АСБ с эхогенностью ≤ 39 усл.ед., была статистически значимо ниже, в сравнении с пациентами, имеющими каротидные АСБ с эхогенностью > 39 усл.ед.

ОБСУЖДЕНИЕ: Необходимо отметить, что в представленном исследовании снижение эхогенности каротидных АСБ было связано с риском неблагоприятных сердечно-сосудистых событий только в простой модели и модели с поправкой на пол и возраст, но не в модели с полной поправкой. Вероятно, это может быть связано с тем, что эхогенность АСБ тесно связана с кумулятивным бременем кардиоваскулярных факторов риска, что было показано в том числе в более ранних исследованиях. Вероятно, комбинированная оценка бремени каротидного атеросклероза и морфологических особенностей АСБ может быть наиболее перспективным подходом к получению дополнительной прогностической информации у пациентов с каротидным атеросклерозом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Среди пациентов с каротидным атеросклерозом 40–64 лет наличие АСБ с эхогенностью ≤ 39 усл. ед. ассоциировалось с увеличением относительного риска развития событий, составляющих комбинированную конечную точку в 3,44 (95% ДИ 1,19–9,91) раза после поправки на пол и возраст.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экзогенность атеросклеротических бляшек, GSM-анализ, сердечно-сосудистые события, каротидный атеросклероз

*Для корреспонденции: Генкель Вадим Викторович, e-mail: henkel-07@mail.ru

Для цитирования: Генкель В.В., Кузнецова А.С., Лебедев Е.В., Салашенко А.О., Савочкина А.Ю., Сумеркина В.А., Никушкина К.В., Пыхова Л.Р., Шапошник И.И. Экзогенность каротидных атеросклеротических бляшек как предиктор неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов 40–64 лет: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 39–45, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-39-45>.

ECHOGENICITY OF CAROTID ATHEROSCLEROTIC PLAQUES AS A PREDICTOR OF ADVERSE CARDIOVASCULAR EVENTS IN PATIENTS AGED 40–64: PROSPECTIVE STUDY

Vadim V. Genkel[✉], Alla S. Kuznetsova[✉], Evgeny V. Lebedev[✉], Alexey O. Salashenko[✉],
Albina Yu. Savochkina[✉], Veronika A. Sumerkina[✉], Karina V. Nikushkina[✉], Lyubov R. Pykhova[✉],
Igor I. Shaposhnik[✉]

South-Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

INTRODUCTION: Noninvasive assessment of carotid atherosclerotic plaque (CAP) morphology represents a promising direction, allowing to optimize not only cardiovascular event risk assessment, but also the selection of patients for carotid revascularization. Determination of CAP echogenicity by means of GSM-analysis can be used as part of multiparametric assessment of CAP instability and prediction of adverse cardiovascular events.

OBJECTIVE: To assess the predictive value of echogenicity of carotid atherosclerotic plaques in relation to the development of adverse cardiovascular events in patients 40–64 years old.

MATERIALS AND METHODS: The study included 191 patients with carotid atherosclerosis aged 40–64 years. All patients underwent duplex scanning of the arteries of the carotid basin with determination of the echogenicity of carotid ASBs. The combined end point (CEP) consisted of the following possible events: nonfatal myocardial infarction or unstable angina, nonfatal stroke, coronary revascularization or peripheral artery revascularization, and death from cardiovascular causes. Data on the onset of CVD were collected during follow-up visits and using medical information systems.

Statistics: Data were analyzed using MedCalc software (version 20.216). Frequencies and percentages were used to describe nominal data, and medians and quartiles were used for quantitative data. The Kaplan-Meier survival analysis method was used to estimate the probability of events constituting the combined endpoint. Cox regression analysis was used to estimate the risk of the event and the influence of independent variables on the risk.

RESULTS: By correlation analysis, carotid AP echogenicity (GSM) was inversely correlated with BMI ($r = -0.355$; $p < 0.0001$), waist circumference ($r = -0.37$; $p < 0.0001$), triglyceride levels ($r = -0.163$; $p = 0.027$), uric acid ($r = -0.188$; $p = 0.028$). The duration of the follow-up period was 15.1 (12.2; 22.9) months. Events constituting CEP occurred in 15 (7.85%) patients: nonfatal myocardial infarction in 2 (1.05%) patients, nonfatal stroke in 2 (1.05%) patients, myocardial revascularization in 6 (3.14%) patients, unstable angina in 5 (2.61%) patients. The presence of carotid AP with echogenicity ≤ 39 conventional units allowed predicting the development of events constituting CEP with sensitivity of 53.3% and specificity of 80.7%. Kaplan-Meier survival analysis revealed that cumulative survival of patients with carotid AP with echogenicity ≤ 39 conventional units was statistically significantly lower compared to patients with carotid ASB with echogenicity > 39 conventional units.

DISCUSSION: It should be noted that in the presented study, decreased echogenicity of carotid AP was associated with the risk of adverse cardiovascular events only in the simple and sex- and age-adjusted models, but not in the full-adjusted model. It is likely that this may be due to the fact that the echogenicity of CAP is closely related to the cumulative burden of cardiovascular risk factors, which has been shown in earlier studies including. Probably, combined assessment of carotid atherosclerosis burden and morphological features of CAP may be the most promising approach to obtain additional prognostic information in patients with carotid atherosclerosis.

CONCLUSION: Among patients with carotid atherosclerosis 40–64 years old, the presence of ACS with echogenicity ≤ 39 conventional units was associated with a 3.44 (95% CI 1.19–9.91) fold increase in the relative risk of events constituting the combined endpoint after adjusting for sex and age.

KEYWORDS: echogenicity of atherosclerotic plaques, GSM analysis, cardiovascular events, carotid atherosclerosis

*For correspondence: Vadim V. Genkel, e-mail: henkel-07@mail.ru

For citation: Genkel V.V., Kuznetsova A.S., Lebedev E.V., Salashenko A.O., Savochkina A.Yu., Sumerkina V.A., Nikushkina K.V., Pykhova L.R., Shaposhnik I.I. Echogenicity of carotid atherosclerotic plaques as a predictor of adverse cardiovascular events in patients aged 40–64: prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 39–45, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-39-45>.

Введение. Широкое применение дуплексного сканирования (ДС) сонных артерий с целью уточнения сердечно-сосудистого риска (ССР) в рамках первичной кардиоваскулярной профилактики делает целесообразным внедрение в клиническую практику подходов к прогнозированию неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, основанных на количественной и качественной оценке каротидного атеросклероза [1]. Неинвазивная оценка морфологии каротидных атеросклеротических бляшек (АСБ) представляет собой перспективное направление, позволяющее оптимизировать не только оценку риска сердечно-сосудистых событий, но и отбор пациентов для реваскуляризации сонных артерий [2]. Целый ряд клинических исследований убедительно продемонстрировал возможности ультразвуковой морфологии АСБ репрезентировать ее гистоморфологические особенности [3]. В свою очередь, анализ медианы серой шкалы (gray scale median, GSM) является инструментом объективного анализа эхогенности АСБ и также позволяет репрезентировать тканевый состав АСБ и идентифицировать признаки, свидетельствующие о «нестабильности» атеромы [4].

Определение эхогенности АСБ (общей или сегментарной) посредством GSM-анализа может быть использовано в рамках мультипараметрической оценки нестабильности АСБ и прогнозирования неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [5]. Результаты немногочисленных проспективных исследований позволили установить, что наличие гипоехогенных каротидных АСБ, определяемых по снижению GSM, было взаимосвязано с ростом относительного риска (ОР) неблагоприятных кардиоваскулярных событий у больных с сахарным диабетом (СД) 2-го типа, рестеноза — у пациентов после каротидной эндартерэктомии, инсульта — после стентирования сонных артерий [6–8]. Согласно консенсусному мнению экспертов, требуется дальнейшее изучение роли GSM-анализа АСБ в целях оценки ССР [1].

Цель. Оценить предиктивную ценность эхогенности каротидных атеросклеротических бляшек в отношении развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов 40–64 лет.

Материалы и методы. Дизайн исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО ЮУГМУ (протокол № 10 от 27.10.2018). Участниками стали мужчины и женщины, подписавшие добровольное информированное согласие, в возрасте от 40 до 64 лет.

В исследование не включали пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения, острым коронарным синдромом, нарушением функции почек (скорость клубочковой фильтрации (СКФ) менее 30 мл/мин/1,73 м²), циррозом печени, злокачественными новообразованиями, психическими заболеваниями, злоупотреблением алкоголем и психоактивными веществами.

Комбинированная конечная точка (ККТ) состояла из следующих возможных событий: нефатальный инфаркт миокарда или нестабильная стенокардия, нефатальный инсульт, коронарная реваскуляризация или реваскуляризация периферических артерий, смерть от сердечно-сосудистых причин. Сбор данных о наступлении ККТ проводили во время повторных визитов и с помощью медицинских информационных систем.

Всем пациентам проводили ДС артерий каротидного бассейна с определением эхогенности каротидных АСБ. Протокол исследования и методика проведения GSM-анализа были подробно описаны нами ранее [9].

Лабораторно проводили оценку следующих параметров: общий холестерин (ОХС), холестерин липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП), холестерин липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), триглицериды (ТГ), гликированный гемоглобин, глюкоза (венозная кровь), высокочувствительный С-реактивный белок (вчСРБ), мочевиная кислота, креатинин (с последующим определением СКФ по формуле СКД-EPI).

Статистический анализ данных проводили с помощью программного обеспечения MedCalc (версия 20.216). Для описания номинальных данных использовали частоты и проценты, для количественных данных медиану и квартили. Для оценки вероятности развития событий, составляющих комбинированную конечную точку, применяли метод анализа выживаемости Каплана–Майера. Наблюдение принималось за «цензурированное», в том случае, если к моменту окончания проспективной фазы исследования не было зарегистрировано неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. С целью оценки риска наступления события и влияния независимых переменных на указанный риск применяли регрессионный анализ Кокса. Критический уровень значимости p для всех используемых процедур статистического анализа данных принимали равным 0,05.

Результаты. В исследование был включен 191 пациент с каротидным атеросклерозом в возрасте 40–64 лет. Очень высокий ССР установлен у 36 (18,8%) пациентов, высокий — у 155 (81,2%) пациентов. Клиническая характеристика пациентов представлена в таблице.

По результатам корреляционного анализа эхогенность каротидных АСБ (GSM) обратно коррелировала с ИМТ ($r = -0,355$; $p < 0,0001$), окружностью талии ($r = -0,337$; $p < 0,0001$), уровнем ТГ ($r = -0,163$; $p = 0,027$), мочевиной кислотой ($r = -0,188$; $p = 0,028$).

Длительность периода наблюдения составляла 15,1 (12,2; 22,9) месяцев. События, составляющие ККТ, произошли у 15 (7,85%) пациентов: нефатальный инфаркт миокарда — у 2 (1,05%) пациентов, нефатальный инсульт — у 2 (1,05%), реваскуляризация миокарда — у 6 (3,14%), нестабильная стенокардия — у 5 (2,61%) пациентов.

Характеристика пациентов, включенных в исследование

Table 1

Characteristics of patients included in the study

Показатель	Пациенты (n=191)
Возраст, годы, Me (ИИ)	51,0 (47,0; 58,0)
Мужчины/женщины, абс. ч. (%)	95 (49,7)/96 (50,3)
Индекс массы тела, кг/м ² , Me (ИИ)	27,5 (24,5; 30,3)
Ожирение, абс. ч. (%)	54 (28,3)
Абдоминальное ожирение, абс. ч. (%)	108 (56,5)
Курение, абс. ч. (%)	34 (17,8)
Ишемическая болезнь сердца, абс. ч. (%)	24 (12,6)
Постинфарктный кардиосклероз (ПИК), абс. ч. (%)	13 (6,80)
Реваскуляризация миокарда, абс. ч. (%)	13 (6,80)
Сахарный диабет 2-го типа, абс. ч. (%)	14 (7,30)
Артериальная гипертензия, абс. ч. (%)	117 (61,2)
Дезагреганты, абс. ч. (%)	40 (20,9)
Бета-адреноблокаторы, абс. ч. (%)	39 (20,4)
Ингибиторы РААС, абс. ч. (%)	67 (35,1)
Диуретики, абс. ч. (%)	21 (11,0)
Статины, абс. ч. (%)	52 (27,2)
Пероральные сахароснижающие препараты, абс. ч. (%)	12 (6,28)
Общий холестерин, ммоль/л, Me (ИИ)	5,94 (4,88; 6,77)
Холестерин липопротеинов низкой плотности, ммоль/л, Me (ИИ)	3,73 (2,94; 4,61)
Холестерин липопротеинов высокой плотности, ммоль/л, Me (ИИ)	1,35 (1,15; 1,61)
Триглицериды, ммоль/л, Me (ИИ)	1,30 (0,95; 1,90)
вчСРБ, мг/л, Me (ИИ)	1,89 (0,86; 2,76)
Мочевая кислота, мкмоль/л, Me (ИИ)	306,1 (227,7; 373,0)
Глюкоза, ммоль/л, Me (ИИ)	5,40 (4,94; 6,10)
Гликированный гемоглобин, %, Me (ИИ)	5,63 (5,24; 6,05)
Скорость клубочковой фильтрации, мл/мин/1,73 м ² , Me (ИИ)	71,0 (63,0; 88,0)
Максимальный стеноз сонных артерий, %, Me (ИИ)	26,0 (23,3; 35,0)
Стенозы сонных артерий ≥50%, абс. ч. (%)	17 (8,90)
GSM, усл.ед., Me (ИИ)	61,0 (44,0; 81,0)
GSM ≤39 усл.ед., абс. ч. (%)	42 (22,0)

Примечания: ИМТ — индекс массы тела; СД — сахарный диабет; РААС — ренин-ангиотензин-альдостероновая система; ОХС — общий холестерин; ХС ЛПНП — холестерин липопротеинов низкой плотности; ХС ЛПВП — холестерин липопротеинов высокой плотности; ТГ — триглицериды; вчСРБ — высокочувствительный С-реактивный белок; СКФ — скорость клубочковой фильтрации; АСБ — атеросклеротическая бляшка; GSM — gray scale median.

Note: BMI, body mass index; DM, diabetes mellitus; RAAS, renin-angiotensin-aldosterone system; TSH, total cholesterol; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol; HDL — high-density lipoprotein cholesterol; TG — triglycerides; hsCRP — high-sensitivity C-reactive protein; GFR — glomerular filtration rate; ALS — atherosclerotic plaque; GSM — gray scale median.

С целью определения пороговых значений GSM, позволяющих прогнозировать развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, проведен ROC-анализ (рис. 1).

Таким образом, наличие каротидных АСБ с эктогенностью ≤39 усл.ед. позволяло прогнозировать развитие событий, составляющих ККТ, с чувствительностью 53,3% и специфичностью 80,7% (предсказательная ценность положительного результата — 19,0%, предсказательная ценность отрицательного результата — 95,3%).

По результатам анализа выживаемости Каплана–Мейера установлено, что кумулятивная выживаемость пациентов, имеющих каротидные АСБ с эктогенностью ≤39 усл.ед., была статистически значимо ниже в сравнении с пациентами, имеющими каротидные АСБ с эктогенностью >39 усл.ед. (рис. 2).

По данным регрессионного анализа Кокса снижение GSM ≤39 усл.ед. ассоциировалось с увеличением относительного риска развития событий, составляющих ККТ, в 3,47 (95% ДИ 1,25–9,62) раза, а после поправки на пол и возраст — в 3,44 (95%

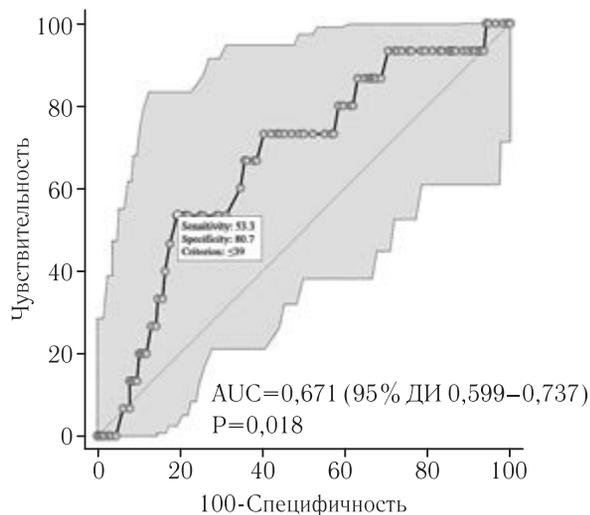


Рис. 1. ROC-кривая, демонстрирующая диагностическую ценность GSM в отношении развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий

Fig. 1. ROC curve demonstrating the diagnostic value of GSM with respect to the development of adverse cardiovascular events

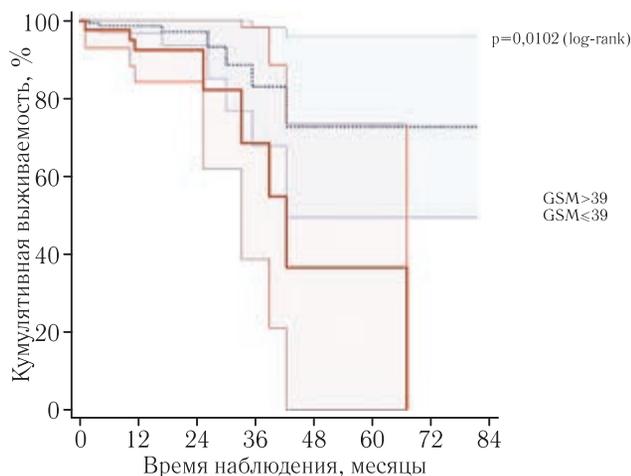


Рис. 2. Кривые Каплана–Мейера, демонстрирующие кумулятивную выживаемость пациентов в зависимости от эхогенности каротидных атеросклеротических бляшек

Fig. 2. Kaplan–Meier curves showing the cumulative survival rate of patients depending on the echogenicity of carotid atherosclerotic plaques

ДИ 1,19–9,91) раза. Однако в модели с полной поправкой (пол, возраст, АГ, ИБС, курение, ожирение, СД 2-го типа, уровень ОХС, глюкозы и СКФ) влияние GSM на риск развития неблагоприятных событий становилось статистически незначимым (ОР 3,03; 95% ДИ 0,56–16,3; $p=0,195$).

Обсуждение. Поиск сывороточных маркеров нестабильности АСБ, а также неинвазивная визуализация атеросклероза с оценкой неблагоприятных морфологических особенностей АСБ могут способствовать внедрению персонифицированных подходов к стратификации ССР и прогнозированию сердечно-сосудистых катастроф [10, 11]. Исследование эхогенности АСБ методом GSM-анализа позволит с минимальной зависимостью от оператора идентифицировать гипо-

эхогенные атеромы, наличие которых связано с увеличением риска сердечно-сосудистых событий [12]. Представленное исследование позволило установить прогностическую значимость определения эхогенности АСБ у пациентов с каротидным атеросклерозом 40–64 лет (AUC 0,671; $p=0,018$). Так, наличие каротидных АСБ с эхогенностью ≤ 39 усл. ед. ассоциировалось с увеличением относительного риска развития событий, составляющих ККТ, в 3,44 (95% ДИ 1,19–9,91) раза после поправки на пол и возраст. С другой стороны, в модели с полной поправкой влияние эхогенности АСБ на риск развития неблагоприятных событий становилось статистически незначимым.

Ранее в исследовании K. Ariyoshi и соавт. было показано, что в группе пациентов с СД 2-го типа наличие каротидных АСБ с эхогенностью < 32 усл. ед. связано с увеличением ОР инфаркта миокарда, инсульта или нового случая стенокардии в 7,73 раза ($p=0,014$) [6]. Динамическое снижение эхогенности каротидных АСБ также может являться предиктором неблагоприятных сердечно-сосудистых событий и, кроме того, служить индикатором адекватности мер кардиоваскулярной профилактики. Так, в работе Д. А. Гучаевой и соавт. у пациентов с острым коронарным синдромом снижение эхогенности каротидных АСБ через 12–18 мес более чем на 6,96% ассоциировалось с увеличением ОР ККТ (смерть от кардиальных причин, нефатальный инфаркт миокарда или ишемический инсульт, обострение ИБС, требующее госпитализации, незапланированной реваскуляризации миокарда) в 2,16 раза (95% ДИ 1,3–3,5; $p=0,009$) [13]. Наряду с этим в работе F. Khan и соавт. была показана взаимосвязь между эхогенностью АСБ и биомаркерами прогрессирования каротидного атеросклероза: положительная взаимосвязь между GSM АСБ сонных артерий и концентрацией тромбоцитарного фактора роста (PDGF) ($r=0,37$; $p<0,001$) и фактором роста гепатоцитов (HGF) ($r=0,20$; $p<0,001$) и отрицательная взаимосвязь с макрофагальным воспалительным протеином-1 α (MIP1- α) ($r=-0,09$, $p=0,004$) и рецептором 2 TRAIL — лиганда семейства TNF, индуцирующего апоптоз (TRAIL receptor-2) ($r=-0,11$, $p<0,001$) [14]. Кроме того, этапная оценка эхогенности АСБ после развития кардиоваскулярного события позволяет оценить процессы ремоделирования АСБ в динамике. Так P. Martínez-Sánchez и соавт. выявили достоверное увеличение эхогенности каротидных АСБ после развития ОНМК в динамике от 24 ч до 7 дней (значения GSM АСБ увеличились с 14,0 до 22,5) [15].

Необходимо отметить, что в представленном исследовании снижение эхогенности каротидных АСБ было связано с риском неблагоприятных сердечно-сосудистых событий только в простой модели и модели с поправкой на пол и возраст, но не в модели с полной поправкой. Это может быть связано с тем, что эхогенность АСБ тесно связана с кумулятивным бременем кардиоваскулярных факторов риска, что было показа-

но в том числе в более ранних исследованиях [16]. Вероятно, комбинированная оценка бремени каротидного атеросклероза и морфологических особенностей АСБ может быть наиболее перспективным подходом к получению дополнительной прогностической информации у пациентов с каротидным атеросклерозом [17].

Заключение. Среди пациентов с каротидным атеросклерозом 40–64 лет наличие АСБ с экзогенностью ≤ 39 усл. ед. ассоциировалось с увеличением относительного риска развития событий, составляющих ККТ, в 3,44 (95% ДИ 1,19–9,91) раза после поправки на пол и возраст.

Сведения об авторах:

Генкель Вадим Викторович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: henkel-07@mail.ru; ORCID 0000–0001–5902–3803;

Кузнецова Алла Сергеевна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: kuzja321@mail.ru; ORCID 0000–0002–1136–7284;

Лебедев Евгений Владимирович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: evgueni.lebedev@mail.ru; ORCID 0000–0002–7954–2990;

Салашенко Алексей Олегович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: salachenko@hotmail.com; ORCID 0000–0003–3962–3662;

Савочкина Альбина Юрьевна — доктор медицинских наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии, главный научный сотрудник НИИ иммунологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: alina7423@mail.ru; ORCID 0000–0002–0536–0924;

Сумеркина Вероника Андреевна — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник ЦНИЛ федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: veronika.sumerkina@mail.ru; ORCID 0000–0003–4842–0875;

Никушкина Карина Викторовна — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник НИИ иммунологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: knikushkina81@gmail.com; ORCID 0000–0002–3900–9278;

Пыхова Любовь Романовна — старший преподаватель кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: lyubov_pykhova@mail.ru; ORCID 0000–0003–0658–7626;

Шапошник Игорь Иосифович — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой Пропедевтики внутренних болезней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 454048, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64; e-mail: shaposhnik@yandex.ru; ORCID 0000–0002–7731–7730.

Information about the authors:

Vadim V. Genkel — Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Department of Propaedeutics of Internal Medicine, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: henkel-07@mail.ru; ORCID 0000–0001–5902–3803;

Alla S. Kuznetsova — Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Department of Clinical Therapy, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: kuzja321@mail.ru; ORCID 0000–0002–1136–7284;

Evgeny V. Lebedev — Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Department of Propaedeutics of Internal Medicine, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: evgueni.lebedev@mail.ru; ORCID 0000–0002–7954–2990;

Alexey O. Salashenko — Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Department of Propaedeutics of Internal Medicine, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: salachenko@hotmail.com; ORCID 0000–0003–3962–3662;

Albina Y. Savochkina — Dr. of Sci. (Med.), Professor of Department of Clinical Laboratory Diagnostics, Principal Researcher of Research Institution of Immunology, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: alina7423@mail.ru; ORCID 0000–0002–0536–0924;

Veronika A. Sumerkina — Cand. of Sci. (Med.), Leading Researcher of Research Institution of Immunology, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: veronika.sumerkina@mail.ru; ORCID 0000–0003–4842–0875;

Karina V. Nikushkina — Cand. of Sci. (Med.), Leading Researcher of Research Institution of Immunology, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: knikushkina81@gmail.com; ORCID 0000–0002–3900–9278;

Lyubov R. Pykhova — Senior Lecturer of Department of Microbiology, Virology, Immunology, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: lyubov_pykhova@mail.ru; ORCID 0000–0003–0658–7626;

Igor I. Shaposhnik — Dr. of Sci. (Med.), professor, head of the Department of Propaedeutics of Internal Medicine, South-Ural State Medical University; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str., 64; e-mail: shaposhnik@yandex.ru; ORCID 0000–0002–7731–7730.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *В.В.Генкель, И.И.Шапошник*; сбор и математический анализ данных — *В.В.Генкель, А.С.Кузнецова, Е.В.Лебедев, А.О.Салашенко, А.Ю.Савочкина, В.А.Сумеркина, К.В.Никушкина, Л.Р.Пыхова*; подготовка рукописи — *В.В.Генкель, А.С.Кузнецова*.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: *VVG, IISh*; aided in the concept and plan of the study; *VVG, ASK, EVL, AOS, AYs, VAS, KVN, LRP* provided collection and mathematical analysis of data; *VVG, ASK* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Adherence to conflict of interests: The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики: исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО ЮУГМУ (протокол № 10 от 27.10.2018). Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: the study was approved by the local ethics committee of the Federal State Educational Institution of Higher Education South-Ural State Medical University (Protocol No. 10 of 27.10.2018). Informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 11.05.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Johri A.M., Nambi V., Naqvi T.Z., Feinstein S.B., Kim E.S.H., Park M.M., Becher H., Sillesen H. Recommendations for the Assessment of Carotid Arterial Plaque by Ultrasound for the Characterization of Atherosclerosis and Evaluation of Cardiovascular Risk: From the American Society of Echocardiography // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020. Vol. 33, No. 8. P. 917–933. doi: 10.1016/j.echo.2020.04.021.
- Saba L., Brinjikji W., Spence J.D., Wintermark M., Castillo M., de Borst G.J., Yang Q., Yuan C., Buckler A., Edjlali M., Saam T., Saloner D., Lal B.K., Capodanno D., Sun J., Balu N., Naylor R., Lugt A.V.D., Wasserman B.A., Kooi M.E., Wardlaw J., Gillard J., Lanzino G., Hedin U., Mikulis D., Gupta A., DeMarco J.K., Hess C., Goethem J.V., Hatsukami T., Rothwell P., Brown M.M., Moody A.R. Roadmap Consensus on Carotid Artery Plaque Imaging and Impact on Therapy Strategies and Guidelines: An International, Multispecialty, Expert Review and Position Statement // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2021. Vol. 42, No. 9. P. 1566–1575. doi: 10.3174/ajnr.A7223.
- Mitchell C.C., Stein J.H., Cook TD., Salamat S., Wang X., Varghese T., Jackson D.C., Sandoval Garcia C., Wilbrand SM., Dempsey RJ. Histopathologic Validation of Grayscale Carotid Plaque Characteristics Related to Plaque Vulnerability // *Ultrasound Med. Biol.* 2017. Vol. 43, No. 1. P. 129–137. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.08.011.
- Mitchell C. Grayscale Analysis of Carotid Plaque: An Overview // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019. Vol. 2, No. 8, pp. A21–A22. doi: 10.1016/j.echo.2019.06.007.
- Goudot G., Khider L., Pedreira O., Poree J., Julia P., Alsac J.M., Amemiya K., Bruneval P., Messas E., Pernot M., Mirault T. Innovative Multiparametric Characterization of Carotid Plaque Vulnerability by Ultrasound // *Front Physiol.* 2020. Vol. 11, pp. 157. doi: 10.3389/fphys.2020.00157.
- Ariyoshi K., Okuya S., Kunitsugu I., Matsunaga K., Nagao Y., Nomiya R., Takeda K., Tanizawa Y. Ultrasound analysis of gray-scale median value of carotid plaques is a useful reference index for cerebro-cardiovascular events in patients with type 2 diabetes // *J. Diabetes Investig.* 2015. Vol. 6, No. 1. P. 91–97. doi: 10.1111/jdi.12242.
- Li Q., Liu B., Zhao Y., Liu Y., Gao M., Jia L., Jiao L., Hua Y. Echolucent carotid plaque is associated with restenosis after carotid endarterectomy // *J. Neurosurg.* 2020. Vol. 134, No. 3, pp. 1203–1209. doi: 10.3171/2020.2.JNS193397.
- Biasi G.M., Froio A., Diethrich E.B., Deleo G., Galimberti S., Mingazzini P., Nicolaidis A.N., Griffin M., Raithel D., Reid D.B., Valsecchi M.G. Carotid plaque echolucency increases the risk of stroke in carotid stenting: the Imaging in Carotid Angioplasty and Risk of Stroke (ICAROS) study // *Circulation.* 2004. Vol. 110, No. 6. P. 756–762. doi: 10.1161/01.CIR.0000138103.91187.E3.
- Генкель В.В., Кузнецова А.С., Лебедев Е.В., Шапошник И.И. Факторы, связанные с экзогенностью атеросклеротических бляшек, у пациентов в возрасте 40–64 лет с каротидным атеросклерозом // *Кардиология.* 2021; Т. 61, № 6, С. 35–40. [Genkel V.V., Kuznetsova A.S., Lebedev E.V., Shaposhnik I.I. Factors associated with echogenicity of atherosclerotic plaques in patients aged 40–64 years with carotid atherosclerosis. *Cardiology*, 2021, Vol. 61, No. 6, pp. 35–40 (In Russ.)].
- Стахнёва Е.М., Каштанова Е.В., Полонская Я.В., Стрюкова Е.В., Шрамко В.С., Садовский Е.В., Кургузов А.В., Мурашов И.С., Чернявский А.М., Рагино Ю.И. Изучение ассоциаций белков в крови с наличием нестабильных атеросклеротических бляшек в коронарных артериях методом количественной протеомики // *Бюллетень сибирской медицины.* 2022. Т. 21, № 4. С. 121–129. [Stakhnova Ye.M., Kashtanova Ye.V., Polonskaya Ya.V., Stryukova Ye.V., Shramko V.S., Sadovsky Ye.V., Kurguzov A.V., Murashov I.S., Chernyavsky A.M., Ragino Yu.I. Study of protein associations in blood with unstable atherosclerotic plaques in coronary arteries by quantitative proteomics. *Bulletin of Siberian Medicine*, 2022, Vol. 21, No. 4, pp. 121–129 (In Russ.)].
- Hafiane A. Vulnerable Plaque, Characteristics, Detection, and Potential Therapies // *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2019. Vol. 6, No. 3. P. 26. doi: 10.3390/jcdd6030026.
- Zhu G., Hom J., Li Y., Jiang B., Rodriguez F., Fleischmann D., Saloner D., Porcu M., Zhang Y., Saba L., Wintermark M. Carotid plaque imaging and the risk of atherosclerotic cardiovascular disease // *Cardiovasc. Diagn. Ther.* 2020. Vol. 10, No. 4. P. 1048–1067. doi: 10.21037/cdt.2020.03.10.
- Гучаева Д.А., Трипотень М.И., Погорелова О.А., Хеймец Г.И., Шахнович Р.М., Балахоннова Т.В. Эхогенность атеросклеротических бляшек в сонных артериях у больных с острым коронарным синдромом и ее влияние на прогноз сердечно-сосудистых событий // *Российский кардиологический журнал.* 2019, Т. 24, № 5. С. 30–36. [Guchaeva D.A., Tripoteny M.I., Pogorelova O.A., Heimets G.I., Shakhnovich R.M., Balakhonova T.V. Echogenicity of atherosclerotic plaques in the carotid arteries in patients with acute coronary syndrome and its impact on the prognosis of cardiovascular events // *Russian Journal of Cardiology*, 2019, Vol. 24, No. 5, pp. 30–36 (In Russ.)].
- Khan F., Gonçalves I., Shore A.C., Natali A., Palombo C., Colhoun H.M., Östling G., Casanova F., Kennbäck C., Aizawa K., Persson M., Gooding K.M., Strain D., Looker H., Dove F., Belch J., Pinnola S., Venturi E., Kozakova M., Nilsson J. Plaque characteristics and biomarkers predicting regression and progression of carotid atherosclerosis // *Cell Rep. Med.* 2022. Vol. 19, No. 3. P. 100676. doi: 10.1016/j.xcrm.2022.100676.
- Martínez-Sánchez P., Fernández-Domínguez J., Ruiz-Ares G., Fuentes B., Alexandrov A.V., Díez-Tejedor E. Changes in carotid plaque echogenicity with time since the stroke onset: an early marker of plaque remodeling? // *Ultrasound Med. Biol.* 2012. Vol. 38, No. 2, pp. 231–237. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2011.10.025.
- Della-Morte D., Dong C., Crisby M., Gardener H., Cabral D., Elkind MSV., Gutierrez J., Sacco RL., Rundek T. Association of Carotid Plaque Morphology and Glycemic and Lipid Parameters in the Northern Manhattan Study // *Front Cardiovasc. Med.* 2022. Vol. 9. P. 793755. doi: 10.3389/fcvm.2022.793755.
- Brunner G., Virani S.S., Sun W., Liu L., Dodge R.C., Nambi V., Coresh J., Mosley T.H., Sharrett A.R., Boerwinkle E., Ballantyne C.M., Wasserman B.A. Associations Between Carotid Artery Plaque Burden, Plaque Characteristics, and Cardiovascular Events: The ARIC Carotid Magnetic Resonance Imaging Study // *JAMA Cardiol.* 2021. Vol. 6, No. 1. P. 79–86. doi: 10.1001/jamacardio.2020.5573.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

Объединенный каталог «Пресса России» 42177

УДК 616-073.65:616-12.7

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-46-52>

МЕТОДИКА ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ЭЛЕКТРОДА В ПРОВОДЯЩУЮ СИСТЕМУ СЕРДЦА: АСПЕКТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

М. С. Медведь^{✉*}, С. Д. Рудь[✉], Г. Е. Труфанов[✉], Д. С. Лебедев[✉]

Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Стимуляция проводящей системы сердца (ПСС) активно входит в мировую практику. С целью снижения количества нецелевых имплантаций разработан «Способ интраоперационной визуализации и контроля положения электрода для постоянной электрокардиостимуляции при имплантации электрода в ПСС», основанный на интеграции в систему ангиографа трехмерной реконструкции сердца по данным компьютерной томографии (КТ) в виде маски на фоне флюороскопии. Важным этапом методики интраоперационной визуализации (МИВ) является КТ.

ЦЕЛЬ: Изучение возможностей применения протокола КТ-исследования сердца с контрастированием для построения трехмерной частично сегментированной реконструкции сердца на ангиографическом комплексе для последующего использования при имплантации электрода в ПСС в рамках авторской МИВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В рамках разработки МИВ из собственной базы данных отобраны 21 КТ-исследования сердца: шаг градиента перепада плотностей контрастированной крови около 10 HU, диапазон перепада денситометрических показателей левый желудочек (ЛЖ) — правый желудочек (ПЖ) от 0 HU до 200 HU, а также 11 КТ-исследований сердца: шаг градиента перепада денситометрических показателей контрастированной крови в полости ЛЖ — миокард около 10 HU, диапазон от 0 HU до 100 HU. Все КТ исследования поочередно загружены в ангиограф с последующим созданием 3D-модели сердца с помощью базового программного обеспечения.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Для выполнения частичной сегментации на левые и правые камеры 3D-модели сердца в ангиографическом комплексе, который не имеет специализированного модуля сегментации, необходимо превышение степени контрастирования полости ЛЖ над полостью ПЖ не менее 80 HU. При меньшем градиенте при «подавлении» сигнала от контрастированной крови в полости правого желудочка (ПЖ) происходит исчезновение достаточно большой части полости левого желудочка (ЛЖ) за счет частичного совпадения плотностей. Минимальный градиент полость ПЖ — миокард не менее 20 HU. При меньшем градиенте контрастирования не визуализируются границы правожелудочкового края межжелудочковой перегородки (МЖП), что является важным при определении места внедрения электрода в МЖП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Для выполнения частичной сегментации на левые и правые камеры 3D-модели сердца в ангиографическом комплексе, который не имеет специализированного модуля сегментации необходимо превышение денситометрических показателей контрастированной крови в полостях ЛЖ над ПЖ не менее 80 HU, полости ПЖ над миокардом не менее 20 HU.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компьютерная томография, трехмерная интраоперационная визуализация, стимуляция проводящей системы сердца

*Для корреспонденции: Медведь Михаил Сергеевич, e-mail: medved_mikhail@mail.ru

Для цитирования: Медведь М.С., Рудь С.Д., Труфанов Г.Е., Лебедев Д.С. Методика интраоперационной визуализации при имплантации электрода в проводящую систему сердца: аспекты компьютерной томографии: ретроспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023, Т. 14, № 3. С. 46–52, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-46-52>.

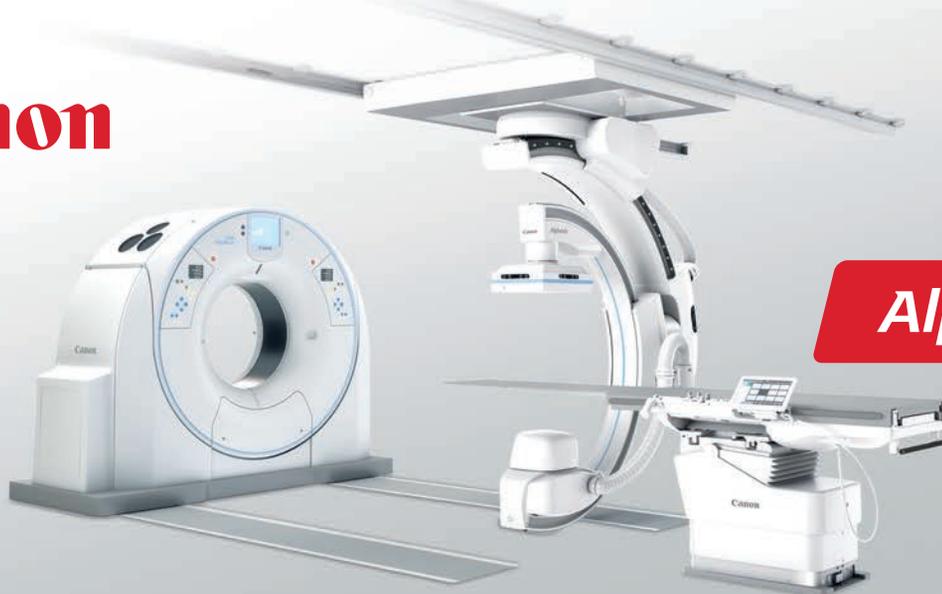
THE INTRAOPERATIVE VISUALISATION TECHNIQUE DURING LEAD IMPLANTATION INTO THE CARDIAC CONDUCTIVE SYSTEM: ASPECTS OF COMPUTED TOMOGRAPHY: PROSPECTIVE STUDY

Mikhail S. Medved^{✉*}, Sergey D. Rud[✉], Gennady E. Trufanov[✉], Dmitry S. Lebedev[✉]

Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

© Авторы, 2023. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

Canon



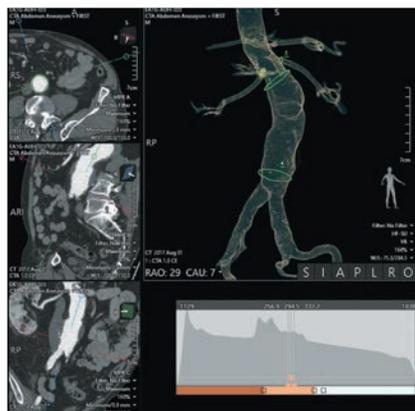
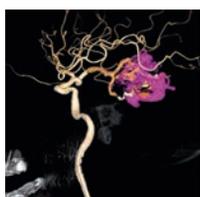
Alphenix 4D CT

Гибридная
Ангио КТ
система

Alphenix 4D CT или Ангио КТ — новый виток гибридизации технологий на стыке специальностей

Современные технологии в медицине направлены на повышение эффективности оказания помощи пациентам и зачастую подразумевают комбинацию клинических решений. Такой подход основан на синергетическом эффекте объединяемых технологий. Подобный эффект проявляется, например, при использовании передовых методов лучевой диагностики и современных технологий рентгенхирургических методов диагностики и лечения, в рамках **Ангио КТ** операционной.

Компания Canon Medical Systems в 2023 году отмечает 30-летний юбилей истории развития **Ангио КТ** технологии, разработанной при совместном участии японских ученых и врачей. Такое решение, по опыту активного применения в передовых клиниках по всему миру, показало высокую клиническую и, что немаловажно, экономическую эффективность при оказании помощи пациентам с заболеваниями различных нозологических групп. Клиническое преимущество гибридных **Ангио КТ** операционных раскрывается благодаря глубокой мультимодальной интеграции оборудования в рамках единого решения, а также слаженной работы профессиональной команды врачей-экспертов, включающей наиболее продвинутых специалистов в области радиологии и интервенционной хирургии.



Ангио КТ системы компании Canon Medical Systems представлены единым комплексом на базе КТ-томографа **Aquilion** уровня **Prime SP** или **Aquilion ONE/GENESIS Edition** и ангиографического комплекса экспертного уровня **Alphenix Sky** или **Alphenix Sky+**.

Приглашаем более детально ознакомиться с предлагаемыми решениями, отзывами и опытом ведущих специалистов со всего мира на нашем сайте www.rp.medical.canon, раздел «Гибридная Ангио КТ система», или по ссылке, зашифрованной в QR-коде.



Наведите камеру

RP CANON MEDICAL SYSTEMS, LLC

<https://rp.medical.canon>

© Canon Medical Systems Corporation, 2023. Все права защищены. Дизайн, технические характеристики и комплектация могут быть изменены без предварительного уведомления.

RCMS / На правах рекламы.

Alphenix и Made for Life (Сделано для жизни) — товарные знаки, принадлежащие компании Canon Medical Systems Corporation.

ООО «АрПи Канон Медикал Системз» — совместное предприятие, учрежденное Canon Medical Systems Corporation и ООО «Р-Фарм Холдинг».

Заявление об отказе от ответственности. Информация в данных рекламных материалах предназначена исключительно для медицинских работников и специалистов по фармацевтике. Перед началом работы на медицинском оборудовании необходимо проконсультироваться со специалистом. Настоящие материалы предназначены только для рекламных целей.

Made For life

АДВИН

ЛИНЕЙКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАФОВ
С ШИРОКИМ СПЕКТРОМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

VENTUM

КОМПЬЮТЕРНЫЙ
ТОМОГРАФ



16
срезов

32
среза

64
среза

128
срезов

ЭКГ- СИНХРОНИЗАЦИЯ

76
CM

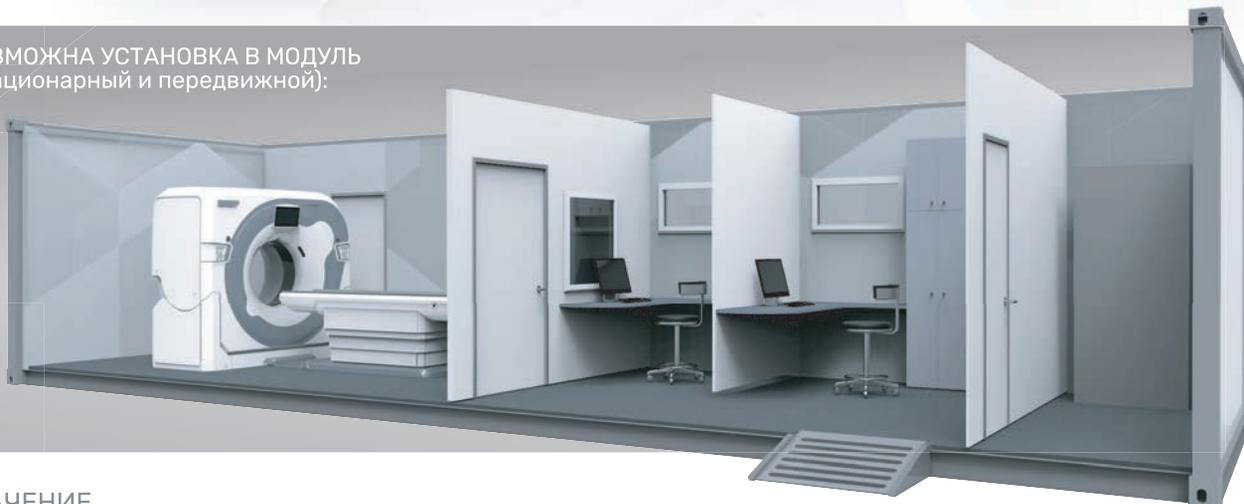
250
КГ

185
CM

± 30°

Регистрационные удостоверения №РЭН 2022/17293 от 14.12.2022, РЭН 2022/17887 от 16.11.2022

ВОЗМОЖНА УСТАНОВКА В МОДУЛЬ
(стационарный и передвижной):



НАЗНАЧЕНИЕ

- Позволяет выполнять все рутинные исследования, в том числе КТ-исследования с внутривенным болюсным контрастированием с отслеживанием уровня накопления контрастного препарата в сосудистом русле.

ОСОБЕННОСТИ

- В комплект поставки входят наборы педиатрических и низкодозовых скрининговых протоколов сканирования.
- Программное обеспечение рабочих станций врача-диагноста может включать в себя модули для 2D и 3D просмотра, инструменты для линейных и денситометрических измерений, дополнительные узкоспециализированные модули (инструменты для анализа коронарных сосудов, оценки функции сердца и легких, оценки минеральной плотности костей и т.д.)
- Удаленная техническая поддержка в режиме 24/7.



Производитель: **ЗАО «АДВИН Смарт Фэктори»**

АДВИН

+375 17 349 0000

advin.by info@advin.by

ул. Селицкого, 7, Минск,
220075, Республика Беларусь

Дистрибьютор в РФ:



ДЕЛРУС

Компания Дельрус

+7 495 120 77 44

delrus.ru delrus@delrus.ru

ул. Ивана Франко, д.4, корп. 1
121108, Москва, Россия

INTRODUCTION: The lead implantation into the cardiac conduction system (CCS) is the most physiological method of pacing nowadays. «The method of intraoperative visualization and control of the lead position for permanent electrocardiostimulation during implantation of the lead in the CCS» has been developed for reduce the number of non-targeted implantations. This method based on the integration into the angiograph system 3D-reconstruction of the heart converted to computed tomography (CT) in the form of a mask against the background of fluoroscopy. CT is an important stage of the intraoperative visualization technique (IVT).

OBJECTIVE: The aim of the study was to adapt the protocol of CT examination of the heart with contrast to construct a partially segmented 3D-reconstruction of the heart on an angiographic complex for subsequent use during of the lead implantation in the CCS within the framework of the author's IVT.

MATERIALS AND METHODS: As part of the development of the IVT, 21 CT studies of the heart were selected from own database. The step of the gradient of the density difference of the contrasted blood is about 10 HU, the range of the difference of densitometric parameters of the «left ventricle (LV) — right ventricle (RV)» from 0 HU to 200 HU. As well as selected 11 CT studies of the heart. The step of the gradient of the difference of densitometric indicators the contrasted blood in «the RV cavity — myocardium» is about 10 HU, the range is from 0 HU to 100 HU. All CT scans are alternately loaded into the angiograph, followed by the creation of a 3D model of the heart using basic software.

RESULTS: It's necessary to exceed the degree of contrast of the LV cavity over the RV cavity by at least 80 HU to perform partial segmentation on the left and right chambers of a 3D-model of the heart in an angiographic complex that does not have a specialized segmentation module. A sufficiently large part of the left ventricular cavity (LV) disappears with a smaller gradient when the right ventricular cavity (RV) is suppressed. The minimum gradient of «the ventricular cavity — myocardium» is at least 20 HU. The boundaries of the right ventricular edge of the interventricular septum (IVS) are not visualized with a smaller contrast gradient. It's important for determining the insertion place of the lead into the IVS.

CONCLUSION: It's necessary to exceed the contrast of the LV cavities above the RV cavity by at least 80 HU, the RV cavity above the myocardium by at least 20 HU to perform partial segmentation on the left and right chambers of a 3D-model of the heart in an angiographic complex that does not have a specialized segmentation module.

KEYWORDS: computed tomography, intraoperative visualization, cardiac conduction system pacing

*For correspondence: Mikhail S. Medved, e-mail: medved_michail@mail.ru

For citation: Medved M.S., Rud S.D., Trufanov G.E., Lebedev D.S. The intraoperative visualisation technique during lead implantation into the cardiac conductive system: aspects of computed tomography: prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 46–52, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-46-52>.

Введение. Стимуляция проводящей системы сердца (ПСС) все активнее входит в мировую практику. Однако в Российской Федерации данный вид постоянной электрокардиостимуляции (ЭКС) только начинает внедряться в практику. Характерной его особенностью является необходимость имплантации электрода в толщу межжелудочковой перегородки (МЖП), где локализована проводящая система сердца [1]. В зависимости от цели (стимуляция пучка Гиса или стимуляция левой ножки пучка Гиса) электрод имплантируют в базальные отделы, либо несколько дистальнее — на границе проксимальной и средней третей МЖП в ее толщу [2]. Как правило, интраоперационно позиция электрода оценивается с помощью электрофизиологического и флюороскопического контролей [3].

Электрофизиологический контроль заключается в получении специфической для проводящей системы эндограммы электрической активности проводящей системы сердца, а также характерных изменений импеданса при проникновении электрода в толщу МЖП [4]. Флюороскопический контроль достигается установкой в характерной позиции электрода в стандартных ангиографических проекциях: передней прямой проекции (АР), левой косой проекции с углом наклона рентгеновской

трубки 30° (LAO 30), правой косой проекции с углом наклона рентгеновской трубки 30° (RAO 30) [5]. Необходимо отметить, что изображение, получаемое с ангиографов, является суммационным, поэтому мягкотканые структуры, такие как МЖП, не создают на изображении четко визуализируемой контрастной тени. Заключение о корректности положения электрода, как правило, основывается на соотношении положения электрода по данным флюороскопии с наиболее типичным анатомическим строением и положением сердца, что не дает уверенности в истинной позиции электрода у конкретного индивидуума [5]. Отсутствие четкой визуализации МЖП при проведении процедуры создает вероятность пенетрации МЖП, что сопряжено с определенным риском ОНМК или имплантации электрода в стенку правого желудочка, что сопряжено с повышением вероятности возникновения гемоперикарда. По этой причине при имплантации электрода в ПСС важна визуализация как правожелудочковой, так и левожелудочковой поверхностей МЖП.

Для решения проблемы в некоторых клиниках используют системы навигационного картирования. Дело в том, что некоторые, в большинстве своем импедансные, навигационные системы предоставляют возможность построения как электроанатоми-

ческих, так и активационных трехмерных навигационных карт с помощью электрода для постоянной ЭКС. Это позволяет произвести точное картирование области локализации ПСС и прецизионно имплантировать электрод [6]. Однако необходимо понимать, электродом для постоянной ЭКС возможно выполнить построение правых камер и, соответственно, правожелудочковой поверхности МЖП. Левойжелудочковую поверхность МЖП возможно визуализировать при использовании дополнительного картирующего либо диагностического электрода и артериального доступа. Картирование левых камер сердца подразумевает необходимость введения антикоагулянтов, в частности гепарина, что при процедуре имплантации ЭКС сопряжено с риском кровотечения, гематом, как и, собственно, создание артериального доступа.

Также некоторые операторы для визуализации структур сердца используют трансторакальную и транспищеводную эхокардиографию. Данная методика позволяет визуализировать структуры сердца, в том числе оценивать функциональную составляющую трикуспидального клапана (ТК), практически не используя флюороскопию. Несмотря на все достоинства, этот метод требует наличия ультразвукового (УЗ) оборудования, квалифицированного УЗ-специалиста, имеет свои противопоказания и риски возникновения осложнений. Кроме того, не всегда удается визуализировать МЖП на всем протяжении [7].

Исходя из всего вышеперечисленного специалистами ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» разработан «Способ интраоперационной визуализации и контроля положения электрода при имплантации электрода в проводящую систему сердца» (заявка на регистрацию объекта интеллектуальной собственности № 2022108573), основанный на интеграции в систему ангиографа трехмерной реконструкции сердца по данным компьютерной томографии (КТ) с совмещением изображений КТ и флюороскопии. Преимущества методики заключаются в возможности визуализации любой структуры сердца. Однако на практике возникает определенная особенность: не все ангиографы имеют возможность реконструкции трехмерной модели сердца ввиду отсутствия соответствующего программного модуля. Однако в эксперименте, при определенном контрастировании полостей сердца, возможно произвести процедуру визуализации с «частичной сегментацией» на правые и левые камеры, используя возможности базовой 3D-станции ангиографа, даже в условиях отсутствия соответствующего программного модуля сегментации сердца.

Цель. Изучение возможностей применения протокола КТ-исследования сердца с контрастированием для построения трехмерной частично сегментированной реконструкции сердца на ангиографическом комплексе для последующего использования при имплантации электрода в ПСС в рамках авторской МИВ.

Задачи исследования:

— определить минимальный градиент перепада денситометрических плотностей миокард — полость сердца, при которой на трехмерной реконструкции будут четко визуализироваться правожелудочковая и левожелудочковая поверхности межжелудочковой перегородки;

— определить минимальный градиент перепада денситометрических плотностей контрастированной крови в полостях сердца, при котором возможна процедура частичной сегментации на правые и левые камеры сердца;

— определить доминирующие по контрастированию камеры сердца.

Материалы и методы. Одобрения этического комитета не требовалось. Иноформированное согласие получено от каждого пациента. В рамках исследования из собственной базы данных выполненных ранее исследований отобраны 21 КТ-исследований области сердца, которые соответствовали соответствующим требованиям: шаг градиента перепада плотностей контрастированной крови около 10 HU, диапазон перепада денситометрических показателей от 0 HU до 200 HU и 11 КТ-исследований области сердца, которые соответствовали следующим требованиям: шагом градиента перепада денситометрических показателей контрастированной крови в полости левого желудочка — миокард около 10 HU и диапазон от 0 HU до 100 HU.

Результаты. В рамках исследования загружены в ангиограф 21 томограмма с шагом градиента контрастирования камер около 10 HU от 0 до 200 HU и 11 исследований с шагом градиента контрастирования полости — миокард около 10 HU от 0 до 100 HU. Выполнена реконструкция трехмерной модели. Опытным путем определено, что для выполнения частичной сегментации на левые и правые камеры сердца необходимо превышение разности степени контрастирования левого желудочка над правым не менее чем на 80 HU. При меньшем градиенте при подавлении сигнала от контрастной крови в полости правого желудочка происходит исчезновение достаточно большой части сигнала от полости левого желудочка. Минимальный градиент полости ПЖ — миокард не менее 20 HU. При меньшем градиенте контрастирования нет возможности визуализации четкой границы правожелудочкового края МЖП, что важно при определении места внедрения электрода в МЖП. Данные минимальные значения, полученные в результате этого эксперимента, отражены в заявке на объект интеллектуальной собственности № 20221008573 «Способ интраоперационной визуализации и контроля положения электрода для постоянной электрокардиостимуляции при имплантации электрода в проводящую систему сердца».

Обсуждение. Согласно технике имплантации с использованием интраоперационной визуализации позиционирование электрода во время имплан-

тации первоначально определяется относительно границ правожелудочковой поверхности и левожелудочковой поверхности, как правило, в проекции AP и RAO. В данных проекциях правожелудочковая поверхность МЖП трехмерной реконструкции накладывается на левожелудочковую, несколько дезориентируя оператора (рис. 1, 2). С целью визуализации только левожелудочковой поверхности МЖП необходимо временно «убрать» визуализацию правых камер с использованием отдельно построенной «маски» трехмерной реконструкции с заданными денситометрическими показателями.

При наличии специализированного модуля сегментации достаточно отключить отображение данных структур. Дело в том, модуль сегментации в автоматическом режиме позволяет выполнить

полноценную сегментацию сердца, отдельно выделить правое предсердие, левое предсердие, ПЖ и ЛЖ. Выделение областей основывается на разности денситометрических параметров крови, находящейся в соответствующих полостях сердца.

При отсутствии соответствующего модуля сегментации необходимо сместить окно интереса по степени контрастирования в область с более высоким значением по денситометрическим показателям при построении VRT-реформации области сердца, тем самым «погасив» сигнал области с более слабым контрастированием. Так как существует потребность в отсутствии визуализации правых камер, необходимо добиться более высокого градиента контрастирования левых камер. Кроме того, при смещении окна интереса необходимо,

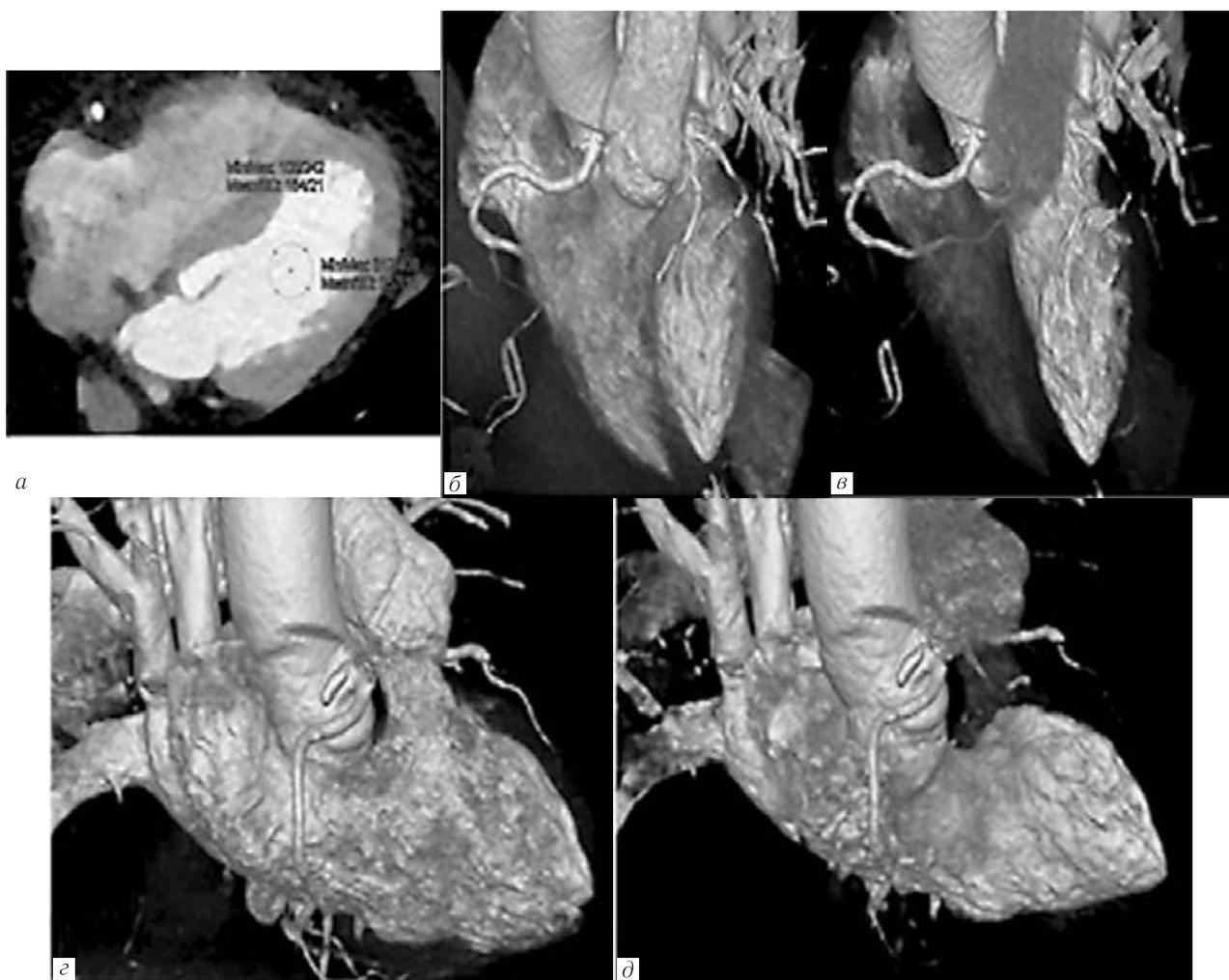


Рис. 1. Реконструированные частично сегментированные трехмерные модели сердца, градиент контрастирования ЛЖ-ПЖ более 80 HU: *a* — компьютерная томография с удовлетворительным градиентом контрастирования полостей ЛЖ и ПЖ; *б* — реконструкция сердца в левой косой проекции, без подавления правых камер; *в* — реконструкция сердца в левой косой проекции, с подавлением правых камер; *г* — реконструкция сердца в правой косой проекции, без подавления правых камер; *д* — реконструкция сердца в правой косой проекции, с подавлением правых камер

Fig. 1. Reconstructed partially segmented models of the heart, the LV–RV contrast gradient is more than 80 HU: *a* — computed tomography with a satisfactory contrast gradient of the LV and RV cavities; *б* — reconstruction of the heart in the left oblique projection, without suppression of the right chambers; *в* — reconstruction of the heart in the left oblique projection, with suppression of the right chambers; *г* — reconstruction of the heart in the right oblique projection, without suppression of the right chambers; *д* — reconstruction of the heart in the right oblique projection, with suppression of the right chambers

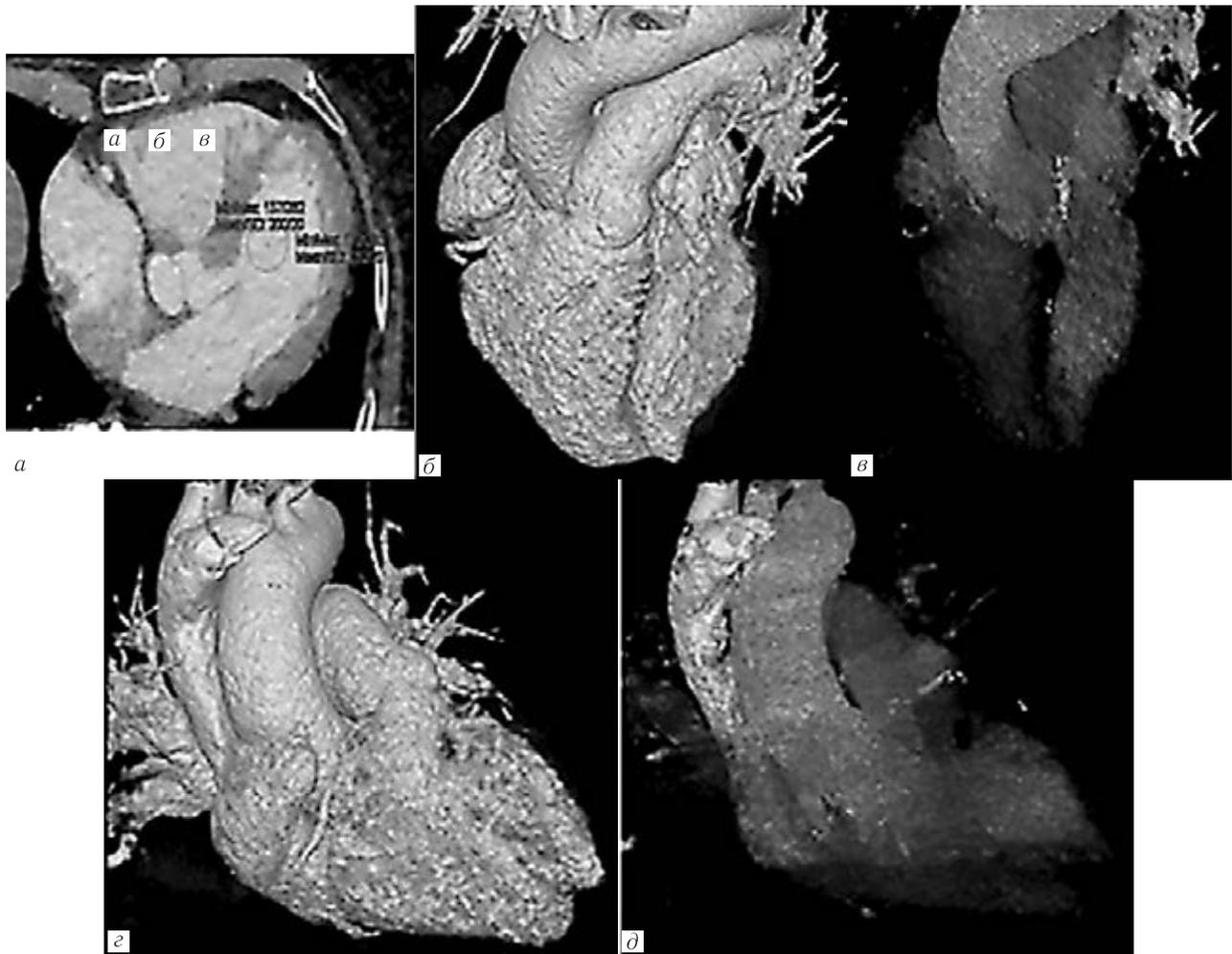


Рис. 2. Реконструированные трехмерные модели сердца, градиент контрастирования ЛЖ–ПЖ 30 HU, частичная сегментация неудовлетворительная: *а* — компьютерная томография с неудовлетворительным градиентом контрастирования полостей ЛЖ и ПЖ; *б* — реконструкция сердца в левой косо́й проекции, без подавления правых камер; *в* — реконструкция сердца в левой косо́й проекции, с попыткой подавления правых камер; *з* — реконструкция сердца в правой косо́й проекции, без подавления правых камер; *д* — реконструкция сердца в правой косо́й проекции, с попыткой подавления правых камер

Fig. 2. Reconstructed partially segmented models of the heart, the LV–RV contrast gradient is 30 HU: *a* — computed tomography with a satisfactory contrast gradient of the LV and RV cavities; *б* — reconstruction of the heart in the left oblique projection, without suppression of the right chambers; *в* — reconstruction of the heart in the left oblique projection, with suppression of the right chambers; *з* — reconstruction of the heart in the right oblique projection, without suppression of the right chambers; *д* — reconstruction of the heart in the right oblique projection, with suppression of the right chambers

чтобы отсутствовало или было минимизировано исчезновение вместе с сигналами от полости ПЖ сигналов полости ЛЖ, соответствующих по денситометрическим показателям.

Для определения оптимального и минимального градиента контрастирования правых и левых камер каждая из 21 томограммы загружена в ангиограф. Далее с использованием базовых «пресетов» стандартного программного обеспечения выполнена визуализация с «частичной сегментацией» на правые и левые камеры с построением денситометрических масок (рис. 1, 2). Поскольку при выполнении позиционирования электрода следует убрать из визуализации модели острый край сердца со стороны правых камер, необходимо превышение степе-

ни контрастирования левых камер над правыми. У каждой томограммы с помощью базового программного комплекса 3D-станции ангиографа определена площадь левожелудочковой поверхности МЖП на стандартных значениях окна интереса степеней контрастирования. Далее была определена площадь левожелудочковой поверхности МЖП после смещения окна интереса в область более высоких значений степеней контрастирования до исчезновения сигнала от правых камер сердца. Одновременно со смещением окна интересов происходит «исчезновение» части объема полостей левых камер сердца, соответствующих по плотности правым (рис. 1, 2). Как правило, это область верхушки, место перехода МЖП в свободную стенку

ЛЖ. Зависимость изменения площади МПЖ от градиента контрастирования отражена на рис. 3. Целевая область при имплантации электрода при осуществлении стимуляции проводящей системы сердца (ПСС), в частности левой ножки пучка Гиса (ЛНПГ), располагается в МЖП на 1,5–2 см дистальнее кольца трехстворчатого клапана (ТК) [8]. С учетом этой особенности нами определено, что минимально достаточно градиента денситометрических показателей контрастной крови в левом и правом желудочках в 80 HU для выполнения отдельной визуализации на правые и левые камеры сердца, с сохранением практически без изменений целевой области для имплантации.

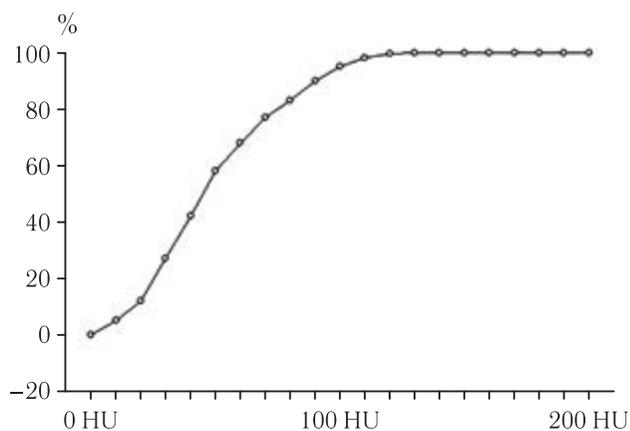


Рис. 3. График зависимости изменения площади левожелудочковой поверхности МЖП от градиента контрастирования ЛЖ–ПЖ

Fig. 3. Graph of the dependence of the change in the area of the right ventricular surface of the IVS on the contrast gradient of the LV–RV

Для достижения необходимой степени контрастирования правых камер необходимо учитывать достаточно много факторов, связанных прежде всего с индивидуальными особенностями пациента. Наибольшее влияние на контрастирование камер сердца оказывают «размер» тела пациента и сердечный выброс [9]. В идеале при проведении КТ сердца с контрастированием необходимо рассчитывать объем контрастного вещества исходя из площади поверхности тела либо массы пациента, что весьма трудоемко и отнимает большое количество времени. На практике в большинстве клиник используются протоколы контрастирования с фиксированным объемом контрастного вещества [10]. Фракция выброса оказывает существенное влияние на время контрастирования камер сердца. При низкой фракции выброса происходит как более медленное нарастание контрастирования камер сердца, так и более медленное «вымывание» контрастного вещества из камер сердца [10]. Необходимо отметить, что подавляющее большинство пациентов, кому планируется имплантация электродов в прово-

дующую систему сердца для осуществления постоянной кардиостимуляции, за исключением His-оптимизированной кардиоресинхронизирующей терапии (НОТ-CRT), не имеют низкой фракции выброса. Таким образом, для получения требуемой степени контрастирования необходим подбор протокола сканирования (напряжение и сила тока на катоде и аноде рентгеновской трубки), объема контрастного вещества и схемы его введения, а также задержки по времени от начала введения болюса контрастного вещества до начала проведения непосредственно сканирования — так называемое время задержки сканирования.

Наиболее удовлетворяющими наши потребности являются аппаратные настройки стандартного протокола сканирования при выполнении КТ-коронарографии с синхронизацией сердечных сокращений. Однако необходимо понимать, при стандартном протоколе КТ-коронарографии, как правило, применяют протокол двухфазного контрастирования, при котором отсутствует, либо минимизировано контрастирование правых камер [11]. По этой причине необходимо использование трехфазных протоколов контрастирования, включающих болюс контрастного вещества; болюс разведенного контрастного вещества (с 40% содержанием контрастного вещества), болюс физиологического раствора. Степень разведения контрастного вещества может варьироваться (например, 20% контрастного вещества с 80% солевым раствором) и обеспечивает снижение ослабления контрастирования правых камер сердца [12].

Исходя из всего вышеперечисленного, разработан протокол проведения КТ сканирования: коронарный пресет для построения VRT изображения области сердца с ЭКГ-синхронизацией процесса сканирования, напряжение на рентгеновской трубке — 110 кВ, зона триггера начала сканирования устанавливается в восходящей аорте. Начало сканирования через 10 секунд после достижения степени контрастирования в 110 HU в восходящей аорте. Протокол контрастирования трехфазный: 1 фаза — болюс 50 мл контрастного вещества (скорость введения 5 мл/сек), 100 мл 40% раствора контрастного вещества (скорость введения 5 мл/сек), 40 мл физиологического раствора (скорость введения контрастного вещества — 5 мл/сек).

Заключение. Для выполнения отдельной визуализации и последующей частичной сегментации сердца на правые и левые камеры с помощью построения VRT-реформаций необходимо добиться превышения градиента контрастирования левых камер над правыми не менее чем на 80 HU, а также превышения плотности контрастирования правого желудочка над миокардом на менее чем на 20 HU. Предложенный протокол сканирования позволяет добиться такого градиента контрастирования у всех пациентов.

Сведения об авторах:

Медведь Михаил Сергеевич — аспирант кафедры сердечно-сосудистой хирургии Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2; e-mail: medved_mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0002-2825-899X;

Рудь Сергей Дмитриевич — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики № 1, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2; e-mail: rsd@mail.ru, ORCID 0000-0002-3585-9793;

Труфанов Геннадий Евгеньевич — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2; e-mail: trufanovge@mail.ru, ORCID 0000-0002-1611-5000;

Лебедев Дмитрий Сергеевич — доктор медицинских наук, профессор РАН, руководитель, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела аритмологии Института сердца и сосудов «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова»; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2; e-mail: lebedevdmity@mail.ru, ORCID 0000-0002-2334-1663.

Information about the authors:

Mikhail S. Medved — postgraduate of the Department of Cardiovascular Surgery, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre; 197341, St. Petersburg, Akkuratova str., 2; e-mail: medved_mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0002-2825-899X;

Sergey D. Rud — Cand. of Sci. (Med.), Radiologist of the Department of Radiation Diagnostics No.1, Almazov National Medical Research Centre; 197341, St. Petersburg, Akkuratova str., 2; e-mail: rsd@mail.ru, ORCID 0000-0002-3585-9793;

Gennady E. Trufanov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of Research Department of Radiation Diagnostics, Almazov National Medical Research Centre; Head of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre; 197341, St. Petersburg, Akkuratova str., 2; e-mail: trufanovge@mail.ru, ORCID 0000-0002-1611-5000;

Dmitry S. Lebedev — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Sciences; Head, Chief Researcher of Arrhythmology Research Department, Institute of Heart and Vessels, Almazov National Medical Research Centre; Professor of Department of Cardiovascular Surgery, Faculty of Higher Qualification Training, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Centre; 197341, St. Petersburg, Akkuratova str., 2; e-mail: lebedevdmity@mail.ru, ORCID 0000-0002-2334-1663.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *М. С. Медведь, С. Д. Рудь, Г. Е. Труфанов*; сбор и математический анализ данных — *М. С. Медведь*; подготовка рукописи — *М. С. Медведь, С. Д. Рудь, Г. Е. Труфанов, Д. С. Лебедев*.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: *MSM, SDR, GET* aided in the concept and plan of the study; *MSM* provided collection and mathematical analysis of data; *MSM, SDR, GET, DSL* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

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

Соответствие принципам этики: Для данного дизайна исследования утверждения этическим комитетом не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: For this design, the approval of the ethics committee was not required.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер ЕГИСУ 122041500020-5.

Funding: the study was carried out within the framework of the state task, registration No: ЕГИСУ 122041500020-5.

Поступила/Received: 11.05.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Furman S., Schwedel J.B. An intracardial pacemaker for Stokes? Adams seizures // *NEJM*. 1959. Vol. 261. P. 943–948. doi: 10.1056/NEJM195911052611904.
- Sutton R. Ventricular pacing: what does it do? // *Eur. J. CPPE*. 1993. Vol. 3. P. 194–196.
- Liu P, Wang Q, Sun H, Qin X, Zheng Q Left Bundle Branch Pacing: Current Knowledge and Future Prospects // *Front. Cardiovasc. Med*. 2021. Vol. 8. P. 630399. doi: 10.3389/fcvm.2021.630399.
- Deshmukh P., Casavant D.A., Romanyshyn M., Anderson K. Permanent, direct His-bundle pacing: a novel approach to cardiac pacing in patients with normal His-Purkinje activation // *Circulation*. 2000. Vol. 101. P. 869–877. doi: 10.1161/01.cir.101.8.869.
- Arnold A.D., Shun-Shin M.J., Keene D. et al. His Resynchronization Versus Biventricular Pacing in Patients With Heart Failure and Left Bundle Branch Block // *J. Am. Coll. Cardiol*. 2018. Vol. 72, No. 24. P. 3112–3122. doi: 10.1016/j.jacc.2018.09.073.
- Abdelrahman M., Subzposh F.A., Beer D. et al. Clinical Outcomes of His Bundle Pacing Compared to Right Ventricular Pacing // *J. Am. Coll. Cardiol*. 2018. Vol. 71, No. 20. P. 2319–2330. doi: 10.1016/j.jacc.2018.02.048.
- Богачевский А.Н., Богачевская С.А., Бондарь В.Ю. Имплантация постоянных кардиостимуляторов под ультразвуковым контролем // *Вестник аритмологии*. 2014. Т. 78. С. 42–46. [Bogachevsky A.N., Bogachevskaya S.A., Bondar V.Yu. Ultrasound-guided permanent pacemaker implantation. *Journal of Arrhythmology*, 2014, Vol. 78. pp. 42–46 (In Russ.)].
- Devabhaktuni S., Mar P.L., Shirazi J. et al. How to Perform His Bundle Pacing: Tools and Techniques // *Card Electrophysiol. Clin*. 2018. Vol. 10, No. 3. P. 495–502. doi: 10.1016/j.ccep.2018.05.008.
- Bae K.T. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches // *Radiology*. 2010. Vol. 256. P. 32–61. doi: 10.1148/radiol.10090908.
- Bae K.T., Seeck B.A., Hildebolt C.F. et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT: effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity // *AJR Am. J. Roentgenol*. 2008. Vol. 190. P. 777–784. doi: 10.2214/AJR.07.2765.
- Abbara S., Arbab-Zadeh A., Callister T.Q. et al. SCCT guidelines for performance of coronary computed tomographic angiography: A report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee // *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr*. 2009. Vol. 3. P. 190–204. doi: 10.1016/j.jcct.2009.03.004.
- Scholtz J.E., Ghoshhajra B. Advances in cardiac CT contrast injection and acquisition protocols // *Cardiovasc. Diagn. Ther*. 2017. Vol. 7, No. 5. P. 439–451. doi: 10.21037/cdt.2017.06.07.

УДК 616.98:578.834.1-06:616.24-002.17

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-53-60>

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЛЕГОЧНОЙ ПЕРФУЗИИ У ПАЦИЕНТОВ С РАНЕЕ ПЕРЕНЕСЕННОЙ COVID-19 ПНЕВМОНИЕЙ: КЛИНИЧЕСКОЕ КОНТРОЛИРУЕМОЕ НЕРАНДОМИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

^{1,2}А. В. Захарова[✉], ³А. Н. Гвоздецкий[✉], ¹А. В. Поздняков[✉], ¹О. Ф. Позднякова[✉]¹Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия²Городская многопрофильная больница № 2, Санкт-Петербург, Россия³Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Оценка перфузии легких у людей с перенесенным COVID-19 может дать более четкое представление о долгосрочных последствиях болезни и выявить изменения, которые могут обуславливать их симптомы. Необходимы дальнейшие исследования с целью оптимизации методов расчета параметров легочной перфузии для внедрения их в клиническую практику.

ЦЕЛЬ: Определить возможности альтернативного способа оценки относительной легочной перфузии с использованием трехмерной сверхбыстрой динамической контрастной магнитно-резонансной томографии у пациентов с ранее перенесенной COVID-19 пневмонией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведено обследование 100 пациентов (28 мужчин и 72 женщин в возрасте от 22 до 70 лет), перенесших лабораторно подтвержденный COVID-19, с использованием трехмерной сверхбыстрой динамической контрастной магнитно-резонансной томографии на базе градиентных 3D-T1-взвешенных изображений. В ходе постпроцессинговой обработки изображений получены значения гРВФ (относительная скорость кровотока), гРВУ (относительный объем кровотока) и гМТТ (относительное среднее время пассажа).

Статистика. Для моделирования нелинейной зависимости использовалась натуральная сплайн-трансформация от времени с эффектом взаимодействия с групповой принадлежностью. Межгрупповое сравнение по интегральным показателям осуществлялось критерием Краскела–Уоллиса (χ^2), попарные сравнения — критерием Коновера (Δ). Для коррекции множественного тестирования гипотез использовалась средняя доля ложных отклонений (FDR). Статистически значимыми различия признавались при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Различия показателей легочной перфузии между группами пациентов были подтверждены как количественно по параметрам гМТТ, гРВУ, гРВФ, так и качественно при построении кривых накопления контрастного препарата. У пациентов с перенесенным COVID-19 наблюдается замедление пассажа контрастного препарата и увеличение относительного объема легочной крови, а кривые накопления контрастного препарата имеют качественные отличия.

ОБСУЖДЕНИЕ: Предложен новый способ для оценки показателей легочной перфузии у пациентов с перенесенным COVID-19, проведен межгрупповой анализ групп в зависимости от степени поражения легких во время острой фазы COVID-19 (без инфильтративных изменений, с поражением легких легкой и тяжелой степени). Выявленные межгрупповые различия наиболее показательны для групп пациентов с поражением легких (как легкой, так и тяжелой степени) по сравнению с группой пациентов без инфильтративных изменений легких во время острой фазы COVID-19.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Данный способ оценки относительной легочной перфузии способен адекватно охарактеризовать функциональное состояние легких у пациентов с ранее перенесенной COVID-19 пневмонией, а выбранная модель является оптимальной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: новая коронавирусная инфекция, COVID-19, SARS-CoV-2 магнитно-резонансная томография (МРТ), постпроцессорный анализ, МР перфузия, бета-распределение

*Для корреспонденции: Захарова Анна Валерьевна, e-mail: ellin-ave@yandex.ru

Для цитирования: Захарова А.В., Гвоздецкий А.Н., Поздняков А.В., Позднякова О.Ф. Методика оценки легочной перфузии у пациентов с ранее перенесенной COVID-19 пневмонией: клиническое контролируемое нерандомизированное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023, Т. 14, № 3. С. 53–60, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-53-60>.

A TECHNIQUE FOR ASSESSING PULMONARY PERFUSION IN PATIENTS WITH PREVIOUSLY TREATED COVID-19 PNEUMONIA: CLINICAL CONTROLLED NON-RANDOMIZED STUDY

^{1,2}Anna V. Zakharova^{✉*}, ³Anton N. Gvozdetskiy[✉], ¹Alexander V. Pozdnyakov[✉], ¹Olga F. Pozdnyakova[✉]

¹St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

²City Multidisciplinary Hospital No. 2, St. Petersburg, Russia

³North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Evaluating pulmonary lung perfusion in patients with previously treated COVID-19 infection may lead to a better understanding of long-term consequences of the disease, as well as may identify the changes determined by their symptoms. Further research is required for optimization of lung perfusion's design parameters' methods in order to implement those in clinical practice.

OBJECTIVE: To determine the possibilities of an alternative method for evaluation of relative lung perfusion using three-dimensional ultrafast contrast-enhanced MRI on patients with previously treated COVID-19 pneumonia.

MATERIALS AND METHODS: We examined 100 patients (28 male and 72 female, aged 22 to 70) who had laboratory-confirmed COVID-19 infection. The research was conducted using the three-dimensional ultrafast dynamic contrast-enhanced MRI based on 3D T1-weighted images. During the postprocessing, we received the values of rPBF (relative pulmonary blood flow), rPBV (relative pulmonary blood volume), and rMTT (relative mean transit time).

Statistics. For non-linear dependence modelling we used natural spline transformation for time and interaction effect with a group. Intergroup comparison on integral measures was based on Kruskal-Wallis test (χ^2), pair comparisons were based on Conover's test (Δ). For multiple hypothesis testing correction, we used the false discovery rate (FDR). Comparisons were determined as statistically significant when $p < 0.05$.

RESULTS: The differences in obtained values of lung perfusion among patient groups were confirmed both quantitatively (by rMTT, rPBV, rPBF) and qualitatively (by building the curves of contrast agent accumulation). Patients with previously treated COVID-19 demonstrate slower contrast agent transit and increased relative lung blood volume. Their accumulation curves have qualitative differences as well.

DISCUSSION: We suggest a new method of evaluation of lung perfusion indicators in patients with previously treated COVID-19. We conducted an intergroup analysis based on the degree of lung damage during the acute phase of COVID-19 (with no infiltrative changes, with minor lung damage, and major lung damage). The intergroup differences found are more significant for patients with lung damage (both minor and major) than for patients with no infiltrative lung changes during the acute phase of COVID-19.

CONCLUSION: This method of evaluation of pulmonary perfusion is able to adequately characterize the functional lung conditions in patients with previously treated COVID-19 pneumonia. The chosen model is the most optimal.

KEYWORDS: new coronavirus infection, COVID-19, SARS-CoV-2, magnetic resonance imaging (MRI), postprocessing analysis, MR perfusion, beta distribution

*For correspondence: Anna V. Zakharova, e-mail: ellin-ave@yandex.ru

For citation: Zakharova A.V., Gvozdetskiy A.N., Pozdnyakov A.V., Pozdnyakova O.F. A technique for assessing pulmonary perfusion in patients with previously treated COVID-19 pneumonia: clinical controlled non-randomized study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 53–60, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-53-60>.

Введение. Легкие являются основной мишенью воздействия для SARS-CoV-2, которое приводит к локальному разрушению тканей, в том числе к повреждению сосудов микроциркуляторного русла [1]. Нарушения перфузии легких являются важным патофизиологическим механизмом острой фазы COVID-19 и способствуют дыхательной недостаточности [2]. Определение легочной перфузии имеет клиническое и физиологическое значение в оценке функции легких. Изменения регионарной перфузии легких могут наблюдаться при различных заболеваниях легких, однако в свете пандемии COVID-19 вопрос отдаленных последствий перенесенной пневмонии, вызванной вирусом SARS-CoV, особенно актуален. Важность изучения перфузии легких у пациентов, перенесших COVID-19, была подчерк-

нута авторами, которые использовали метод ОФЭКТ-КТ [3, 4].

Существует несколько методов изучения легочной перфузии: ангиография, КТ с контрастным усилением, ОФЭКТ-КТ и МРТ с динамическим контрастным усилением (ДКУ). Существенное преимущество, отличающее МРТ с ДКУ от предыдущих методов,— возможность получать хорошего качества МР-сигнал с оптимальными временными и пространственными характеристиками, что позволяет выявлять незначительные нарушения перфузии. МРТ с ДКУ является клинически применяемым методом визуализации перфузии головного мозга, а также успешно применяется при заболеваниях легких, таких как хроническая обструктивная болезнь легких [5], муковисцидоз, тромбоэмболия

легочной артерии и некоторых других [6]. В клинической практике МРТ легких с ДКУ обычно основывается на визуальной оценке участков с измененным кровотоком [7]. Эти данные, как правило, относились только к нарушениям перфузии при ТЭЛА. Однако когда легкие имеют нарушенную перфузию без локальных изменений, как визуальная оценка, так и численные характеристики могут не давать абсолютных и сопоставимых данных [8]. Различные способы нормирования сигнала и его обработки затрудняют сравнение исследований по теме, кроме того, получение отрицательных значений при нормировании ряда данных указывает на относительность шкалы нормирования, что затрудняет прямое сравнение результатов. Бета-распределение является достаточно универсальным методом и может обеспечить базовое распределение для моделирования относительной перфузии легких. В этой статье мы показываем пример использования линейных моделей со смешанными эффектами, в частности, обобщенной линейной модели с бета-распределением, сравнивая результаты нашего анализа с широко используемой линейной моделью.

Таким образом, несмотря на ряд уже имеющихся исследований, данные об отсроченном влиянии перенесенной COVID-19 пневмонии на легочную перфузию ограничены, а так называемый постковидный синдром (лонг-ковид) широко распространен и может сохраняться в течение нескольких месяцев после острого заболевания [9]. Оценка перфузии легких у людей с перенесенной COVID-19 инфекцией, на наш взгляд, поможет дать более четкое представление о долгосрочных последствиях болезни и выявить изменения, которые могут обуславливать их симптомы.

Цель. Определить возможности альтернативного способа оценки относительной легочной перфузии с использованием трехмерной сверхбыстрой динамической контрастной магнитно-резонансной томографии у пациентов с ранее перенесенной COVID-19 пневмонией.

Материалы и методы. Характеристика выборки. Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. Проведено обследование 100 пациентов, перенесших лабораторно подтвержденную новую коронавирусную инфекцию (НКИ) и проходивших лечение на базе ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2» г. Санкт-Петербурга за период с августа 2020 по январь 2021 г., из них 28 мужчин и 72 женщины в возрасте от 22 до 70 лет. На момент выполнения перфузионной МРТ давность перенесенного заболевания составляла в среднем 17,0 [9,0; 20,0] недель от первого положительного результата теста на COVID-19. В исследование были включены пациенты без каких-либо изменений в легких по данным МСКТ (17 чел.) и перенесшие вирусную пневмонию различной степени выра-

женности (83 чел.). Для оценки объема поражения легких согласно актуальной версии Временных методических рекомендаций по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции (COVID-19) (версия 10), использовалась «эмпирическая» визуальная шкала.

КТ-0 — отсутствие характерных проявлений.

КТ-1 — минимальный объем/распространенность <25% объема легких.

КТ-2 — средний объем/распространенность 25–50% объема легких.

КТ-3 — значительный объем/распространенность 50–75% объема легких.

КТ-4 — субтотальный объем/распространенность >75% объема легких.

Визуальная оценка результатов МСКТ проводилась независимо двумя рентгенологами. При имеющихся значимых расхождениях выполнялось полуавтоматическое выделение и измерение объема инфильтративных изменений на рабочей станции компьютерного томографа (SOMATOM Definition Siemens, 64 среза).

Для удобства оценки полученных данных МРТ все обследуемые разделены на три группы:

1) без признаков инфильтративных изменений легких по данным СКТ — группа «без инфильтрации» (17 чел.);

2) с перенесенной COVID-19 пневмонией с поражением <50% легочной паренхимы по данным СКТ — «легкое поражение» (легкое и средне-тяжелое течение НКИ — 55 чел.);

3) с перенесенной COVID-19 пневмонией с поражением >50% легочной паренхимы по данным СКТ — «тяжелое поражение» (тяжелое и крайне тяжелое течение НКИ — 28 чел.).

Методика исследования. Всем обследуемым выполнялась трехмерная сверхбыстрая динамическая контрастная МР-томография на базе градиентных 3D-T1-ВИ. Методика выполнения и технические характеристики перфузионного МР-исследования подробно представлены в статье [10]. Однако для постпроцессинговой обработки полученных динамических серий был реализован иной подход.

Легкие были разделены на отделы — верхний, средний и нижний, в каждом из которых выбирались зоны интереса (ROI) площадью ≈ 1500 мм². Подобный размер ROI был обусловлен количеством вокселей, достаточным для усредненного описания каждого отдела легкого. Для минимизации влияния гемодинамического фактора выбор зоны интереса проводился с учетом расположения видимых крупных сосудов. Общее число ROI в ткани легких составило 6 (по 3 в каждом легком).

Кроме того, для нормирования данных использовался референсный ROI на уровне восходящего отдела аорты в месте максимальной интенсивности МР-сигнала. На рис. 1 показан пример выбора зон интереса (ROI 2–7), а также референсной ROI 1.

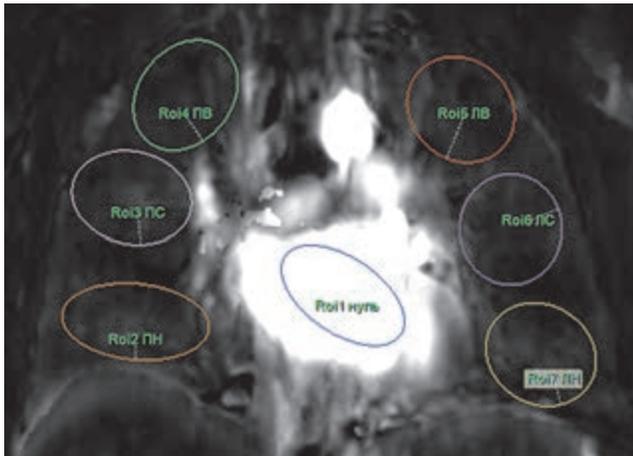


Рис. 1. Пример выбора зон интереса (ROI) в нижних, средних, верхних отделах легких и референсной зоны
Fig. 1. An example of selection of ROI in lower, middle, upper lung zone, and in reference zone

Данный выбор обусловлен тем, что восходящий отдел аорты четко визуализируется при МРТ легких и имеет оптимальную площадь для получения значений максимальной интенсивности МРС.

На основании полученных данных были построены кривые «интенсивность сигнала — время» на базе портала Philips версия 10.1. На рис. 2 пред-

из легочных ROI к пиковому значению восходящего отдела аорты, производилось усреднение относительного сигнала. В случае появления отрицательных значений данные исключались из анализа. Нулевые значения заменялись половиной минимального числа, которое было больше нуля.

Статистический анализ. Для описания категориальных переменных использовались абсолютные значения и доли от целого — n (%). Переменные, имеющие непрерывный характер распределения, описывались средним и стандартным отклонением ($M \pm \sigma$), дискретные переменные и упорядоченные данные — медианой, 1–3 квартилями (Md [Q1; Q3]). Также вычислялись минимальное и максимальное значение ($[min; max]$). Моделирование кривой «интенсивность сигнала — время» производилось при помощи библиотеки 'mgcv'.

В качестве зависимой переменной выступило отношение усредненного сигнала МРТ-перфузии легких к пиковому сигналу в артериальной функции, в качестве независимых — время, групповая принадлежность, возраст, в качестве случайных — идентификационный номер пациента. Для моделирования нелинейной зависимости использовалась натуральная сплайн-трансформация от времени с эффектом

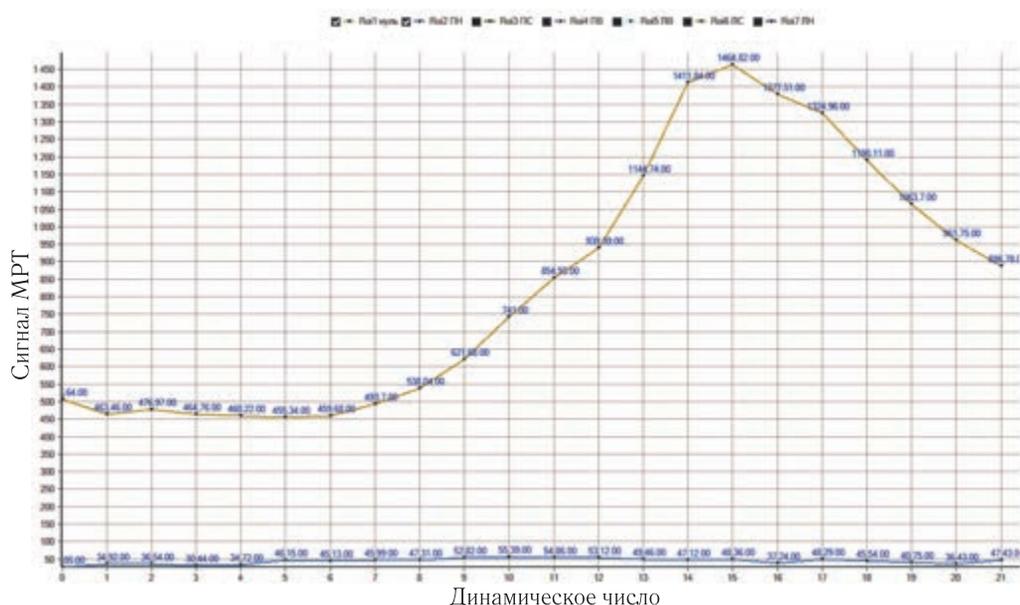


Рис. 2. Пример кривых «интенсивность сигнала — время» для соответствующих зон интереса (ROI)
Fig. 2. An example of signal-time intensity curves for the corresponding regions-of-interest (ROI)

ставлен пример кривых, которые являлись исходным материалом для дальнейшей обработки.

Для полученных кривых определялась базовая линия — набор точек, соответствовавших сигналу до прохождения контрастного вещества. Среднее значение базовой линии вычиталось в каждой соответствующей ROI. Также производилось ручное удаление кривых, явно не соответствовавших паттерну накопления. Пиковое значение в референсной ROI использовалось для индивидуального нормирования сигнала. После вычисления отношения сигнала

взаимодействия с групповой принадлежностью. Так как зависимая переменная принадлежит диапазону (0, 1), использовалась модель бета-распределения.

Синтаксис модели был следующим:

$gam(DV \sim s(ID, bs='re') + te(time, age, by=group, bs='cr'), method='REML', family=betar())$,

где DV — зависимая переменная; ID — уникальный номер пациента; $time$ — время (с); age — возраст (лет); $group$ — принадлежность к группе.

Модель характеризовалась коэффициентом псевдодетерминации R^2 , нормализованным корнем

из среднеквадратичной ошибки (nRMSE), степени свободы, логарифма отношений шансов и стандартной ошибки.

Для анализа кривой «интенсивность сигнала — время» вычислялись относительный объем легочной крови (rPBV), относительное среднее время пассажа (rMTT), относительное объем легочного кровотока (rPBF) в соответствии со следующими формулами:

$$rPBV = \int_0^t s(t) dt \quad (1)$$

$$rMTT = \frac{\int_0^t t \times s(t) dt}{\int_0^t s(t) dt} \quad (2)$$

$$rPBF = \frac{rPBV}{rMTT} \quad (3)$$

где s — интенсивность сигнала; t — время прохождения контрастного препарата; d — дифференциал.

Межгрупповое сравнение по интегральным показателям осуществлялось критерием Краскела–

Уоллиса (χ^2), попарные сравнения — критерием Коновера (Δ). Для коррекции множественного тестирования гипотез использовалась средняя доля ложных отклонений (FDR). Статистически значимыми различия признавались при $p < 0,05$. Все расчеты выполнены на языке программирования R v4.3.0.

Результаты. Построенная модель обладала удовлетворительным построением ($R^2=0,523$, nRMSE — 10,1%, объясненный девианс — 63,1%). В табл. 1 дана характеристика непараметрических компонентов модели. Все компоненты модели статистически значимы. Аналогично статистически значим случайный эффект модели ($\log(\text{odds})=-3,90$ (0,05), $p < 0,001$). На рис. 3 представлены 3D-распределение сигнала в зависимости от возраста и времени накопления и 2D-проекция сигнала накопления с учетом групповой принадлежности.

При графическом анализе типа кривых «относительная интенсивность сигнала — время» можно отметить следующие различия в графиках (рис. 3, б): группа 2, в сравнении с группой 1, отличается более поздним поступлением контрастного препарата. Группа 3 отличается от групп 1 и 2 продолжи-

Таблица 1

Характеристика непараметрических компонентов модели

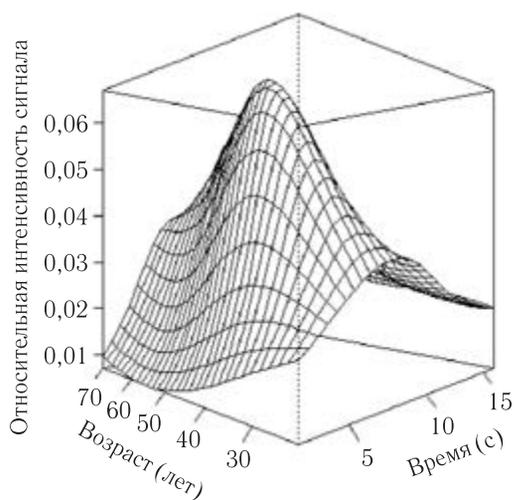
Table 1

Technical parameters of non-parametric components of the model

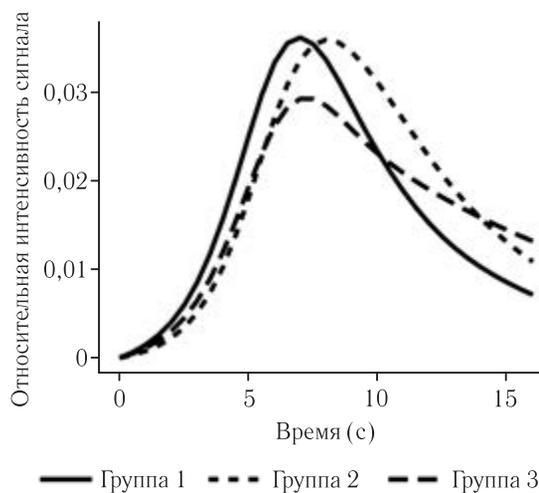
Параметр модели	Расчетные степени свободы (edf)	Расчетные остаточные степени свободы (redf)	Статистика критерия χ^2	p
s (ID)	82,0	96,0	722,5	$p < 0,001$
te (time, age):group1	13,6	15,7	213,2	$p < 0,001$
te (time, age):group2	12,8	14,9	842,0	$p < 0,001$
te (time, age):group3	13,7	15,7	332,2	$p < 0,001$

Примечание: time — время (с); age — возраст (лет); group1 — группа «без инфильтрации»; group2 — группа «легкое поражение»; group3 — группа «тяжелое поражение»; ID — идентификационный номер для смешанной модели.

Note: Time is in seconds; age is in years; group1 is the group of patients with no infiltration; group2 is the group of patients with minor lung damage; group3 is the group of patients with major lung damage; ID is an identification number for mixed model.



а



б

Рис. 3. Графическое представление модели с учетом факторов времени, возраста и групповой принадлежности: а — 3D-репрезентация; б — 2D-репрезентация

Fig. 3. Graphic representation of the model based on time, age and group: а — 3D representation; б — 2D representation

тельным выведением контрастного препарата по типу «плато». Кроме того, для группы 3 было характерно снижение интенсивности МР-сигнала по сравнению с остальными группами.

Графически (рис. 3, а) показана сложная нелинейная комбинация между временем накопления и возрастом, что подтверждает правильность включения в модель возраста испытуемого.

Кроме качественного анализа, выполнялся количественный анализ параметров легочной перфузии (табл. 2).

данную зависимость, что определяется отсутствием различий по показателям легочной перфузии (гРВФ, гРВВ, гМТТ) между группами пациентов с легким и тяжелым поражением легких. Кроме того, по данным исследователей выявлено несовпадение локализации перфузионных дефектов по результатам скintiграфического исследования легких и данным КТ-изображений. Авторы связывали это с увеличением возраста — чем старше пациент, тем выше риск несовпадения. По нашему мнению, это может свидетельствовать о системном поражении микроциркуляторного русла

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа параметров легочной перфузии

Table 2

The results of a comparative analysis of pulmonary perfusion parameters

Параметр	Без инфильтрации	Легкое поражение	Тяжелое поражение	Статистика критерия χ^2 (df)
гРВВ	0,50 [0,49; 0,56]	0,61 [0,59; 0,66]	0,63 [0,59; 0,66]	12,6 (2), p=0,007
гМТТ	8,96 [8,14; 9,20]	9,45 [9,30; 9,50]	9,48 [9,11; 9,73]	13,2 (2), p=0,007
гРВФ	0,06 [0,05; 0,07]	0,06 [0,06; 0,07]	0,07 [0,06; 0,07]	3,4 (2), p=0,323

Примечание: гРВВ — относительный объем легочной крови, гМТТ — относительное среднее время пассажа, гРВФ — относительный объем легочного кровотока.

Note: гРВВ is relative pulmonary blood volume, гМТТ is relative mean transit time, гРВФ is relative pulmonary blood flow.

В ходе межгруппового сравнения установлено, что по параметру гРВФ группы статистически не различаются ($p > 0,05$).

Структура различий по относительному объему легочной крови (параметр гРВВ) между группами была следующей: в группе без инфильтративных изменений наблюдался наименьший гРВВ по сравнению с группой пациентов, имевших поражение легкой ($\Delta = 27,5$, $p = 0,001$) и тяжелой степени ($\Delta = 27,4$, $p = 0,002$), тогда как пациенты с клинически выраженным течением COVID-19 не различались между собой ($\Delta = 0,0$, $p = 0,995$).

Структура межгрупповых различий по времени (параметр гМТТ) также характеризовалась отсутствием различий между группой с легким и тяжелым поражением легких ($\Delta = 5,4$, $p = 0,448$). В то же время пациенты без инфильтративных изменений легких имели меньшее время пассажа по сравнению с пациентами с легким поражением ($\Delta = 25,6$, $p = 0,002$) и тяжелым ($\Delta = 30,9$, $p = 0,001$).

Обсуждение. Нарушения перфузии легких являются важным патофизиологическим механизмом во время острой фазы COVID-19 и во многом обуславливают основные симптомы заболевания [2].

За исключением ряда работ [11], нарушения перфузии легких, особенно у пациентов на ранних стадиях после COVID-19, изучены недостаточно.

Так, De Sajal и соавт. [12] установили, что дефекты перфузии легких (любого типа) наблюдались у большинства (87%) пациентов на ранних стадиях после перенесенного COVID-19 и не различались между пациентами с COVID-19 средней и тяжелой степени. Полученные нами данные косвенно подтверждают

легких. В нашей работе продемонстрировано, что возраст является важной переменной для получения корректных результатов, в отличие от других индивидуальных параметров пациентов (например, пола).

J. Z. Yu и соавт. [13] отмечает, что на параметрических картах среднее время накопления до пика (ТТР) статистически значимо выше в группе пациентов, перенесших коронавирусную инфекцию, и составляет $0,43 \pm 0,04$ против $0,41 \pm 0,03$ ($p = 0,011$), свидетельствуя об общем замедлении пассажа контрастного препарата. В нашей работе были получены подобные результаты изменения количественных характеристик по параметру гМТТ (табл. 2) и качественных характеристик при построении кривых накопления (рис. 3). Необходимо отметить, что полученные в работе значения гМТТ различаются только между группами пациентов с поражением легких (группы 2 и 3) и без него (группа 1), но не между пациентами с легким (группа 2) и тяжелым (группа 3) поражением легких.

В работе Guillaume Fahrni и соавт. [14] было продемонстрировано увеличение доли объема сосудов в пораженной COVID-19 паренхиме легких в сравнении со здоровой легочной тканью. По полученным нами данным, минимальное значение гРВВ наблюдалось у пациентов без инфильтрации легочной ткани, а максимальное — у пациентов с поражением легких как легкой, так и тяжелой степени, что может отражать проявления венозного застоя после перенесенной коронавирусной инфекции.

Относительно вопроса выбора оптимальной модели бета-распределение является достаточно универсальным методом и может обеспечить базовое распределение для моделирования относительной перфузии

легких. В этой статье мы показываем пример использования линейных моделей со смешанными эффектами, в частности, обобщенной линейной модели с бета-распределением. Преимущество безразмерных величин и их корреляция с данными сцинтиграфии также были продемонстрированы ранее [15].

Это исследование можно рассматривать как опыт потенциального использования перфузионной МРТ легких с ДКУ в пост-COVID периоде, а последующие исследования должны сочетать несколько методов визуализации.

Наше исследование подтверждает наличие патологических изменений легочной перфузии у пациен-

тов, перенесших COVID-ассоциированное поражение легких.

Заключение. Таким образом, в ходе проведенного исследования показано, что выбранный способ оценки относительной легочной перфузии способен адекватно охарактеризовать функциональное состояние легких у пациентов с ранее перенесенной COVID-19 пневмонией, а выбранная модель является оптимальной. У пациентов с постковидными изменениями наблюдается замедление пассажа контрастного препарата и увеличение относительного объема легочной крови, а кривые накопления контрастного препарата имеют качественные отличия.

Сведения об авторах:

Захарова Анна Валерьевна — ассистент кафедры медицинской биофизики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; врач-рентгенолог отдела лучевой диагностики Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская многопрофильная больница № 2»; 194354, Санкт-Петербург, Учебный пер., д. 5; e-mail: ellin-ave@yandex.ru; ORCID 0009-0002-6560-6671; SPIN 6799-6535;

Гвоздецкий Антон Николаевич — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры психиатрии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: comisora@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8045-1220; SPIN 4430-6841;

Поздняков Александр Владимирович — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской биофизики и физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; e-mail: pozdnyakovalex@yandex.ru; ORCID 0000-0002-1110-066X; SPIN 1000-6408;

Позднякова Ольга Федоровна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры медицинской биофизики и физики, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; e-mail: goodmedic@yandex.ru; ORCID 0000-0001-6977-757X; SPIN 6186-4626.

Information about the authors:

Anna V. Zakharova — Assistant Professor of the Department of Medical Biophysics, St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 194100, Russia, St. Petersburg, Litovskaya Str. 2; Radiologist, Department of Radiology Diagnostics of St. Petersburg State Medical Institution «City Multidisciplinary Hospital No. 2»; 194354, Russia, St. Petersburg, Uchebny lane, 5; e-mail: ellin-ave@yandex.ru; ORCID 0009-0002-6560-6671, SPIN 6799-6535;

Anton N. Gvozdetkiy — Cand. of Sci. (Med.), Assistant Professor of the Department of Psychiatry, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov; 191015, Russia, St. Petersburg, Kirochnaya Str. 41; e-mail: comisora@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8045-1220; SPIN 4430-6841;

Alexander V. Pozdnyakov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Medical Biophysics and Physics of St. Petersburg State Pediatric Medical University; 194100, Russia, St. Petersburg, Litovskaya str., 2; e-mail: pozdnyakovalex@yandex.ru; ORCID 0000-0002-1110-066X; SPIN 1000-6408;

Olga F. Pozdnyakova — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Medical Biophysics and Physics, Radiologist of the Department of Radiation Diagnostics of St. Petersburg State Pediatric Medical University; 194100, Russia, St. Petersburg, Litovskaya str., 2; e-mail: goodmedic@yandex.ru; ORCID 0000-0001-6977-757X; SPIN 6186-4626.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *А. В. Захарова, А. В. Поздняков, О. Ф. Позднякова*; сбор и математический анализ данных — *А. Н. Гвоздецкий*; подготовка рукописи — *А. В. Захарова, А. В. Поздняков, А. Н. Гвоздецкий, О. Ф. Позднякова*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *AVZ, AVP, OFP* aided in the concept and plan of the study; *ANG* provided collection and mathematical analysis of data, *AVZ, ANG, AVP, OFP* — preparation of the manuscript.

Благодарность. А. И. Байрамовой за помощь при сборе и обработке данных, Е. А. Лавреновой за помощь с переводом.

Acknowledgements. Special gratitude for A. I. Bairamova for the help in data collection and processing and for E. A. Lavrenova for the help with translation.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. The authors declare no external funding for the study.

Соответствие принципам этики: Одобрения этического комитета не требовалось, информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: The approval of the ethics committee was not required, informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 13.06.2023 г.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023 г.

Опубликована/Published: 29.09.2023 г.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Polak S.B., Van Gool I.C., Cohen D., Von Der Thüsen J.H., Van Paassen J. A systematic review of pathological findings in COVID-19: a pathophysiological timeline and possible mechanisms of disease progression // *Modern Pathology*. 2020. Nov. Vol. 33, No. 11. P. 2128–2138. doi: 10.1038/s41379-020-0603-3.
- Lucatelli P., Del Monte M., De Rubeis G., Cundari G., Francone M., Panebianco V. et al. Did we turn a blind eye? The answer is simply there. Peripheral pulmonary vascular thrombosis in COVID-19 patients explains sudden worsening of clinical conditions // *Imaging*. 2020. Aug 6. Vol. 12, No. 1. P. 4–7. doi: 10.1556/1647.2020.00002.

3. Dhawan RT., Gopalan D., Howard L., Vicente A., Park M., Manalan K. et al. Beyond the clot: perfusion imaging of the pulmonary vasculature after COVID-19 // *The Lancet Respiratory Medicine*. 2021. Vol. 9, No. 1. P. 107–116. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30407-0.
4. Buonsenso D., Di Giuda D., Sigfrid L., Pizzuto D.A., Di Sante G., De Rose C. et al. Evidence of lung perfusion defects and ongoing inflammation in an adolescent with post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection // *Lancet Child Adolesc Health*. 2021. Sep. Vol. 5, No. 9. P. 677–680. doi: 10.1016/S2352-4642(21)00196-6.
5. Schiwiek M., Triphan S.M.F., Biederer J., Weinheimer O., Eichinger M., Vogelmeier C.F. et al. Quantification of pulmonary perfusion abnormalities using DCE-MRI in COPD: comparison with quantitative CT and pulmonary function // *Eur. Radiol*. 2022. Mar. Vol. 32, No. 3. P. 1879–1890. doi: 10.1007/s00330-021-08229-6.
6. Risse F., Eichinger M., Kauczor H.U., Semmler W., Puderbach M. Improved visualization of delayed perfusion in lung MRI // *European Journal of Radiology*. 2011. Jan. Vol. 77, No. 1. P. 105–110. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.07.025.
7. Albers G.W., Lansberg M.G., Kemp S., Tsai J.P., Lavori P., Christensen S. et al. A multicenter randomized controlled trial of endovascular therapy following imaging evaluation for ischemic stroke (DEFUSE 3) // *International Journal of Stroke*. 2017. Oct. Vol. 12, No. 8. P. 896–905. doi: 10.1177/1747493017701147.
8. Calamante F. Arterial input function in perfusion MRI: A comprehensive review // *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*. 2013. Oct. Vol. 74. P. 1–32. doi: 10.1016/0033-0215-13-01-01.
9. Soriano J.B., Kendrick P.J., Paulson K.R., Gupta V., Abrams E.M., Adedoyin R.A. et al. Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 // *The Lancet Respiratory Medicine*. 2020. Vol. 8, No. 6. P. 585–596. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30105-3.
10. Захарова А.В., Приц В.В., Поздняков А.В. Возможности количественной оценки регионарной легочной перфузии с использованием трехмерной сверхбыстрой динамической контрастной магнитно-резонансной томографии: предварительный опыт у 10 испытуемых // *Педиатрия (СПб)*. 2022. 18 апр. Т. 12, № 6. С. 15–26. [Zakharova A.V., Prits V.V., Pozdnyakov A.V. Quantitative Assessment of Regional Pulmonary Perfusion Using Three-Dimensional Ultrafast Dynamic Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging: Pilot Study Results in 10 Patients. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2022. April 18, Vol. 12, No. 6, pp. 15–26 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PED12615-26>.
11. Cobes N., Guemou M., Lussato D., Queneau M., Songy B., Bonardel G. et al. Ventilation/perfusion SPECT/CT findings in different lung lesions associated with COVID-19: a case series // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2020. Vol. 47, No. 10. P. 2453–2460. doi: 10.1007/s00259-020-04920-w.
12. Sajal D., Mudalsa R., Tinu L., Ranganath TG., Dibakar S. Lung Perfusion Scintigraphy Early After COVID-19: A Single-Center Retrospective Study // *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2021. Vol. 49, No. 4. P. 320–323. doi: 10.2967/jnmt.121.262440.
13. Yu J.Z., Granberg T., Shams R., Petersson S., Sköld M., Nyren S. et al. Lung perfusion disturbances in nonhospitalized post-COVID with dyspnea — A magnetic resonance imaging feasibility study // *J. Intern. Med*. 2022. Vol. 292, No. 6. P. 941–956. doi: 10.1111/joim.13558.
14. Fahmi G., Rocha A.C., Gudmundsson L., Pozzessere C., Qanadli S.D., Rotzinger D.C. Impact of COVID-19 pneumonia on pulmonary vascular volume // *Frontiers in Medicine* [Internet]. 2023 [cited 2023 May 10]. Vol. 10. doi: 10.3389/fmed.2023.1117151.
15. Lin Y.R., Tsai S.Y., Huang T.Y., Chung H.W., Huang Y.L., Wu F.Z. et al. Inflow-weighted pulmonary perfusion: comparison between dynamic contrast-enhanced MRI versus perfusion scintigraphy in complex pulmonary circulation // *J. Cardiovasc. Magn. Reson*. 2013. Vol. 15, No. 1. P. 21. doi: 10.1186/1532-429X-15-21.

Неврологические и нейропсихологические нарушения у людей, перенесших COVID-19

Глубокоуважаемые коллеги и пациенты!

Исследовательская группа ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова, с привлечением специалистов из других научных и клинических центров приглашает вас принять участие в проекте, посвященном изучению клинических, эпидемиологических, неврологических и психологических нарушений у людей, перенесших новую коронавирусную инфекцию (COVID-19).

Цель исследования заключается в определении основных последствий и осложнений со стороны нервной системы, нарушений в когнитивном и психическом благополучии человека в постковидном периоде для того, чтобы разработать и предложить комплекс мер по профилактике и преодолению. Исследование проводится на высоком методическом уровне с использованием современных диагностических инструментов (клинических, радиологических, молекулярно-генетических) для оценки метаболических и структурных изменений центральной и периферической нервной системы с учетом персонализированного подхода к пациенту.

Проект предусматривает разработку лечебных и профилактических технологий в практическом здравоохранении для пациентов, перенесших COVID-19, нуждающихся в коррекции психоневрологического статуса.

Предлагаем вам пройти первый этап исследования — краткое анкетирование, направленное на выявление эпидемиологических и клинических особенностей заболевания.

Второй этап предполагает индивидуальное консультирование и обследование врачами-специалистами.

Третий этап предназначен для пациентов с выраженными последствиями COVID-19, требующих проведения специализированного лечения и реабилитации.

Для участия в исследовании приглашаются пациенты, переболевшие новой коронавирусной инфекцией, которая была подтверждена методом ПЦР, в возрасте от 18 до 60 лет, готовые пройти обследование и подписать добровольное информированное согласие.

Участие в исследовательском проекте является добровольным и бесплатным на всех этапах.

К работе привлечены ведущие специалисты, которые объединены в одну клиничко-исследовательскую группу. Будем признательны, если вы распространите данную информацию среди близких людей.

Благодарим вас за участие!

Форму участия в исследовании можно найти, воспользовавшись ссылкой на сайт:

<https://forms.yandex.ru/u/63bd639d3e9d081b9a840855/>.

или QR-код:



УДК 616-073+616-006.4

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-61-66>

КОРРЕЛЯЦИЯ МР-ПЕРФУЗИИ ЛЕГКИХ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕНЕСЕННОЙ COVID-19 С КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКОЙ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ОСТРОЙ ФАЗЫ ЗАБОЛЕВАНИЯ

А. В. Захарова✉*

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Городская многопрофильная больница № 2, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: В последнее десятилетие возрос интерес к новым диагностическим методикам оценки количественных показателей в лучевой диагностике. В частности, точные количественные значения могут быть полезными для оценки анатомических или физиологических изменений в легких у пациентов, перенесших COVID-19.

ЦЕЛЬ: Апробация алгоритма количественной полуавтоматической обработки КТ-изображений пациентов с подтвержденной COVID-19 инфекцией и сопоставление результатов с данными МР-перфузии легких после перенесенной коронавирусной инфекции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Ретроспективно проанализированы данные 100 СКТ органов грудной клетки пациентов, перенесших COVID-19. Проводилась 3D-сегментация легких с автоматическим подсчетом числа выделенных пикселей на каждом срезе. Для количественного анализа данных использовалась классификация, основанная на значении плотности каждого пикселя в соответствии со шкалой Хаунсфилда. Полученные данные сопоставлялись с количественными параметрами легочной МР-перфузии этих пациентов.

Статистика. Использовались обобщенная аддитивная модель с бета-распределением, коэффициент корреляции Спирмена, поправка Беньямини–Йекутили использовалась для коррекции полученных р-значений. Результаты признавались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Наблюдается корреляция между данными количественного анализа СКТ (долями пикселей, соответствующих невентилируемой и гиповентилируемой легочной ткани) и распределением данных СКТ по группам в соответствии с эмпирической визуальной шкалой. Получена корреляция между функциональными параметрами перфузии и КТ-картиной: гМТТ — 0,35 ($p=0,001$), гРВФ — 0,23 ($p=0,038$) и гРВВ — 0,35 ($p=0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ: Использование предложенного в работе алгоритма количественной полуавтоматической обработки КТ-изображений позволяет получить числовые данные, объективно отражающие процент пораженной легочной ткани, что особенно актуально в диагностике COVID-19 пневмонии. Полученная корреляция между функциональными параметрами перфузии и КТ-картиной может потенциально являться маркером патологических изменений легких после перенесенной COVID-19 пневмонии, что требует дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Количественная обработка КТ-изображений позволила корректно сопоставить КТ-картину поражения легких при COVID-19 с данными МР-перфузии легких после перенесенной COVID-19 инфекции, что потенциально может иметь прогностическое значение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: COVID-19, количественная оценка КТ-изображений, МР-перфузия

*Для корреспонденции: Захарова Анна Валерьевна, e-mail: ellin-ave@yandex.ru

Для цитирования: Захарова А.В. Корреляция МР-перфузии легких у пациентов с перенесенной COVID-19 с количественной оценкой КТ-изображений острой фазы заболевания // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 61–66, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-61-66>.

CORRELATION OF MR PULMONARY PERFUSION IN PATIENTS WITH COVID-19 WITH QUANTITATIVE ASSESSMENT OF ACUTE PHASE CT IMAGES

Anna V. Zakharova *

St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia
City Multidisciplinary Hospital No. 2, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: In the last decade, there has been an increased interest in new diagnostic techniques for assessing quantitative values in radiology. In particular, accurate quantitative values may be useful to assess anatomical or physiological changes in the lungs in patients with previously treated COVID-19 infection.

OBJECTIVE: To test a quantitative semi-automated algorithm for CT imaging in patients with confirmed COVID-19 infection and to compare the results to MR lung perfusion after coronavirus infection.

MATERIALS AND METHODS: The data from 100 chest CT scans of patients with COVID-19 were retrospectively analyzed. 3D segmentation of the lungs was carried out with automatic counting of the number of separated pixels in each slice. For quantitative data analysis, classification based on the density value of each pixel according to the Hounsfield scale was used. The obtained data were compared with quantitative parameters of pulmonary MR perfusion in these patients.

Statistics. Generalized additive model with beta distribution, Spearman correlation coefficient was used, Benjamini-Yekutieli correction was used to correct obtained p-values. Comparisons were determined as statistically significant when $p < 0.05$.

RESULTS: There was a correlation between quantitative CT data (fractions of pixels corresponding to non-ventilated and hypo-ventilated lung tissue) and the distribution of CT data into groups according to an empirical visual scale. We obtained a correlation between the functional perfusion parameters and the CT images: $r_{MTT} = -0.35$ ($p=0.001$), $r_{PBF} = 0.23$ ($p=0.038$) and $r_{PBV} = 0.35$ ($p=0.001$).

DISCUSSION: Using the algorithm of quantitative semi-automatic processing of CT-images suggested in this work allows to obtain numerical data, objectively reflecting percentage of affected lung tissue, that is especially relevant for diagnostics of COVID-19 pneumonia. The obtained correlation between functional perfusion parameters and CT picture can be potentially a marker of the lung pathological changes after COVID-19 pneumonia, that requires further investigations.

CONCLUSION: Quantitative processing of CT-images allowed to correctly compare the CT scans of lung lesions in COVID-19 with MR lung perfusion data after COVID-19 infection which could potentially be of prognostic value.

KEYWORDS: COVID-19, quantitative assessment of CT images, MR perfusion

*For correspondence: Anna V. Zakharova, e-mail: ellin-ave@yandex.ru

For citation: Zakharova A.V. Correlation of MR pulmonary perfusion in patients with COVID-19 with quantitative assessment of acute phase CT images // Diagnostic radiology and radiotherapy. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 61–66, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-61-66>.

Введение. Важнейшим критерием эффективности диагностики изменений в легких у пациентов, перенесших COVID-19, являются клинические показатели. Однако в последнее десятилетие стали обращать внимание на новые диагностические методики оценки количественных показателей, характеризующих перфузионные изменения легочной ткани [1]. Одна из таких методик — количественная оценка перфузионных изменений легочной ткани. Ранее используемые перфузионные карты не всегда позволяли получить комплексную оценку состояния ткани легких при отдаленных изменениях или в остром периоде подобных состояний. Вместе с тем точные количественные значения могут быть полезными для оценки анатомических или физиологических изменений в легких у пациентов, перенесших COVID-19.

Цель. Апробация алгоритма количественной полуавтоматической обработки КТ-изображений пациентов с подтвержденной COVID-19 инфекцией и сопоставление результатов с данными МР-перфузии легких после перенесенной коронавирусной инфекции.

Материалы и методы. Одобрения этического комитета не требовалось, информированное согласие получено от каждого пациента. Ретроспективно проанализированы данные 100 СКТ органов грудной клетки пациентов, принявших участие в исследовании легочной перфузии методом МРТ [2]. Все СКТ-исследования были выполнены на аппарате SOMATOM Definition фирмы Siemens (64-срезовый мультиспиральный компьютерный томограф) в остром периоде болезни пациента, по стандартной методике (без внутривенного контрастного усиления, напряжение на трубке 120 кВ, 100–750 мА, с реконструкцией срезов по 5,0 мм).

Анализ изображений. Все КТ-изображения были обработаны с помощью специального программного обеспечения Horos v3.3.6¹ (GNU Lesser General Public License, версия 3). Проводилась 3D-сегментация легких с автоматическим подсчетом числа выделенных пикселей на каждом срезе (рис. 1).

Далее для количественного анализа данных использовалась классификация, основанная

¹ <https://horosproject.org/>.

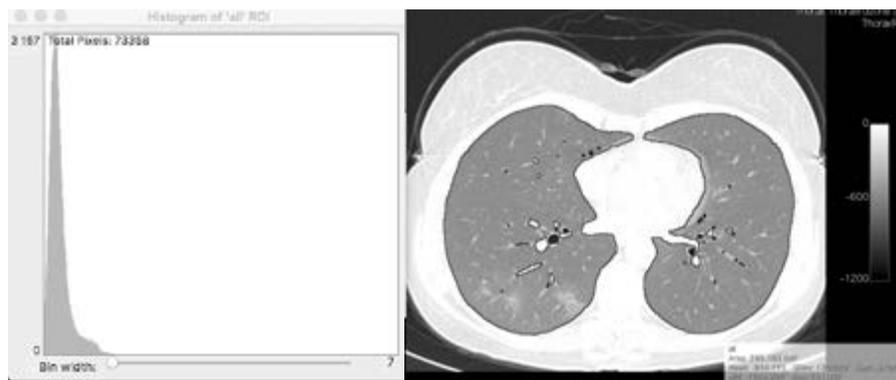


Рис. 1. Пример автоматической сегментации легких в программе Horos. Контурные зоны интереса обозначены черной линией, в левой части изображения представлена гистограмма выделенной ROI для данного среза

Fig. 1. Example of automatic lung segmentation in Horos software. The contours of the area of interest are indicated by a black line, and the left side of the image shows a histogram of the selected ROI for that CT-scan

на значении плотности каждого пикселя в соответствии со шкалой Хаунсфилда, предложенная авторами Cressoni [3] и Gattinoni [4]:

- невентилируемая легочная ткань плотностью от +100 до –100 HU;
- гиповентилируемая легочная ткань плотностью от –101 HU до –500 HU;
- хорошо вентилируемая легочная ткань плотностью от –501 HU до –900 HU;
- гипervентилируемая легочная ткань плотностью от –901 до –1000 HU.

Количественный анализ данных производился для каждого среза в зоне интереса. Полученная итоговая сумма пикселей оценивалась в соответствии с вышеприведенной классификацией.

Основываясь на характерном для вирусной пневмонии КТ-паттерне — участки «матового стекла», консолидации и ретикулярных изменений в паренхиме легких [5, 6] — было предположено, что цифровым отражением площади и выраженности инфильтративных изменений будет доля пикселей, соответствующих невентилируемой и гиповентилируемой легочной ткани (от +100 до –500 HU). Выбранный диапазон считается оптимальным при количественной оценке КТ-изображений легких [7–9]. Данный показатель послужил цифровым аналогом визуальной эмпирической шкалы, косвенно свидетельствуя о тяжести поражения легких, что позволило сопоставить параметры МР-перфузии легких в постковидном периоде с данными СКТ в острой фазе болезни.

Для наглядности полученных результатов данные СКТ были сгруппированы в соответствии с эмпирической визуальной шкалой следующим образом:

- группа «без инфильтрации» — без признаков инфильтративных изменений легких;
- группа «легкое поражение» — с поражением <50% легочной паренхимы по данным СКТ (в соответствии с эмпирической визуальной шкалой);
- «тяжелое поражение» — с поражением >50% легочной паренхимы по данным СКТ (в соответствии с эмпирической визуальной шкалой).

Статистический анализ. Моделирование кривой «интенсивность сигнала-время» и вычисление параметров легочной перфузии производилось при помощи библиотеки `mgcv` в соответствии с предыдущей работой А. В. Захаровой и соавт. [2]. Однако была выполнена модификация синтаксиса модели в части независимых переменных: принадлежность к группе была заменена на натуральный логарифм доли пикселей, соответствующих гипо- и невентилируемой легочной ткани. Остальные параметры и характеристики остались прежними [2]. Сила связи между параметрами МР-перфузии легких и данными количественного обсчета КТ оценивалась коэффициентом корреляции Спирмена. Поправка Беньямини–Йекутили использовалась для коррекции полученных р-значений. Результаты признавались статистически значимыми при $p < 0,05$. Все расчеты выполнены на языке программирования R v4.3.0.

Результаты. После количественной обработки КТ-изображений были получены групповые гистограммы (рис. 2).

Полученные гистограммы отражают наибольший процент невентилируемой и гиповентилируемой легочной ткани в группе «тяжелое поражение», минимальный — в группе «без инфильтрации».

На рис. 3 представлена корреляция между данными количественного анализа СКТ (долями пикселей, соответствующих невентилируемой и гиповентилируемой легочной ткани) и распределением данных СКТ по группам в соответствии с эмпирической визуальной шкалой.

Полученная корреляция позволила выполнить замену переменной «группа» на непрерывную численную характеристику в модели расчетов, использованной в предыдущей работе А. В. Захаровой и соавт. [2]. После замены параметра характеристики модели несколько улучшились (RMSE 9,9%, R^2 0,535, объясненный девианс 64,6%).

Также были вычислены количественные параметры легочной перфузии и продемонстрирована их

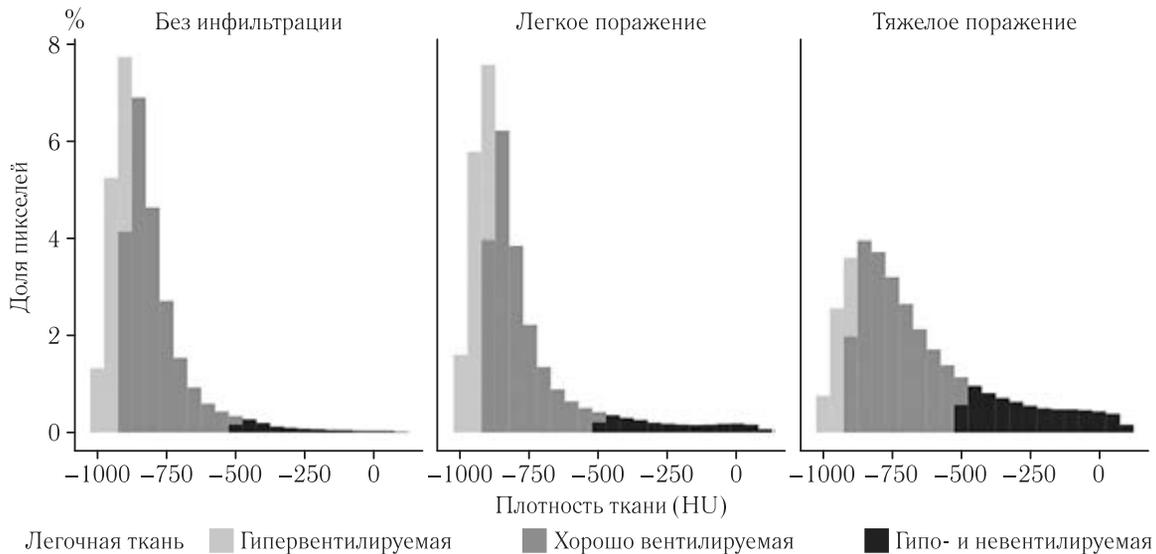


Рис. 2. Распределение долей пикселей, соответствующих невентилируемой, гиповентилируемой, хорошо вентилируемой и гипервентилируемой легочной ткани

Fig. 2. Distribution of pixel fractions corresponding to unventilated, hypoventilated, well-ventilated, and hyperventilated lung tissue

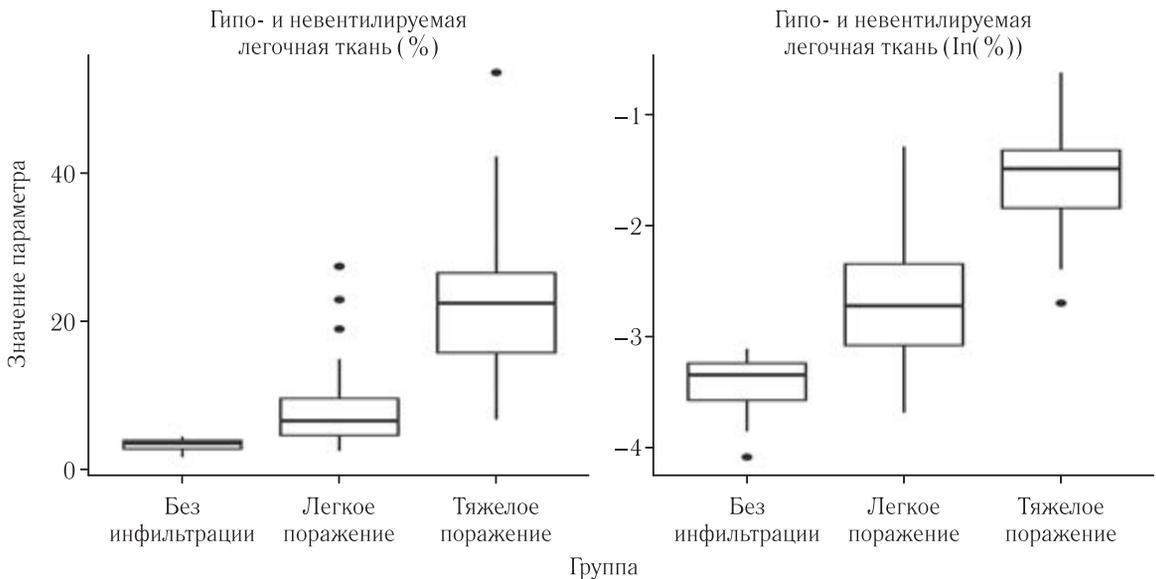


Рис. 3. Графическое представление долей невентилируемой и гиповентилируемой легочной ткани по данным СКТ каждой из групп

Fig. 3. Graphical representation of the proportions of unventilated and hypoventilated lung tissue according to CT scans of each group

корреляция с данными количественного анализа КТ (рис. 4) [2].

Как видно из рис. 4, чем выше процент поражения легких (доля пикселей, соответствующих невентилируемой и гиповентилируемой легочной ткани), тем больше значение относительных параметров легочной перфузии (гМТТ, гРВФ и гРВВ). Коэффициенты корреляции: гМТТ — 0,35 ($p=0,001$), гРВФ — 0,23 ($p=0,038$) и гРВВ — 0,35 ($p=0,001$).

Таким образом, компьютерная томография грудной клетки имеет решающее значение для диагностики COVID-19, однако в настоящее время ее цен-

ность ограничена преимущественно качественной оценкой с использованием эмпирической визуальной шкалы. Преимущества количественной оценки КТ-изображений были показаны ранее [7–10], в том числе при сравнении с методиками визуальной оценки поражения легких [11]. В данной работе было продемонстрировано улучшение результатов обработки данных МР-перфузии легких. Кроме того, полученная корреляция между функциональными параметрами перфузии и КТ-картиной может потенциально являться маркером патологических изменений легких после перенесенной COVID-19 пневмонии, что требует дальнейших исследований.

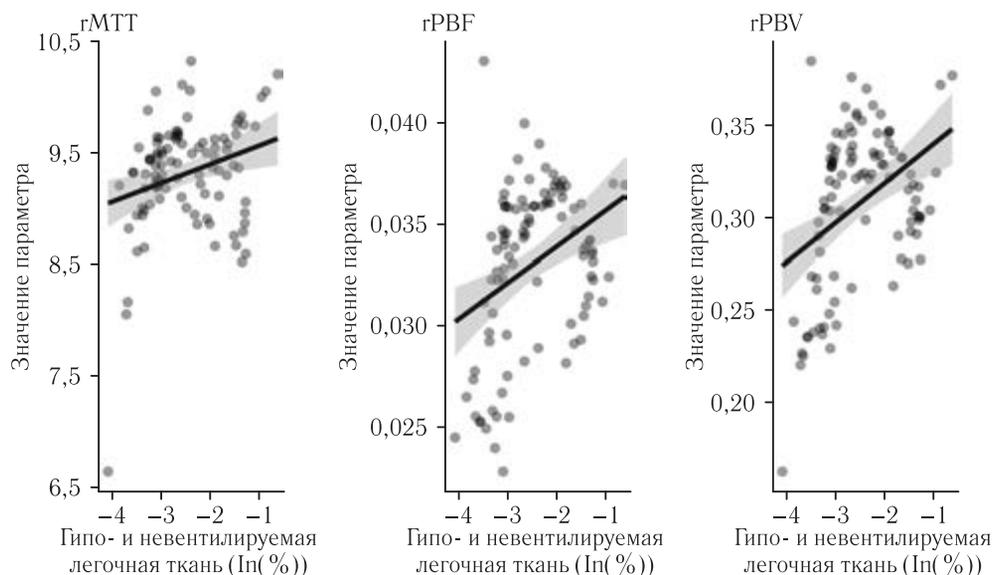


Рис. 4. Корреляция количественных параметров легочной перфузии по данным МРТ в постковидном периоде и их корреляция с данными количественного анализа КТ

Fig. 4. Correlation of quantitative pulmonary perfusion parameters according to MRI data in the post-COVID-19 period and their correlation with CT quantitative analysis data

Заключение. Использование предложенного в работе алгоритма количественной полуавтоматической обработки КТ-изображений позволяет получить числовые данные, объективно отражающие процент пораженной легочной ткани, что особенно актуально в диагностике COVID-19 пневмонии.

Количественная обработка КТ-изображений позволила корректно сопоставить КТ-картину поражения легких при COVID-19 с данными МР-перфузии легких после перенесенной COVID-19 инфекции, что потенциально может иметь прогностическое значение.

Сведения об авторе:

Захарова Анна Валерьевна — ассистент кафедры медицинской биофизики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; врач-рентгенолог отдела лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская многопрофильная больница № 2»; 194354, Санкт-Петербург, Учебный пер., д. 5; e-mail: ellin-ave@yandex.ru; ORCID 0009-0002-6560-6671.

Information about the author:

Anna V. Zakharova — Assistant Professor of the Department of Medical Biophysics. St Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 194100, Russia, St. Petersburg, Litovskaya Str. 2; Radiologist, Department of Radiology Diagnostics of St. Petersburg State Medical Institution «City Multidisciplinary Hospital No. 2»; 194354, St. Petersburg, Uchebny lane, 5; e-mail: ellin-ave@yandex.ru; ORCID 0009-0002-6560-6671.

Вклад автора. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (автор внес существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочел и одобрил финальную версию перед публикацией).

Authors' contributions. The author meets the ICMJE authorship criteria.

Благодарность. А. Н. Гвоздецкому за помощь при сборе и обработке данных, А. В. Позднякову за помощь при подготовке рукописи.

Acknowledgements. Special gratitude for A. N. Gvozdetkiy for the help in data collection and processing and for A. V. Pozdnyakov for the help with preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The author declares that she has no competing interests.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. The author declares no external funding for the study.

Соответствие принципам этики: Одобрения этического комитета не требовалось, информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: The approval of the ethics committee was not required, informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 08.08.2023 г.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023 г.

Опубликована/Published: 29.09.2023 г.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Черняк А.В., Карчевская Н.А., Скоробогач И.М., Лещинская О.В., Калманова Е.Н., Зыков К.А., Петриков С.С. Функциональные и количественные компьютерно-томографические изменения бронхолегочной системы у пациентов, перенесших COVID-19 // *Медицинский совет*. 2022. Т. 16, № 18. С. 113–121. [Cherniak A.V., Karchevskaya N.A., Skorobogach I.M., Leshchinskaya O.V., Kalmanova E.N., Zykov K.A., Petrikov S.S. Functional and quantitative computed tomographic changes in the bronchopulmonary system in patients who have undergone COVID-19. *Medical advice*, 2022, Vol. 16, No. 18, pp. 113–121 (In Russ.)]. doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-18-113-121.

2. Захарова А.В., Гвоздецкий А.Н., Поздняков А.В., Позднякова О.Ф. Методика оценки легочной перфузии у пациентов с ранее перенесенной COVID-19 пневмонией: клиническое контролируемое нерандомизированное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 46–52 [Zakharova A.V., Gvozdetzkiy A.N., Pozdnyakov A.V., Pozdnyakova O.F. A technique for assessing pulmonary perfusion in patients with previously treated COVID-19 pneumonia: clinical controlled non-randomized study. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2023, Vol. 14, No. 3, pp. 46–52 (In Russ.)]. doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-46-52>.
3. Cressoni M., Gallazzi E., Chiuazzini C., et al. Limits of normality of quantitative thoracic CT analysis // *Crit. Care*. 2013. Vol. 17, No. 3. P. R93. doi: 10.1186/cc12738.
4. Gattinoni L., Chiumello D., Cressoni M., Valenza F. Pulmonary computed tomography and adult respiratory distress syndrome // *Swiss Med. Wkly*. 2005. doi: 10.4414/sm.w.2005.10936.
5. Сперанская А.А. Лучевые проявления новой коронавирусной инфекции COVID-19 // *Лучевая диагностика и терапия*. 2020. Т. 11, № 1. С. 18–25. [Speranskaya A.A. Radiological signs of a new coronavirus infection COVID-19. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2020, Vol. 11, No. 1, pp. 18–25 (In Russ.)]. doi: 10.22328/2079-5343-2020-11-1-18-25.
6. Сперанская А.А., Осипов Н.П., Лыскова Ю.А., Амосова О.В. КТ-диагностика последствий COVID-19 поражения легких // *Лучевая диагностика и терапия*. 2022. Т. 12, № 4. С. 58–64. [Speranskaya A.A., Osipov N.P., Lyskova Yu.A., Amosova O.V. CT patterns of residual changes in COVID-19 lung lesions. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2022, Vol. 12, No. 4, pp. 58–64 (In Russ.)]. doi: 10.22328/2079-5343-2021-12-4-58-64.
7. Shalmon T., Salazar P., Horie M., et al. Predefined and data driven CT densitometric features predict critical illness and hospital length of stay in COVID-19 patients // *Sci. Rep*. 2022. Vol. 12, No. 1. P. 8143. doi: 10.1038/s41598-022-12311-4.
8. Lanza E., Muglia R., Bolengo I., et al. Quantitative chest CT analysis in COVID-19 to predict the need for oxygenation support and intubation // *Eur. Radiol*. 2020. Vol. 30, No. 12. P. 6770–6778. doi: 10.1007/s00330-020-07013-2.
9. Caruso D., Zerunian M., Polici M., et al. Diagnostic performance of CT lung severity score and quantitative chest CT for stratification of COVID-19 patients // *Radiol. Med. (Torino)*. 2022. Vol. 127, No. 3. P. 309–317. doi: 10.1007/s11547-022-01458-9.
10. Шарияти Ф., Завьялов С.В., Павлов В.А., Первунина В.А. INF-SEG: Автоматический метод сегментации и количественного определения для диагностики COVID-19 на основе КТ // *Computing, Telecommunication and Control*. 2022. Т. 15, № 3. С. 7–21. [Shariaty F., Zavjalov S.V., Pavlov V.A., Pervunina T.M., Orooji M. Inf-Seg: automatic segmentation and quantification method for CT-based COVID-19 diagnosis. *Computing, Telecommunication and Control*, 2022, Vol. 15, No. 3, pp. 7–21 (In Russ.)]. doi: 10.18721/JCSTCS.15301.
11. Shen C., Yu N., Cai Sh., et al. Quantitative computed tomography analysis for stratifying the severity of Coronavirus Disease 2019 // *J. Pharm. Anal*. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 123–129. doi: 10.1016/j.jpaha.2020.03.004.

Тематические издания, посвященные изучению COVID-19



Монографии подготовлены в виде избранных лекций по отдельным направлениям как информационно-аналитическое издание для непрерывного медицинского образования с использованием первого клинического опыта. На основании анализа публикаций ведущих клиник и лабораторий, работающих в области изучения новой коронавирусной инфекции COVID-19, освещены природа вируса, патогенез и клинические проявления заболевания. Дан анализ применяемых методов лечения и профилактики. Введены элементы анализа течения инфекции в различных регионах и странах мира, представлено осмысление авторами эпидемического процесса и организации помощи больным. В ряду диагностических методов описаны клинические, лабораторные и инструментальные, включая молекулярно-биологические, биохимические, радиологические исследования возможных изменений. Уделено особое внимание иммунной системе и органам пищеварения при COVID-19.

Издания подготовлены для врачей и клинических ординаторов различного профиля, работающих в период развития эпидемии коронавирусной инфекции, аспирантов и студентов медицинских вузов.

Приобрести книги вы можете на сайте
Балтийского Медицинского Образовательного Центра
<https://bmoc-spb.ru/izdat/>, тел.: (812) 956-92-55

УДК 616.381-002-073.756.8-089.06:616-097-022
<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-67-73>

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОСТРОЙ АБДОМИНАЛЬНОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ИНФЕКЦИИ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹Н. В. Климова^{ORCID}, ²А. А. Гаус^{ORCID*}, ²И. А. Гаус^{ORCID}

¹Сургутский государственный университет, Сургут, Россия
²Сургутская окружная клиническая больница, Сургут, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Актуальность данной работы обусловлена сложностью лечения тяжелых острых хирургических, особенно деструктивных, инфекций брюшной полости. Основой улучшения результатов является усовершенствование ранней лучевой диагностики этих заболеваний.

ЦЕЛЬ: Систематизация подходов в лучевой диагностике острой абдоминальной хирургической инфекции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проанализированы данные 300 пациентов (мужчин — 182, женщин — 128) в возрасте от 36 до 72 лет, проходивших лечение в бюджетном учреждении «Сургутская окружная клиническая больница» в период с 2019 по 2022 г. Средний возраст пациентов составил 49,2 года (мужчин 59,7 года, женщин — 51 год). В ходе исследования проведен сравнительный анализ результатов различных методов лучевого обследования при острой абдоминальной хирургической инфекции, а также представлены ключевые аспекты алгоритма лучевой диагностики.

Статистика. Статистическую обработку и систематизацию данных лучевой диагностики проводили с расчетом чувствительности и специфичности. Описание категориальных переменных осуществлялось при помощи абсолютных значений и доли от целого — n (%). Результаты вычислений показателей не выявили значительных различий в группе обследованных мужчин и женщин.

РЕЗУЛЬТАТЫ: На начальном этапе диагностики были выделены два основных рентгеноморфологических синдрома острой абдоминальной хирургической инфекции: распространенного воспалительного процесса (перитонит и панкреонекроз) и ограниченного воспалительного процесса (абсцессы различных локализаций). На основе синдромального подхода в дальнейшем не только проводилась нозологическая диагностика этой патологии, но и определялись подходы к тактике хирургического лечения больных.

ОБСУЖДЕНИЕ: Обоснованный ведущим клинико-рентгенологическим синдромом выбор метода лучевого обследования больных с острой абдоминальной хирургической инфекцией приводит к ранней диагностике и лечению острой абдоминальной хирургической инфекции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: острая абдоминальная хирургическая инфекция, алгоритм лучевого обследования.

*Для корреспонденции: Гаус Анна Алексеевна, e-mail: gae_74_78@mail.ru

Для цитирования: Климова Н.В., Гаус А.А., Гаус И.А. Системный подход в лучевой диагностике острой абдоминальной хирургической инфекции: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 67–73, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-67-73>.

SYSTEMIC APPROACH TO IMAGING OF ACUTE ABDOMINAL SURGICAL INFECTION: A PROSPECTIVE STUDY

¹Natalya V. Klimova^{ORCID}, ²Anna A. Gaus^{ORCID*}, ²Ivan A. Gaus^{ORCID}

¹Surgut State University, Surgut, Russia
²Surgut District Clinical Hospital, Surgut, Russia

INTRODUCTION: The relevance of this work is due to the complexity of the treatment of severe acute surgical, especially destructive, infections of the abdominal cavity. The basis for improving results is the improvement of early radiological diagnosis of these diseases.

OBJECTIVE: Of this study was to systematize the approaches in the radiodiagnosis of acute abdominal surgical infection.

MATERIALS AND METHODS: The study analyzed the results of studies of 300 observations (men — 182, women — 128) aged 36 to 72 years who were treated at the Budgetary Institution «Surgut Regional Clinical Hospital» in the period from 2019 to 2022. The mean age of the patients was 49.2 years (59.7 years for men and 51 years for women). In the course of the study, a comparative analysis of the results of various methods of radiological examination in acute abdominal surgical infection was carried out, and key aspects of the radiodiagnosis algorithm were presented.

Statistics. Statistical processing and systematization of these methods of radiation diagnostics was carried out with the calculation of sensitivity and specificity. The description of categorical variables was carried out using absolute values and a fraction of the whole — n (%). The results of calculating the indicators did not reveal significant differences in the group of men and women examined.

RESULTS: At the initial stage of diagnosis, two main X-ray morphological syndromes of acute abdominal surgical infection were identified: a widespread inflammatory process (peritonitis and pancreatic necrosis) and a delimited inflammatory process (abscesses of various localizations). Based on the syndromic approach, not only the nosological diagnosis of this pathology was subsequently carried out, but also approaches to the tactics of surgical treatment of patients were determined.

DISCUSSION: The choice of the method of radiation examination of these patients, justified by the leading clinical and radiological syndrome, leads to early diagnosis and treatment of acute abdominal surgical infection.

KEYWORDS: acute abdominal surgical infection, radiological examination algorithm.

*For correspondence: Anna A. Gaus, e-mail: gaa_74_78@mail.ru

For citation: Klimova N.V., Gaus A.A., Gaus I.A. Systemic approach to imaging of acute abdominal surgical infection: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 66–73, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-66-73>.

Введение. Лечение и диагностика острых абдоминальных хирургических инфекций (ОАХИ) до настоящего времени являются достаточно сложными проблемами для хирургического сообщества¹ [1, 2]. Деструктивные инфекционные заболевания брюшной полости, которые зачастую осложняются сепсисом, занимают одно из первых мест. При этом летальность по оценкам разных авторов колеблется от 19 до 60% в случае развития абдоминального сепсиса и распространенного перитонита. В настоящее время целый ряд абдоминальных инфекций, как возникающих под влиянием возбудителей из желудочно-кишечного тракта, так и проникающих в брюшную полость извне, объединены термином «интраабдоминальная инфекция» [1, 3, 4]. Причиной развития этих заболеваний может стать поражение любого органа этой зоны: от дистального отдела пищевода до органов малого таза [2, 3, 5]. При этом деструкция и перфорация органов брюшной полости (ОБП) играют ведущую роль в развитии абдоминальной инфекции (около 80% всех случаев)² [6, 7].

Впервые классификация интраабдоминальной инфекции была принята в 2016 г. Российской ассоциацией специалистов по хирургическим инфекциям (РАСХИ) и Российским обществом хирургов (РОХ), на основании которой выделяются следующие виды.

1. Неосложненная интраабдоминальная инфекция, при которой нет признаков системной воспалительной реакции и распространенного перитонита, отсутствует вовлечение в деструктивный и/или

нагноительный процесс соседних зон. В данном случае избирается либо хирургический, либо консервативный метод лечения (например, острый аппендицит, острый холецистит и т.д.). Однако в ряде случаев до оперативного вмешательства и даже во время операции сложно оценить грань между региональным и местным инфицированием.

2. Осложненная интраабдоминальная инфекция, особенностью которой является порой значительная протяженность процесса за пределы зоны инфицирования в виде развития неограниченных перитонитов, множественных деструкций, перфораций, абсцедирований (местный или распространенный перитонит). Такая патология отличается тяжестью и требует быстрого хирургического устранения или ограничения области нагноения, санации патологического очага и антибактериальной терапии.

Дифференциальная диагностика осложненной и неосложненной интраабдоминальной инфекции резко ограничена временными интервалами и относительно объективными клиническими критериями.

В 2017 г. РОХ была утверждена окончательная классификационная схема диагностики перитонитов, где обозначили этиологические особенности воспалительного процесса, его распространенность, тяжесть состояния пациентов, характер экссудата и наличие интра- и экстраабдоминальных осложнений.

Однако данная схема является сугубо клинической. Полная диагностика ОАХИ проводится как на дооперационном (проспективная), так и на

¹ Абдоминальная хирургическая инфекция: клиника, диагностика, антимикробная терапия: практическое руководство / под ред. В. С. Савельева, Б. Р. Гельфанда. М.: Литтерра, 2006. 168 с. (Серия «Практические руководства»).

² Хирургические инфекции: практическое руководство / под ред. И. А. Ерюхина, Р. Гельфанда, С. А. Шляпникова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Литтерра, 2006. 736 с. (Серия «Практические руководства»).

послеоперационном (ретроспективная) этапе. Вместе с тем результаты лечения напрямую зависят от скорости диагностики данной патологии, в том числе лучевой. Своевременное проведение лучевого обследования с применением наиболее информативных методов позволяет снизить затраты времени на принятие оптимального решения по лечению. Правильный диагностический алгоритм лучевой диагностики с применением оптимальных методов визуализации области интереса позволит получать больше ответов на предоперационном этапе.

В мире на протяжении последних десяти лет были опубликованы различные научные исследования по лечению и рентгенодиагностике ОАХИ. Однако до настоящего времени единого взгляда на эту проблему ни среди хирургов, ни среди рентгенологов так и не существует, как нет и оптимального алгоритма лучевой диагностики. Применение всех методов исследования, предложенных ранее, иногда лишь затягивает и усложняет нозологическую диагностику. Ввиду этого возникает закономерная необходимость в правильной оценке информативности каждого из методов лучевой диагностики в данных ситуациях.

Известно, что возможности обзорной рентгенографии ОБП (органов брюшной полости) ограничиваются выявлением перфорации полого органа и кишечной непроходимости, возможности ультразвукового исследования (УЗИ) — патологией паренхиматозных органов, а также резко снижены при повышенном газообразовании в кишечнике и асците, возможности рентгенографии ОБП с пероральным контрастированием желудочно-кишечного тракта ограничиваются наличием и уровнем стеноза тонкой кишки, а возможности фистулографии — обнаружением наружных свищей, которые наиболее целесообразно выявлять при мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ).

Единственный метод, позволяющий не только быстро и одновременно получить изображение всех

минальные хирургические инфекции, не рассматривается как метод выбора из-за длительности исследования и тяжести состояния пациентов.

Ввиду всего вышесказанного необходимость усовершенствования систематизации подходов к диагностике острой хирургической абдоминальной инфекции в настоящее время является очевидной.

Цель. Систематизация подходов в лучевой диагностике острой абдоминальной хирургической инфекции.

Материалы и методы. Исследование одобрено этическим комитетом Сургутского государственного университета Ханты-Мансийского автономного округа (протокол № 9 от 16.09.2022 г.). Информированное добровольное согласие на проведение обследования и лечения получено от каждого пациента.

В процессе работы были изучены данные 300 пациентов с ОАХИ (мужчин — 182, женщин — 128), в возрасте от 36 до 72 лет (средний возраст мужчин 59,7 года, женщин — 51 год), проходивших лечение в БУ «Сургутская окружная клиническая больница» в периоды с 2019 по 2022 г. Оценка независимости распределения частот между категориальными переменными изучалась критерием хи-квадрат (χ^2 — степень свободы). Различия признавались статистически значимыми при вероятности ошибки первого рода менее 5% ($p < 0,05$). Все расчеты производились на языке программирования R v3.6.1.

На начальном этапе ввиду сложности нозологической диагностики применялся синдромальный подход в лучевой диагностике острой абдоминальной хирургической инфекции на основе выделения ведущих клинико-рентгенологических синдромов: синдрома распространенного воспалительного процесса (30,3%, $n=101$) и синдрома отграниченного воспалительного процесса (66,1%, $n=199$) (табл. 1).

Полипозиционная рентгенография ОБП в динамике была выполнена всем больным (517 рентгенограмм), рентгенография ОБП с пероральным контра-

Таблица 1
Распределение больных по полу и ведущему клинико-рентгенологическому синдрому острых абдоминальных хирургических инфекций

Distribution of patients by gender and leading clinical and radiological syndrome of OAXI

Table 1

Пол	Ведущий клинико-рентгенологический синдром	Количество больных	
		абс. число	% к общему кол-ву
Мужчины	Распространенного воспалительного процесса	38	21,2
	Отграниченного воспалительного процесса	144	39,2
Женщины	Распространенного воспалительного процесса	11	9,1
	Отграниченного воспалительного процесса	117	26,9
Итого		300	100,0

органов от грудной полости до малого таза, но также выполнять малоинвазивные вмешательства по безопасной траектории — это МСКТ с внутривенным болюсным контрастированием.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) в экстренных ситуациях, какими являются острые абдо-

стированием — 74 пациентам. МСКТ ОБП — 341, МРТ ОБП — 23. При планировании хирургического лечения в обязательном порядке выполнялась пост-процессинговая обработка не только данных МСКТ, но и МРТ. Анализ изображений проводился по заданным плоскостям, толщине среза, что значительно

улучшало качество визуализации (рис. 1). Виртуальная модель области оперативного вмешательства позволяла получать максимум цифровой информации о зоне интереса.

ской инфекции, являющаяся основной причиной абдоминального сепсиса у этих больных, наблюдался в 7,3% случаев (n=22). В 80% случаев (n=17) причиной вторичного перитонита являлось деструк-

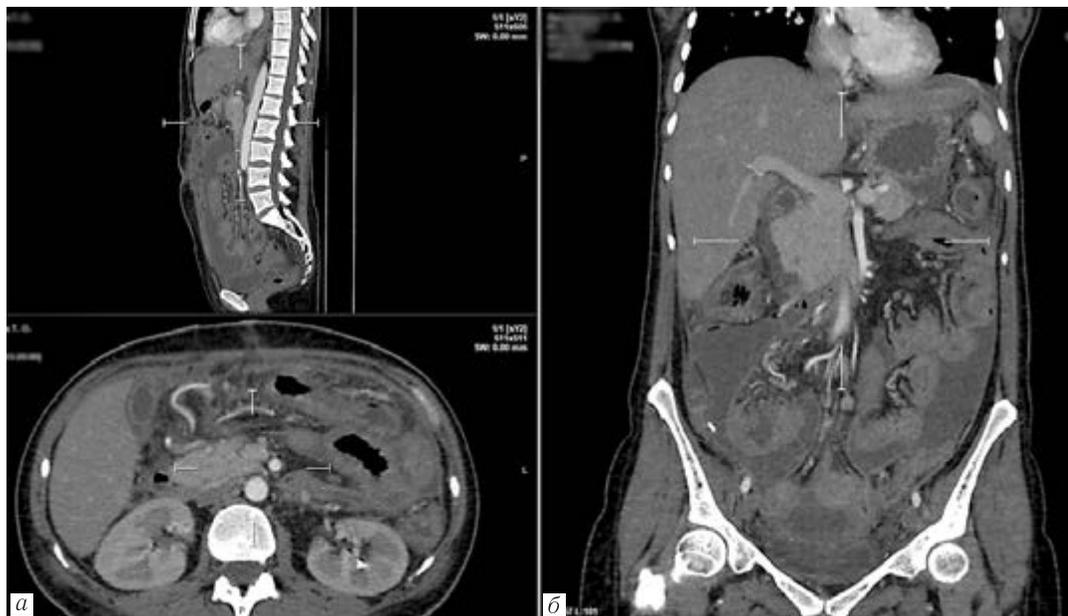


Рис. 1. а, б. Пациент К., 33 года. Перитонит. Мультиспиральная компьютерная томография органов брюшной полости (венозная фаза контрастирования)

Fig. 1. а, б. Patient K., 33 years old. Peritonitis. Multispiral computed tomography of the abdominal organs (venous contrast phase)

Результаты. На основе синдромального подхода далее проводилась нозологическая диагностика острой абдоминальной хирургической инфекции.

Основные острые абдоминальные хирургические инфекции в зависимости от ведущего клинико-рентгенологического синдрома

1. Синдром распространенного воспалительного процесса:

- распространенный перитонит (первичный экссудативный, в том числе туберкулезный, спонтанный и вторичный перфоративный перитониты);
- панкреонекроз.

2. Синдром отграниченного воспалительного процесса:

- абсцессы внутренних органов (паренхиматозных органов, деструктивный холецистит, флегмонозный аппендицит, гангренозный аппендицит, аппендикулярный абсцесс);
- внеорганные абсцессы (межпечельные, забрюшинные и псоас-абсцессы).

Первичный экссудативный перитонит, являющийся крайне редкой формой гематогенного происхождения с инфицированием брюшины из экстраперитонеального источника, наблюдался в 2,3% случаев (n=7) (рис. 2).

Спонтанный перитонит, являющийся чаще всего осложнением асцита при циррозе печени, наблюдался в 1% случаев (n=3).

Вторичный перфоративный перитонит — наиболее частая форма острой абдоминальной хирургиче-

ского поражения органов брюшной полости, в 20% (n=5) — послеоперационные осложнения в виде несостоятельности анастомозов.

Объективными рентгеноморфологическими критериями **синдрома распространенного воспалительного процесса** стали: значительная протяженность поражения брюшной полости экссудативного или иного характера, неравномерное утолщение, интенсивное накопление контрастного вещества кишечной стенкой, паралитическая кишечная непроходимость, «затуманивание» клетчатки и брыжейки, свободный газ в брюшной полости, выраженная деструкция паренхимы с наличием в парапанкреатической клетчатке на фоне жидкостных скоплений секвестров ткани поджелудочной железы, массивные, вплоть до малого таза, затеки воспалительной жидкости (рис. 3).

Объективными рентгеноморфологическими критериями **синдрома отграниченного воспалительного процесса** стали: отграниченная истинной капсулой в случае с паренхиматозными органами брюшной полости либо стенкой кишки полость деструкции в случае с внеорганными абсцессами, неомогенность содержимого, воспалительная инфильтрация в прилегающих органах вплоть до развития перивезикальных, при деструктивных холециститах (рис. 4) и аппендикулярных абсцессов, при флегмонозных и гангренозных аппендицитах (рис. 5).

Среди мужчин с ОАХИ преобладали панкреонекрозы — 41,7% (n=76), среди женщин — внеорган-



Рис. 2. Пациент Г., 34 года. Распространенный экссудативный перитонит. Мультиспиральная компьютерная томография органов брюшной полости: *a* — корональная проекция (венозная фаза контрастирования); *б* — аксиальная проекция (артериальная фаза контрастирования)

Fig. 2. Patient G., 34 years old. Widespread exudative peritonitis. Multispiral computed tomography of the abdominal organs: *a* — coronal projection (venous contrast phase); *б* — axial projection (arterial phase of contrasting)
 ные абсцессы брюшной полости — 14% (n=42) (табл. 2).

В результате проведенного исследования для ускорения и увеличения эффективности диагностики ОАХИ был разработан алгоритм лучевой диагностики в зависимости от ведущего клинико-рентгенологического синдрома (рис. 6). Ключевую роль в алгоритме играет метод МСКТ ввиду его наибольшей информативности (чувствительность — 98,5%, информативность — 98,2%).

На основе данных, полученных в ходе лучевого обследования, определены тактические подходы к лечению больных с ОАХИ. В большинстве случаев лечения (51,3%, n=154) избирался малоинвазивный

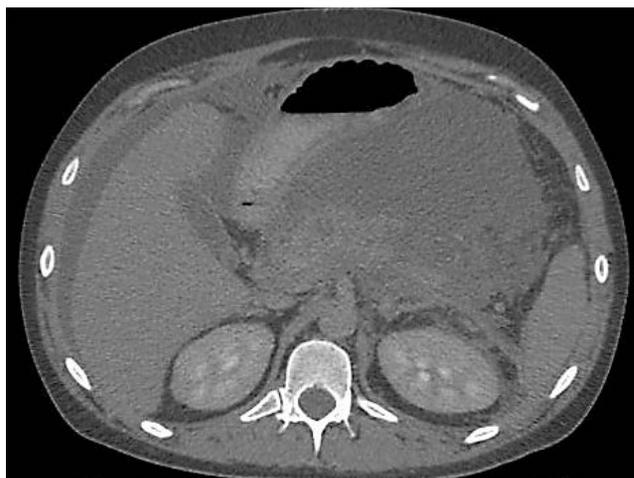


Рис. 3. Пациент С., 29 лет. Панкреонекроз, выраженная деструкция поджелудочной железы. Множественные скопления жидкости в брюшной полости. Мультиспиральная компьютерная томография органов брюшной полости с контрастным болюсным усилением (отсроченная фаза сканирования)

Fig. 3. Patient S., 29 years old. Pancreatic necrosis, severe destruction of the pancreas. Multiple accumulations of fluid in the abdominal cavity. Multispiral computed tomography of the abdominal organs with contrast bolus enhancement (delayed scanning phase)



Рис. 4. а, б. Пациент Г., 62 года. Деструктивный холецистит, перивезикальные абсцессы печени. Мультиспиральная компьютерная томография органов брюшной полости с контрастным болюсным усилением (венозная фаза сканирования)

Fig. 4. а, б. Patient G., 62 years old. Destructive cholecystitis, perivesical liver abscesses. Multispiral computed tomography of the abdominal organs with contrast bolus enhancement (venous phase of scanning)

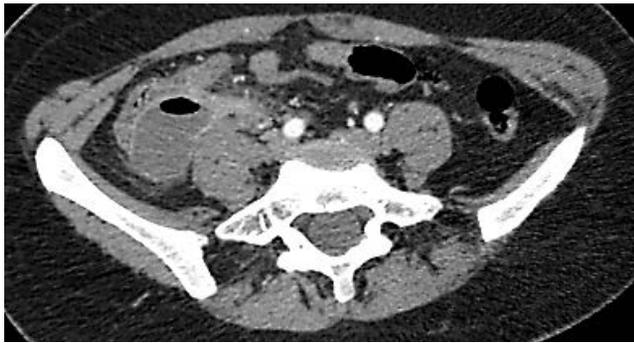


Рис. 5. Пациентка С., 38 лет. Парацекальный абсцесс справа. Мультиспиральная компьютерная томография органов брюшной полости с контрастным болюсным усилением (артериальная фаза сканирования)

Fig. 5. Patient S., 38 years old. Paracecal abscess on the right. Multislice computed tomography of the abdominal organs with contrast bolus enhancement (arterial phase of scanning)

в 13,1 % случаев (n=39) при крупных абсцессах печени, селезенки и почек (табл. 3).

Вторым по частоте избираемости был консервативный метод лечения (38,2%, n=115) при мелких абсцессах печени, почек; далее в случае его неэффективности — оперативное лечение с формированием обходных анастомозов или коло- и энтеростом (см. табл. 3).

В самых тяжелых случаях избирался более агрессивный путь хирургического лечения. Программированные релапаротомии (11,5%, n=31) выполнялись при тотальных панкреонекрозах, первичных экссудативных распространенных перитонитах в случае неэффективности пункции и дренирования ОБП, а также при вторичных перфоративных распространенных перитонитах в случае возникновения рецидивирующих перфораций (см. табл. 3).

Закключение. Итак, при ОАХИ на начальном этапе приоритетна не нозологическая, а синдромаль-

Таблица 2

Распределение больных по полу и виду острой абдоминальной хирургической инфекции брюшной полости

Table 2

Distribution of patients by sex and acute abdominal surgical infection of the abdominal cavity

Пол	Заболевание	Количество больных	
		абс. число	% к общему кол-ву
Мужчины	Абсцессы внутренних органов	36	12,0
	Деструктивные аппендициты	21	7,0
	Деструктивные холециститы	9	3,0
	Внеорганные абсцессы органов брюшной полости	23	12,6
	Панкреонекрозы	76	41,7
	Перитониты	27	14,8
Женщины	Абсцессы внутренних органов	33	11,0
	Деструктивные аппендициты	12	4,0
	Деструктивные холециститы	8	2,6
	Внеорганные абсцессы органов брюшной полости	42	14,0
	Панкреонекрозы	28	21,8
	Перитониты	5	3,9
Всего		300	100,0

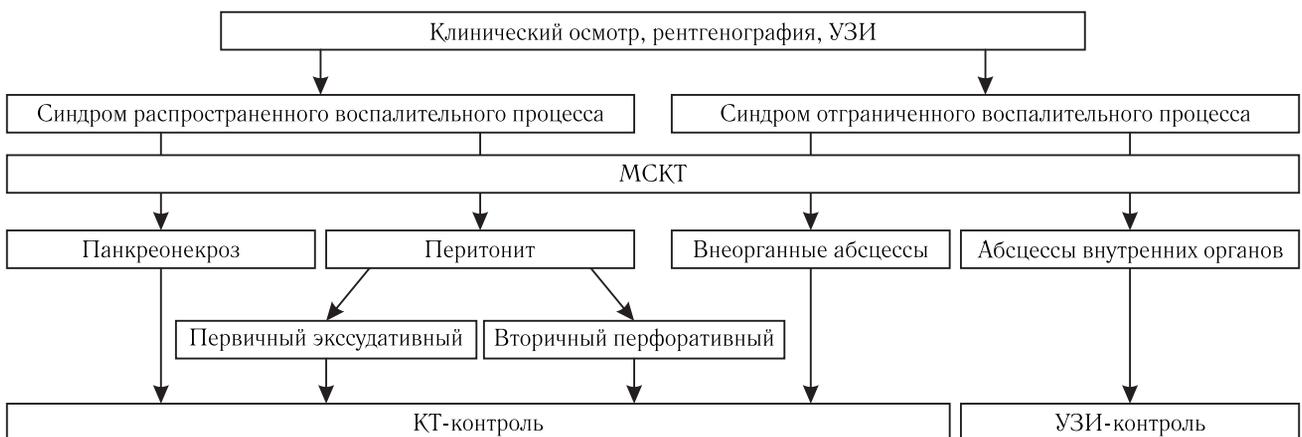


Рис. 6. Алгоритм лучевой диагностики острых абдоминальных хирургических инфекций 1

Fig. 6. Algorithm for radiological diagnosis of acute abdominal surgical infections 1

метод наружного дренирования с санацией гнойного очага: под КТ-контролем он применялся в 38,2% случаев (n=115) при субтотальных панкреонекрозах, крупных внеорганных абсцессах брюшной полости и забрюшинного пространства, под УЗИ-контролем —

ная клиничко-рентгенологическая диагностика. При этом обоснованный выбор метода лучевого обследования больных с разными клиничко-рентгенологическими синдромами является залогом успеха ранней диагностики, а следовательно, и лечения этих забо-

Таблица 3

Распределение больных с острыми абдоминальными хирургическими инфекциями по нозологическим формам и объему лечения

Table 3

Distribution of patients with acute abdominal surgical infections by nosological forms and scope of treatment

Нозологическая форма	Вид проведенного лечения	Абс. число	% к общему кол-ву
Крупные (более 3 см) абсцессы	Дренирование брюшной полости под УЗИ- или КТ-контролем по безопасной траектории; лапаротомия и санация	154	51,3
Мелкие (менее 3 см) абсцессы	Консервативная терапия	115	38,2
Первичные экссудативные распространённые перитониты	Дренирование органов брюшной полости; программированная релапаротомия	9	3,0
Вторичные перфоративные распространённые перитониты	Лапаротомия и ушивание стенки кишки; программированные релапаротомии; выведение энтеро-, колостом, дренирование органов брюшной полости	11	3,6
Панкреонекрозы	Программированная релапаротомия	11	3,6
Всего		300	100,0

леваний. После выявления ведущего клинко-рентгенологического синдрома обоснованно применять предложенный алгоритм лучевой диагностики, где основным методом верификации у больных с ОАХИ, несомненно, является МСКТ. Объективные рентгеноморфологические критерии локализации, выра-

женности, распространенности воспаления, вовлечения в процесс других органов и систем должны быть центральными при планировании хирургического лечения больных, поскольку это позволяет определять не только оптимальную тактику, но и доступы к хирургическому вмешательству.

Сведения об авторах:

Климова Наталья Валерьевна — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой многопрофильной клинической подготовки федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа — Югры»; заведующая рентгеновским отделением бюджетного учреждения «Сургутская окружная клиническая больница»; 628400, Сургут, ул. Энергетиков, д. 8; e-mail: knv@mail.ru; ORCID 0000-0003-4589-5528;

Гаус Анна Алексеевна — доктор медицинских наук, профессор кафедры многопрофильной клинической подготовки федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа — Югры»; врач-рентгенолог рентгеновского отделения бюджетного учреждения «Сургутская окружная клиническая больница»; 628400, Сургут, ул. Энергетиков, д. 8; e-mail: gaa_74_78@mail.ru; ORCID 0000-0002-7434-1540;

Гаус Иван Алексеевич — врач-рентгенолог рентгеновского отделения бюджетного учреждения «Сургутская окружная клиническая больница»; 628400, Сургут, ул. Энергетиков, д. 8; e-mail: gausivan@mail.ru; ORCID 0009-0006-4855-5322.

Information about authors:

Natalya V. Klimova — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Multidisciplinary Clinical Training, Surgut State University; head X-ray Department of the Surgut Regional Clinical Hospital, X-ray Department; 628400, Surgut, st. Energetikov, 8; e-mail: knv@mail.ru; ORCID 0000-0003-4589-5528;

Anna A. Gaus — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Multidisciplinary Clinical Training, Surgut State University; radiologist of the X-ray department of the Surgut Regional Clinical Hospital; 628400, Surgut, st. Energetikov, 8; e-mail: gaa_74_78@mail.ru; ORCID 0000-0002-7434-1540;

Ivan A. Gaus — radiologist of the X-ray department of the Surgut Regional Clinical Hospital; 628400, Surgut, st. Energetikov, 8; e-mail: gausivan@mail.ru; ORCID 0009-0006-4855-5322.

Вклад авторов:

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

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution aided in the concept and plan of the study — *NVK*; provided collection and mathematical analysis of data — *AAG, IAG*; preparation of the manuscript — *NVK, AAG, IAG*.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the authors declare no conflict of interest.

Соответствие принципам этики: исследование одобрено этическим комитетом Сургутского государственного университета (протокол № 9 от 16.09.2022 г.). Информированное добровольное согласие на проведение обследования и лечения получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of Surgut State University (Protocol No. 9 dated 09/16/2022). Informed voluntary consent for examination and treatment was received from each patient.

Поступила/Received: 31.10.2022.
Принята к печати/Accepted: 25.01.2023.
Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Bik E.M., Eckburg P.B., Gill S.R. et al. Molecular analysis of the bacterial microbiota in the human stomach // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2006. Vol. 103, No. 3. P. 732–737.
- Blot S.I., Vandewoude K.H., De Waele J.J. Candida peritonitis // *Curr. Opin. Crit. Care*. 2007. Vol. 13. P. 195–199.
- Blot S., Dimopoulos G., Rello J., Vogelaers D. Is Candida really a threat in the ICU? // *Curr. Opin. Crit. Care*. 2008. Vol. 14. P. 600–604.
- Eckburg P.B., Bik E.M., Bernstein C.N. et al. Diversity of the human intestinal microbial flora // *Science*. 2005. Vol. 308, No. 5728. P. 1635–1638.
- Leon C., Ruiz-Santana S., Saavedra P. et al. A bedside scoring system («Candida score») for early antifungal treatment in nonneutropenic critically ill patients with Candida colonization // *Crit. Care Med*. 2006. Vol. 34. P. 730–737.
- Montravers P., Dupont H., Gauzit R. et al. Candida as a risk factor for mortality in peritonitis // *Crit. Care Med*. 2006. Vol. 34. P. 646–652.
- Pfaller M.A., Diekema D.J. Epidemiology of invasive candidiasis: a persistent public health problem // *Clin. Microbiol. Rev*. 2007. Vol. 20. P. 133–163.

СЦИНТИГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОЧКИ I–IV СТЕПЕНЕЙ ТЯЖЕСТИ И ИХ СООТВЕТСТВИЕ КЛАССИФИКАЦИИ OIS/OI AAST: НАБЛЮДАТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹К. А. Чиглинцев[✉], ¹А. В. Зырянов[✉], ²А. Ю. Чиглинцев[✉], ³М. А. Дружков[✉], ¹А. А. Макарян[✉]

¹Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

²Медико-диагностический центр «Арника», Челябинск, Россия

³Челябинская областная клиническая больница, Челябинск, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Механические воздействия на почку приводят к нарушению структуры паренхимы, образованию кровоизлияний, классифицируемые по OIS/OI AAST. Сцинтиграфия с ⁹⁹Tc-DMSA позволяет определить наличие, распространенность областей ишемии и последствия для функции почки.

ЦЕЛЬ: Накоплением радиофармпрепарата оценить функцию поврежденной почки и установить соответствие сцинтиграфических изображений рентгенологическим данным классификации OIS/OI AAST.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Сцинтиграфия с ⁹⁹Tc-DMSA проводилась в ближайшем посттравматическом периоде 196 пострадавшим имевших степень повреждения органа Grade I–IV по классификации OIS/OI AAST. Визуально оценивали форму, размер, контуры почек. На основании расчета равномерности и интенсивности включения индикатора в паренхиму устанавливали относительную (общую) функцию почек. Степень и локализацию повреждения почки выявляли на основании первичных результатов УЗИ и МСКТ.

РЕЗУЛЬТАТЫ: В остром периоде травмы Grade I–II характеризовались диффузно-неравномерным распределением ⁹⁹Tc-DMSA (от 75,0 до 100% случаев), но с увеличением площади и объема повреждения появляется очаговая сцинтиграфическая симптоматика (до 25,0% наблюдений). При Grade III–IV преобладала локализованная или протяженная очаговая деформация контура изображения и снижение общей функции почки. Сравнительная оценка результатов КТ с визуальными данными сцинтиграфии демонстрировала симметричность визуальной информации с достаточной доступностью, восприимчивостью, точностью и соотносились с классификацией OIS/OI AAST.

ОБСУЖДЕНИЕ: Интерпретация сцинтиграмм включает взаимодействие двух компонентов: визуального восприятия и предметно-специфических знаний анатомических структур человека. Это существенно отличает ее от обычной концепции диагностического процесса клиницистов. Семиотика в изображениях включала диффузные и очаговые изменения, основой которых является расстройство гемодинамики с нарушением поглощения радиофармпрепарата в паренхиме почки. Для Grade I–II, типичны гипоактивные участки, свидетельствующие об отсутствии значимого повреждения. Для Grade III–IV характерны локализованные области за счет снижения объема функционирующей паренхимы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Сцинтиграфия при тупой травме почки удостоверяет нарушения гемодинамики в органе и снижение количества функционирующей паренхимы. Сопоставление радионуклидных изображений с компьютерной визуализацией имеет высокую степень тождества. Вид сцинтиграмм позволяет градировать их в соответствии со степенной систематизацией OIS/OI AAST, что стандартизирует интерпретацию радиологических заключений для улучшения объективности и качества отчетов исследования. Оценка общей функции почек дает возможность прогнозировать реабилитационную перспективу поврежденной почки и необходимость ее коррекции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: травма почки, сцинтиграфия, визуальные признаки распределения радионуклида, диффузно-неравномерное накопление, очаговые признаки травмы.

*Для корреспонденции: Чиглинцев Кирилл Александрович, e-mail: med_654@mail.ru

Для цитирования: Чиглинцев К.А., Зырянов А.В., Чиглинцев А.Ю., Дружков М.А., Макарян А.А. Сцинтиграфические признаки повреждений почки I–IV степеней тяжести и их соответствие классификации OIS/OI AAST: наблюдательное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 74–81, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-74-81>.

SCINTIGRAPHIC SIGNS OF KIDNEY INJURIES OF I–IV DEGREES OF SEVERITY AND THEIR COMPLIANCE WITH THE OIS/OI AAST CLASSIFICATION: OBSERVATIONAL STUDY

¹Kirill A. Chiglintsev[✉], ¹Aleksandr V. Zyryanov[✉], ²Albert Yu. Chiglintsev[✉], ³Mikhail A. Druzhkov[✉],
¹Aleksandr A. Makaryan[✉]

¹Urals State Medical University, Yekaterinburg, Russia

²Medico-diagnostic center «Arnika», Chelyabinsk, Russia

³Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia

INTRODUCTION: Mechanical effects on the kidney result in parenchymal disruption, haemorrhage formation, classified by OIS/OI AAST. Scintigraphy with ⁹⁹Tc-DMSA can determine the presence, prevalence of areas of ischaemia and implications for renal function.

OBJECTIVE: By radiopharmaceutical accumulation, to assess the function of the injured kidney and to establish the consistency of the scintigraphic images with the radiological findings of the OIS/OI AAST classification.

MATERIAL AND METHODS: Scintigraphy with ⁹⁹Tc-DMSA was performed in the immediate posttraumatic period in 196 patients who had Grade I–IV organ damage according to the OIS/OI AAST classification. The shape, size, and contours of the kidneys were visually evaluated. Based on the calculation of the uniformity and intensity of the indicator inclusion in the parenchyma the relative (total) kidney function was established. The degree and localisation of kidney damage were revealed on the basis of primary ultrasound and MSCT results.

RESULTS: In the acute period of injury, Grade I–II were characterised by diffuse irregular distribution of ⁹⁹Tc-DMSA (from 75.0 to 100% of cases), but with increasing area and volume of injury, focal scintigraphic symptoms appeared (up to 25.0% of cases). In Grade III–IV, localised or extended focal deformation of the image contour and reduction of the overall kidney function prevailed. Comparative evaluation of CT findings with visual scintigraphy data demonstrated symmetry of visual information with sufficient accessibility, perceptibility, accuracy and correlated with OIS/OI AAST classification.

DISCUSSION: Scintigram interpretation involves the interaction of two components: visual perception and subject-specific knowledge of human anatomical structures. This significantly differentiates it from clinicians' conventional conception of the diagnostic process. Semiotics in the images included diffuse and focal changes, the basis of which is a disorder of haemocirculation with impaired uptake of radiopharmaceutical in the kidney parenchyma. For Grade I–II, hypoactive areas indicating the absence of significant damage are typical. Grade III–IV are characterised by localised areas due to reduced volume of functioning parenchyma.

CONCLUSION: Scintigraphy in blunt kidney trauma demonstrates haemocirculatory abnormalities in the organ and a decrease in the amount of functioning parenchyma. Comparison of radionuclide images with computer imaging has a high degree of identity. The type of scintigrams allows grading them according to the OIS/OI AAST degree systematisation, which standardises the interpretation of radiological findings to improve the objectivity and quality of the study reports. Assessment of overall renal function makes it possible to predict the rehabilitative outlook of the injured kidney and the need for correction.

KEYWORDS: renal trauma, scintigraphy, visual signs of radionuclide distribution, diffuse irregular accumulation, focal signs of trauma

*For correspondence: Kirill A. Chiglintsev, e-mail: med_654@mail.ru

For citation: Chiglintsev K.A., Zyryanov A.V., Chiglintsev A.Yu., Druzhkov M.A., Makaryan A.A. Scintigraphic signs of kidney injuries of I–IV degrees of severity and their compliance with the OIS/OI AAST classification: observational study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 74–81, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-74-81>.

Введение. Тупая изолированная травма почки приводит к контузии паренхимы или к нарушению анатомической целостности органа с расстройством его функции. Рельефно преобладают травмы I–IV степени тяжести (Grade) по шкале повреждений — OIS/OI, разработанной Американской ассоциацией хирургии травм — AAST [1]. К анатомическим особенностям почек относятся: выраженная сеть кровеносных сосудов, обуславливающая возможность обширных кровоизлияний при нарушении целостности ткани; кровоснабжение сегментными артериями ограниченных паренхиматозных областей, с отсутствием анастомоза между артерией одного сегмента с артериями соседних сегментов [2].

В настоящее время консервативная терапия и выжидательная тактика (англ. selective non-operative management — SNOM) является установившейся клинической практикой и стандартом лечения большинства случаев травм почек. SNOM можно рассматривать как поэтапный подход, где гемодинамическая стабильность является основным критерием лечения и начинается с консервативной, с возможной последующей интервенционной терапией, и/или хирургическим пособием.

До середины 80-х годов XX века внутривенная урография была традиционным и обязательным диагностическим методом при почечной травме, которая визуализировала от 60 до 85% повреждений почек.

Клиническая доступность ультразвукового исследования (УЗИ) сделала метод основной диагностической визуализацией при обследовании пациентов с травмами, и особенно с нестабильной гемодинамикой. По мнению С. Gillmann и соавт. (2021), существенным фактом ограничения результативности УЗИ является зависимость качества получаемого изображения от класса аппарата, субъективность в интерпретации получаемых изображений, низкая демонстративность при документировании изображений [3]. R. Jalli и соавт. (2009), проанализировав результаты УЗИ в качестве первоначального метода визуализации при травме почки в В-режиме шкалы серого и цветового доплеровского исследования, обнаружили общую чувствительность и специфичность метода на уровне 48% и 96% соответственно с положительным значением прогноза 0,8, отрицательным значением прогноза 0,57 и точностью 79% [4]. Авторы пришли к выводу, что: «несмотря на доступность и простоту выполнения сонографии, этот метод визуализации имеет ограниченное значение при обнаружении повреждений почек».

С середины 80-х годов прошлого века экскреторную урографию заменила компьютерная томография (КТ) с контрастированием, выполняемая в артериальную, венозную и экскреторную фазу для анатомической детализации и оценки всей мочевыводительной системы. На основании корреляции данных КТ с интраоперационными находками мировое признание получила шкала оценок степени тяжести повреждений почки (Organ Injury Scale — OIS), разработанная Американской ассоциацией хирургии травм (AAST), впервые опубликованная в 1989 г., с последним пересмотром в 2018 г. Классификация состоит из 5 степеней (Grade), ранжируя их в порядке тяжести травмы, согласно глубине повреждения, вовлеченностью сосудистого русла и верхних мочевыводящих путей. В соответствии с рекомендациями Европейской ассоциации урологов (EAU) контрастная КТ является золотым стандартом для диагностики травм почек у гемодинамически стабильных пострадавших. В клинической практике выполнение КТ проводится только при наличии сонографических признаков гематомы забрюшинного пространства. Нельзя не отметить, что метод связан с ионизирующим излучением и риском контраст-индуцированной нефропатии.

Магнитно-резонансная томография (МРТ), включая диффузионно-взвешенную МРТ, не уступает по результативности КТ при обнаружении паренхиматозных повреждений, но вероятность непереносимости контрастных средств и контраст-индуцированной нефропатии несут контрастные вещества для МРТ на основе гадолиния.

В 1956 г. R. R. M. Borghraef и соавт. в эксперименте на собаках показали, что синтезированный в 1955 г. радиофармпрепарат (РФП) — неогидрин Hg-203 поглощается корковым веществом почки,

фиксируясь тубулярными клетками [5]. В 60-х годах XX века после изобретения сканера фирмы Picker (США) отметилась экспансия радионуклидных исследований в урологии и нефрологии, что дало возможность Т. Р. Naupie и соавт. (1962) заявить: «почечный скантин является наиболее чувствительным тестом обнаружения количества жизнеспособной ткани» [6]. М. А. Bingham и М. N. Maisey в 1978 г. установили достоинства синтезированной ^{99m}Tc -DMSA (димеркаптоянтарная кислота) в качестве статического почечного визуализирующего агента [7]. В настоящее время общепризнано, что основное применение статической скинтиграфии с ^{99m}Tc -DMSA заключается в оценке выраженности структурных поражений паренхимы почек, что делает ее «золотым стандартом» с чувствительностью 69,1% и специфичностью 79,4% в клинической и анатомической интерпретации [8].

Первое сообщение о скинтиграфическом изучении случая повреждения почки через 3 месяца после травмы представили в 1963 г. L. J. Simmons и соавт. [9]. L. M. Freeman и соавт. (1966) продемонстрировали, что скинтиграфия является надежным способом в определении локализации функционирующей почечной паренхимы и ее рубцовых изменений [10]. Еще на этапе начала изучения диагностической значимости скинтиграфии при травме исследователи установили более высокую достоверность скинтиграфического подтверждения факта повреждения почек, чем урографии. Так, R. Betti и соавт. (1966) в экспериментальной модели на собаках выявили, что скинтиграфическая картина пропорциональна тяжести травмы и варьирует от нормальной скинтиграммы (при ушибе) до дефектов поглощения и разрушения контура почки (при фрагментации органа), что соответствует гистопатологическим изменениям в зоне повреждения [11]. Авторами были предложены «описательные скинтиграфические признаки в визуализации повреждений почек: степень затенения травмированной почки по сравнению с контралатеральной здоровой почкой и появление краев тени». В последующем K. Patel и соавт. (1993) предложили набор стандартизованных критериев для интерпретации результатов радионуклидного сканирования почек: 1) воспалительный процесс, отек паренхимы — слегка выпуклый или нормальный контур; одиночные или множественные, очаговые или диффузные области пониженной активности в паренхиме; легкая и тяжелая степень фотопении или полное отсутствие активности; отсутствие потери объема органа; 2) рубцевание почки — диффузное или резкое вдавливание в контуре с истончением коркового слоя; любые сформированные дефекты с потерей объема паренхимы; степень фотопении чаще тяжелой или отсутствующей активности [12].

При травматических повреждениях почки метод статической скинтиграфии с ^{99m}Tc -DMSA позволяет визуализировать выраженность ишемических

нарушений, наличие и распространенность деваскуляризованных регионов паренхимы, тем самым стратифицировать риски развития необратимых последствий и возможных осложнений, а значит способствовать принятию клинического решения в выборе оптимальных стратегий лечения.

Источники литературы сегодняшнего дня свидетельствуют, что сцинтиграфические признаки повреждения почки, когда выбранной лечебной тактикой SNOM гарантирована сохранность почки, не привлекли должного внимания исследователей. Кроме того, нам не удалось выявить сообщения о соответствии рентгенологических находок степени тяжести травм со сцинтиграфическими признаками.

Цель. С помощью анализа накопления радиофармпрепарата оценить функцию поврежденной почки и установить соответствие сцинтиграфических изображений рентгенологическим данным классификации OIS/OI AAST.

Материалы и методы. Радионуклидное исследование проведено в ближайшем (до 30 суток) и отдаленном (более 6 месяцев) периодах после закрытой тупой травмы почек Grade I–IV 196 пострадавшим от 20 до 30 лет (в среднем $22,0 \pm 1,2$ года), не имевших в анамнезе заболевания почек и мочевыводящих путей. Мужчин было 175, женщин 21, соотношение 8:1. Grade I диагностировали у 92 (47%) пострадавших, Grade II — у 49 (25%), Grade III — у 41 (21%), Grade IV — у 14 (7%). У испытуемых получено информированное согласие на диагностическую процедуру.

Локализацию повреждений устанавливали путем полипозиционного первично-диагностического УЗИ в В-режиме шкалы серого и цветового доплеровского исследования на аппарате Ge Healthcare Vivid-7 (США) экспертного класса с использованием высокочастотного (частота до 5 МГц) конвексного датчика с анализом морфодинамических стереотипов, прямых и косвенных признаков травм. Степень повреждения почки по OIS/OI AAST в последующем выявляли МСКТ на томографе Optima 660 GE по программе непрерывного спирального сканирования с коллимацией 5–10 мм, шагом спирали 1,5–2,0 в нативном состоянии и с контрастированием препаратами «Ультравист» или «Омник».

Оценку анатомо-топографического состояния почек и структурных изменений в зонах повреждений, выявленных МСКТ и УЗИ, дополнительно осуществляли в ходе статической нефросцинтиграфии по стандартной методике с использованием тубулотропного РФП для статической сцинтиграфии почек Технеция, ^{99m}Tc сукцимер (технемек, «Диамед», Россия) в дозе 1,5 МБк на 1 кг массы тела. Исследование проводилось в планарном режиме с записью в задней и боковых проекциях с общим набором импульсов 300 тыс. на 1 проекцию при матрице не ниже 128×128 на гамма-камере MB — 9200 с системой обработки «Голд-рада» и на аппа-

рате ОФЭКТ-КТ Siemens Symbia T 1–2 при матрице 256×256 . Результаты получены через 2 часа после введения РФП в положении, обследуемого спиной к детектору гамма-камеры, который центрировался по вертикальной оси по середине позвоночника над проекцией остистых отростков, по горизонтальной оси на уровне XII ребра.

После выбора на экране зон интереса на сканируемом изображении визуально по яркостным и геометрическим характеристикам оценивали форму, размер, контуры почек и интенсивность, равномерность включения РФП в паренхиму в трех областях: верхний, нижний полюс, средняя зона [11], что пространственно соответствует сегментарному строению почки. Описание нормальных почек на сцинтиграмме имеют вид: форма, размеры почек обычные, распределение РФП в них носит диффузно-равномерный характер, очагов патологической гипопфиксации РФП не выявляется, накопление в обеих почках симметричное, контур почек ровный, гладкий. Несоответствия между двумя почками и разными зонами оценивались по: 1) появлению диффузно-неравномерного или очагово-неравномерного накопления РФП в одной из зон при сравнении с контралатеральной почкой; 2) краям тени — контуру [12]. Все изображения были визуально оценены двумя сертифицированными врачами лучевой диагностики с более чем 15-летним опытом работы.

Рассчитывали включение РФП в каждую почку (в процентах от общего счета количества импульсов, исходящих от почки). Снижение относительной функции почек определяли как абсолютную разницу в процентах между пораженной и здоровой почкой [13].

Результаты. Выполненные первичные диагностические процедуры в объеме УЗИ и МСКТ позволили локализовать очаги повреждения почки соответственно сегментной анатомии и установить степень тяжести травмы по OIS/OI AAST. Характер распределения радиотрассера на сцинтиграммах в сегментах травмированной почки у пострадавших с различными степенями повреждения представлена в таблице.

Как представлено в таблице, локализованные поражения почки при Grade I характеризовались превалированием диффузно-неравномерного распределения РФП, с увеличением площади повреждения в сегментной анатомии почки появляется очаговая сцинтиграфическая симптоматика. Так, травмы тяжести Grade II–IV характеризовались в основном признаками очаговых изменений.

Соответствие визуализации сцинтиграфических изображений с классификацией OIS AAST могут иллюстрировать следующие наблюдения, представленные на рис. 1–4.

Обсуждение. Сцинтиграфическое исследование представляется в виде цифровых изображений, на основе пиксельной матрицы изображения, где каждая точка (пиксель) имеет свое числовое значение яркости. Значение яркости опосредованно

Характер распределения РФП в почке в зависимости от степени и площади повреждения

Table

Distribution pattern of RFP in the kidney depending on the degree and area of damage

Характер распределения РФП в почке	Контузия почки (Grade I) n=140/71.4%		
	1 сегмент (n=73/52,0%) 100,0%	2 сегмента (n=39/28,0%) 89,7%	3 сегмента (n=28/20,0%) 75,0%
Диффузно-неравномерное	100,0%	89,7%	75,0%
Очаговое	—	10,3%	25,0%
Разрыв паренхимы почки (Grade II–IV) n=56/28,6%			
Диффузно-неравномерное	1 сегмент (n=25/45,0%) 44,0%	2 сегмента (n=17/30,0%) 23,5%	3 сегмента (n=14/25,0%) 14,3%
Очаговое	56,0%	76,5%	85,7%

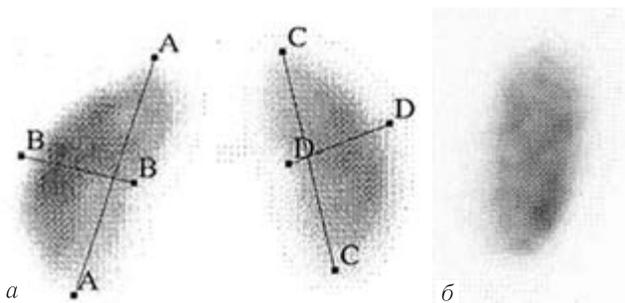


Рис. 1. Grade I — контузия левой почки (показаний для выполнения МСКТ не установлено), 1-е сутки после травмы. Сцинтискан. Статическая нефросцинтиграфия: *a* — прямая проекция; *б* — боковая проекция; здесь и далее на рисунке: слева — левая почка, справа — правая почка. Распределение РФП в левой почке диффузно-неравномерное, дефектов накопления не определяется. Накопление активности в правой почке 57,3%; в левой — 42,7%

Fig. 1. Grade I — left kidney contusion (no indication for MSCT), day 1 after injury. Scintiscan. Static nephrosцинтиграфия: *a* — direct projection; *б* — lateral projection; hereinafter in the figure: left kidney on the left, right kidney on the right. Distribution of RFP in the left kidney was diffusely irregular, no accumulation defects were detected. Activity accumulation in the right kidney was 57.3%; in the left kidney — 42.7%

характеризует интенсивность регистрируемого излучения (количество гаммаквантов, уловленных детектором камеры) в каждой конкретной точке изучаемого объекта. Визуально сцинтиграммы представляют собой тип полутонковых диагностических изображений — текстуры, составленные из большого числа элементов (зерен и пятен). Интерпретация сцинтиграмм является только качественной. Включает взаимодействие двух компонентов: визуального восприятия и предметно-специфических знаний анатомических структур человека. Это существенно отличает ее от обычной концепции диагностического процесса клиницистов.

Принятие диагностического решения на основе оценки сцинтиграмм является одной из наиболее актуальных проблем радионуклидной диагностики. R. M. Haralick и соавт. [14] в 1973 г. впервые на осно-

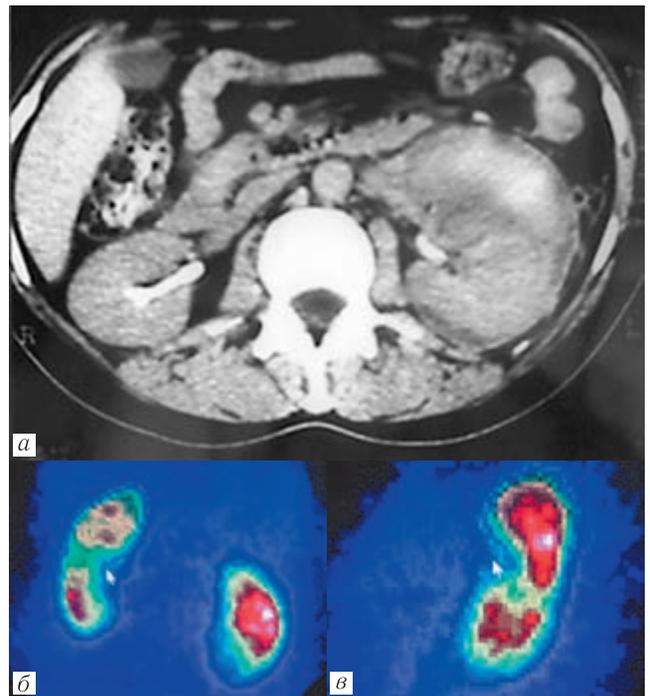


Рис. 2. Grade II — разрыв в верхнепереднем сегменте левой почки, 3-и сутки после травмы. Рентгенограмма КТ забрюшинного пространства с болюсным введением контрастного вещества (*a* — аксиальная проекция). Паранефральная гематома со сгустками и лизированной кровью. Фото с монитора компьютера. Статическая нефросцинтиграфия (*б* — прямая проекция; *в* — боковая проекция). В области ворот левой почки, имеется очаг гипофиксации РФП (указан стрелкой). Накопление активности в правой почке 49%; в левой — 51%

Fig. 2. Grade II tear in the upper-anterior segment of the left kidney, 3 days after injury. Peritoneal CT scan with bolus injection of contrast agent (*a* — axial projection). Paranephrenal hematoma with clots and lysed blood. Photo from the computer monitor. Static nephrosцинтиграфия (*б* — direct projection, *в* — lateral projection). In the area of the left kidney gate, there is a foci of RFP hypofixation (indicated by an arrow). Activity accumulation in the right kidney is 49%; in the left kidney — 51%

ве текстурных характеристик классифицировали сцинтиграфические изображения для получения клинически значимого результата. Полученная нами

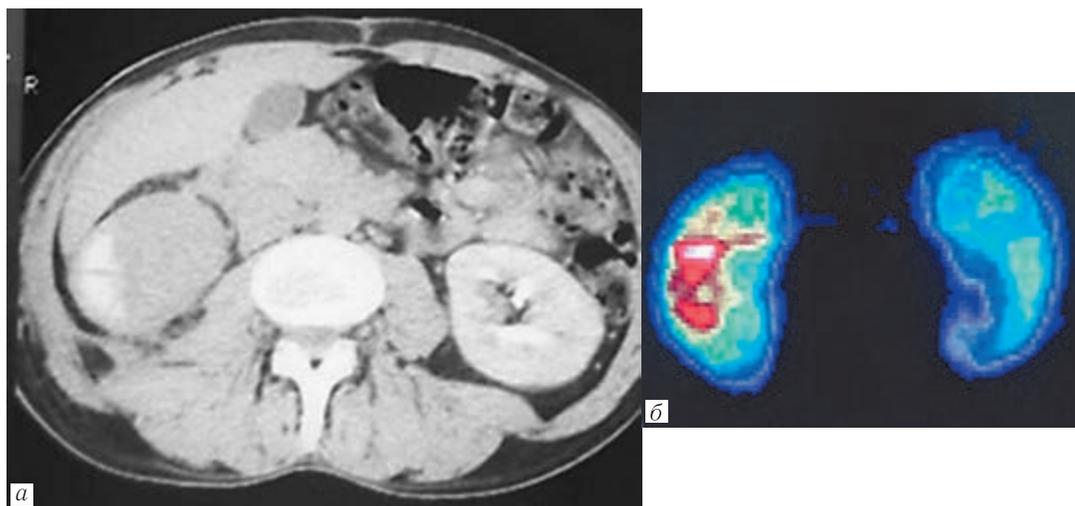


Рис. 3. Grade III — разрыв в нижнепереднем сегменте правой почки, 7-е сутки после травмы. Рентгенограмма КТ забрюшинного пространства с болюсным введением контрастного вещества (*a* — аксиальная проекция). Обширная зона гематомы со сниженным накоплением контрастного вещества в паренхиме правой почки. Фото с монитора компьютера. Статическая нефросцинтиграфия в прямой проекции (*б*). В правой почке, в нижней половине, по внутреннему контуру имеется очаг гипофиксации РФП. Накопление активности в правой почке 20%; в левой — 80%

Fig. 3. Grade III tear in the inferior-anterior segment of the right kidney, 7 days after injury. Peritoneal CT scan with bolus injection of contrast agent (*a* — axial projection). Extensive hematoma area with decreased accumulation of contrast agent in the right kidney parenchyma. Photo from the computer monitor. Static nephrosцинтиграфия in direct projection (*б*). In the right kidney, in the lower half, along the inner contour there is a focus of hypofixation of RFP (indicated by an arrow). Activity accumulation in the right kidney is 20%; in the left kidney it is — 80%

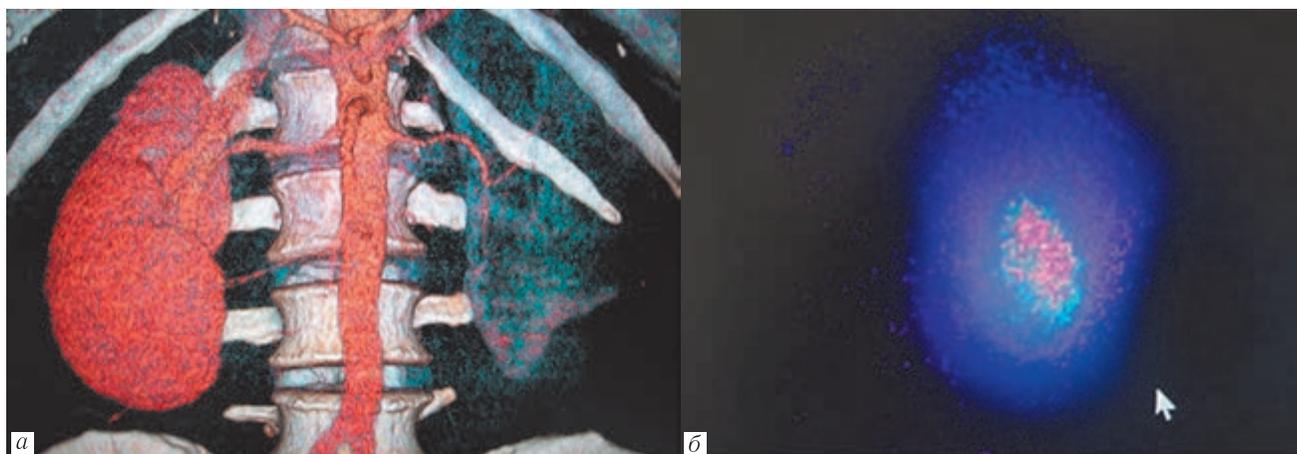


Рис. 4. Grade IV — сосудистое повреждение, тромбоз *a. renalis* левой почки, 2-е после травмы. Рентгенограмма КТ забрюшинного пространства с болюсным введением контрастного вещества (*a* — мультипланарная реконструкция). Накопление контрастного вещества в левой почке отсутствует. Фото с монитора компьютера. Статическая нефросцинтиграфия (*б* — прямая проекция). Накопление активности РФП в левой почке 20%. Сцинтиграфических признаков патологии правой почки не выявлено, накопление активности 80%

Fig. 4. Grade IV — vascular injury, thrombosis of *a. renalis* of the left kidney, 2nd post-injury. X-ray of retroperitoneal CT with bolus injection of contrast medium (*a* — multiplanar reconstruction). There was no accumulation of contrast agent in the left kidney. Photo from the computer monitor. Static nephrosцинтиграфия (*б* — direct projection). Accumulation of RFP activity in the left kidney is 20%. Scintigraphic signs of right kidney pathology were not detected, activity accumulation was 80%

в ходе обследования сцинтиграфическая семиотика визуализации состояла из: 1) синдрома диффузных изменений; 2) синдрома очаговых изменений; 3) синдрома склеротических изменений, что согласуется с общеустановленной оценочной концепцией. Патологической основой всех синдромов является нарушение накопления и распределения

РФП в паренхиме почки. Зависимость между расстройством кровотока в почке и последующее очаговое уменьшение толщины коркового слоя впервые установил С. J. Hodson (1969) [15]. А. Piepsz (2002) считал, что поражения коркового слоя почки на сцинтиграммах, проявляющиеся в виде гипоактивных участков, с нечеткими краями, без деформации контура

почки, могут свидетельствовать о низком риске клинически значимого повреждения, которые впоследствии подвергаются редукции [16]. Локализованная область гипоактивности РФП, деформирующая контур органа, свидетельствует о необратимой потере объема функционирующей паренхимы в пределах одного или нескольких сегментов.

В наших исследованиях сравнительная оценка результатов первично-диагностической МСКТ с визуальными данными статической сцинтиграфии продемонстрировала симметричность визуальной информации с достаточной доступностью, восприимчивостью, точностью и убедительно соотносились с классификацией OIS/OI AAST.

Взаимосвязь с анатомическим паттерном показывает накопление активности РФП в травмированной почке, которая отмечается в сниженном относительном объеме после обширного контузионного поражения органа и высодифференцированной степени травмы. М. М. Knudson и соавт. (2000) считали, что минимально сохраненной относительной функцией почки следует считать 25%, при которой не требуется диализ, даже если это единственная почка [17]. Всем пациентам с травмой почки Grade IV–V, авторы рекомендуют выполнение нефросцинтиграфии. У. С. Choi и соавт. (2003) установили, что адек-

ватная функция почки сохраняется у 86% пациентов после травмы Grade III–IV, и ее относительные показатели коррелируются со степенью тяжести повреждения органа [18]. G. A. Pereira Junior и соавт. (2012) высказали мысль о необходимости включения информации об оценке функции почек, получаемой при статической сцинтиграфии, в пересмотр OIS/OI AAST, что придаст дополнительную убедительность шкале тяжести травм в прогнозировании клинических исходов [19].

Заключение. Использование статической сцинтиграфии с ^{99m}Tc -DMSA в комбинации с первичными методами диагностики тупой травмы почки (УЗИ, МСКТ), удостоверяет нарушения гемодинамики в паренхиме органа и снижение количества функционирующей паренхимы. Сопоставление радионуклидных изображений с компьютерной визуализацией имеет высокую степень тождества. Вид сцинтиграмм позволяет градировать их в соответствии со степенной систематизацией OIS/OI AAST, что стандартизирует интерпретацию радиологических заключений для улучшения объективности и качества отчетов исследования. Оценка общей функции почек дает возможность прогнозировать реабилитационную перспективу поврежденной почки и необходимость ее коррекции.

Сведения об авторах:

Чиглинец Кирилл Александрович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры урологии, нефрологии и трансплантологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: med_654@mail.ru; ORCID 0000–0001–9888–688X; SPIN 9759–3328;

Зырянов Александр Владимирович — доктор медицинских наук, заведующий кафедрой урологии, нефрологии и трансплантологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: zav1965@mail.ru; ORCID 0000–0001–8105–7233; SPIN 6193–4204;

Макарян Альберт Альбертович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры урологии, нефрологии и трансплантологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: walter2711@mail.ru; ORCID 0000–0002–3554–5567; SPIN 4083–6575;

Чиглинец Александр Юльевич — доктор медицинских наук, заместитель главного врача Медико-диагностического центра «Радуга»; 454007, г. Челябинск, ул. Рождественского, д. 7^а; e-mail: Dr.Chiglintsev@yandex.ru; ORCID 0000–0003–4704–7933; SPIN 4083–6575;

Дружков Михаил Александрович — кандидат медицинских наук, заведующий отделением радионуклидной диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Челябинская областная клиническая больница»; 454048, Челябинская область, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 70; e-mail: druzhkovm@gmail.com; ORCID — нет; SPIN — нет.

Information about the authors:

Kirill A. Chiglintsev — Cand. Of Sci. (Med.), associate professor, department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University»; 620028, Yekaterinburg, str. Repina 3, Russia; e-mail: med_654@mail.ru; ORCID 0000–0001–9888–688X; SPIN 9759–3328;

Aleksandr V. Zyryanov — Dr. of Sci. (Med.), Head of the department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University»; 620028, Yekaterinburg str. Repina 3, Russia; e-mail: zav1965@mail.ru; ORCID 0000–0001–8105–7233; SPIN 6193–4204;

Aleksandr Yu. Chiglintsev — Dr. of Sci. (Med), deputy chief physician Medico-diagnostic center «Arnika»; 454007, Chelyabinsk, Rozhdestvenskaya str. 7^a, Russia; e-mail: Dr.Chiglintsev@yandex.ru; ORCID 0000–0003–4704–7933; SPIN 4083–6575;

Mikhail A. Druzhkov — Cand. of Sci. (Med.), head of the radionuclide diagnostics department, Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Russia; 454048, Chelyabinsk, Vorovsky str. 70; e-mail: Lrzhvm@gmail.com; ORCID — no; SPIN — no;

Albert A. Makaryan — Cand. Of Sci. (Med.), associate professor, department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University»; 620028, Yekaterinburg, str. Repina 3, Russia; e-mail: walter2711@mail.ru; ORCID 0000–0002–3554–5567; SPIN 4083–6575.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: *К. А. Чиглинец* — сбор и обработка клинического материала, систематизация данных, написание текста; *А. В. Зырянов* — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи; *А. Ю. Чиглинец* — обработка и адаптация рукописи; *М. А. Дружков, А. А. Макарян* — обработка радиологических результатов, систематизация и интерпретация полученных данных.

Authors' contributions: All authors met ICMJE authorship criteria. The largest contributions were distributed as follows: *KACH* — collection and processing of clinical material, systematization of data, text writing; *AVZ* — conception and design of the study, editing of the article; *AYuCh* — processing and adaptation of the manuscript; *MAD, AAM* — processing of radiological results, systematization and interpretation of obtained data.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the author declares no conflict of interest.

Соответствие принципам этики: одобрение этического комитета не требовалось, информированное согласие получено от каждого пациента
Adherence to ethical standards: ethical committee approval was not required and consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 22.06.2022.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Chien L.-Ch., Wakil M., Nguen J., Chahine A., Archer-Arroyo K., Hanna T.N., Herr K.D. The American Association for the Surgery of Trauma Organ Injury Scale 2018 update for computed tomography-based grading of renal trauma: a primer for the emergency radiologist // *Emerg. Radiol.* 2020. Vol. 27, No. 1. P. 63–73. doi: 10.1007/s10140-019-01721-z.
- Саковчук О.А., Савченко С.В., Новоселов В.П. Морфологические особенности повреждений почки, отражающие виды ее деформации // *Сибирский медицинский вестник*. 2018. № 4. С. 35–38. [Sakovchuk O.A., Savchenko S.V., Novoselov V.P. Morphological features of kidney damage, reflecting the types of its deformation. *Siberian Medical Bulletin*, 2018, No. 4, pp. 35–38 (In Russ.).]
- Gillmann C., Saur D., Wischgoll T., Scheuermann G. Uncertainty — aware visualization in medical imaging — a survey // *Computer Graphics Forum*. 2021. Vol. 40, No. 3. P. 665–689. doi: 10.1111/egf.14333.
- Jalli R., Kamalzaden N., Lotfi M., Farahangiz S., Salehipour M. Accuracy of sonography in detection of renal injuries caused by blunt abdominal trauma: a prospective study // *Ulus Trauma Acil. Cerrahi Derg.* 2009. Vol. 15, No. 1. P. 23–27. PMID:19130335.
- Borghgraef R.R.M., Kessler R.H., Pitts R.F., Parks M.E., van Woert W., MacLeod M.B. Plasma regression, distribution and excretion of radiomercury in relation to diuresis following the intravenous administration of Hg²⁰³ labelled chlormerodrin to the dog // *J. Clin. Invest.* 1956. Vol. 35, 9. P. 1055–1066. doi: 10.1172/JCI103351.
- Haynie T.P., Bruce H., Stewart B.H., Mohamed M., Nofar M.M., Carr E.A.Jr., Beirwaltes W.H. diagnosis of renal vascular disease and renal tumors by photoscanning // *JAMA*. 1962. Vol. 179, No. 2. P. 137–140. doi: 10.1001/jama.1962.03050020000006a.
- Bingham M.A., Maisey M.N. An evaluation of the use of ^{99m}Tc dimercaptosuccinic acid (DMSA) as a static renal imaging agent // *Br. J. Radiol.* 1978. Vol. 51, No. 608. P. 599–607. doi: 10.1259/0007-1285-51-608-599.
- MacKenzie J.R. DMSA — the new gold standard // *Nucl. Med. Commun.* 1990. Vol. 11, No. 11. P. 725–726. doi: 10.1097/00006231-199011000-00001.
- Simmons J.L., Jones M.A. Use of the renal scintiscan in urology // *J. Urol.* 1963. Vol. 90, 5. P. 642–657. doi: 10.1016/s0022-5347(17)64466-5.
- Freeman L.M., Kay C.J., Meng C.N. Contribution of renal scanning in evaluation of renal trauma. *Radiology*. 1966. Vol. 86, No. 6. P. 1021–1029. doi: 10.1148/86.6.1021.
- Betti R., Palumbo R., De Santis M., Senin V., Biasini E. Use of ²⁰³Hg scintiscan in experimental renal trauma // *J. Urol.* 1966. Vol. 96, No. 3. P. 278–282. doi: 10.1016/S0022-5347(17)63250-6.
- Patel K., Charron M., Hoberman A., Brown M.L., Rogers K.D. Intra- and interobserver variability in interpretation of DMSA scans using a set of standardized criteria // *Pediatr. Radiol.* 1993. Vol. 23, No. 7. P. 506–509. doi: 10.1007/BF02012131.
- Sujenthiran A., Elshout P.J., Veskima E., MacLennan S., Yuan Y., Serafetinidis E., Sharma D.M., Kitrey N.D., Djakovic N., Lumen N., Kuehhas F.E., Summerton D.J. Is nonoperative management the best first-line option for high-grade renal trauma? A systematic review // *Eur. Urol. Focus*. 2019. Vol. 5, No. 2. P. 290–300. doi: 10.1016/j.euf.2017.04.011.
- Haralick R.M., Shanmugan K., Dinstein I. Textural features for image classification // *IEEE Trans Syst. Man. Cybern.* 1973. Vol. SMC-3, No. 6. P. 610–621. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
- Hodson C.J. The effects of disturbance of flow on the kidney // *J. Infect. Dis.* 1969. Vol. 120, No. 1. P. 54–60. doi: 10.1093/infidis/120.1.54.
- Piepsz A. Radionuclide studies in pediatric nephron-urology // *Eur. J. Radiol.* 2002. Vol. 43, No. 2. P. 146–153. doi: 10.1016/s0720-048x(02)00111-0.
- Knudson M.M., Harrison P.B., Hoyt D.B., Shatz D.V., Zietlow S.P., Bergstein J.M., Mario L.A., McAninch J.W. Outcome after major renovascular injuries: a Western trauma association multicenter report // *J. Trauma*. 2000. Vol. 49, No. 6. P. 1116–1122. doi: 10.1097/00005373-200012000-00023.
- Choi U.C., Jeong H.H., Lee J.B., Yun J.C. Preservation of renal function after conservative treatment for trauma: short-term follow up results with ^{99m} technetium dimercapto-succinic acid // *J. Korea Soc. Trauma*. 2003. Vol. 16, No. 1. P. 25–30.
- Pereira J.G.A., Santos A.C., Muglia V.F., Miyake C.H., Nobre F., Simões V., de Andrade J.I. Late evaluation of the relationship between morphological and functional renal changes and hypertension after non-operative treatment of high-grade renal injuries // *World J. Emerg. Surg.* 2012. Vol. 7, No. 1. P. 26. doi: 10.1186/1749-7922-7-26.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

Объединенный каталог «Пресса России» 42177

УДК 617.51-001.4-053.2-073.756.8:681.31

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-82-92>

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ДИФFUЗНЫХ АКСОНАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЕ У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ВОЗРАСТА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Е. С. Зайцева¹, Т. А. Ахатов¹, А. Д. Маматкулов¹, О. В. Божко¹, М. В. Ублинский^{1*}, И. Н. Новосёлова¹,
И. В. Понина¹, И. А. Мельников¹, Д. Н. Хусаинова¹

Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Черепно-мозговая травма (ЧМТ) является ведущей причиной смерти и инвалидности у детей. Детская ЧМТ связана с рядом характеристик, отличающих ее от взрослых. Хотя уровень смертности, связанной с ЧМТ, снизился за последние два десятилетия, инвалидность детей, переживших ЧМТ, продолжает оказывать значительное влияние на экономику и общественное здравоохранение общества в целом.

ЦЕЛЬ: Показать возможности компьютерной и магнитно-резонансной томографии в диагностике травматических диффузных аксональных повреждений у младенцев и детей младшего возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В данной работе мы проанализировали данные КТ и МРТ 1334 детей до 3 лет с острой ЧМТ, лечившихся в НИИ неотложной детской хирургии и травматологии (730 мальчиков и 604 девочек). Возраст детей был от 23 дней до 3 лет, средний возраст составил 1 год 6 месяцев.

Компьютерная томография выполнена на 128-срезовом томографе Ingenuity Elite (Philips). Сканирование зоны интереса (голова+шейный отдел позвоночника) проводилось с максимально возможным снижением показателей для минимизации дозы облучения, включая программу iDose4. МРТ проведена на томографе Phillips Achieva 3 Тл с получением мультипланарных T1- и T2-ВИ, 2D- и 3D-изотропных изображений, FLAIR, SWI, ДВИ/ДТИ, магнитно-резонансной ангиографии (МРА). Контрастное усиление не применялось.

Статистика: проводилась с помощью компьютерной программы GraphPad Prism 9. Использовались вычислительные и графические возможности редактора электронных таблиц Excel. Для сравнения средних значений выборок данных применялся дисперсионный анализ ANOVA, различия считались достоверными на уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ: У 824 (61,8%) из 1334 детей было сотрясение головного мозга, у 510 (38,2%) выявлены травматические повреждения черепа и головного мозга от неосложненных кефалогематом и линейных переломов до массивных внутримозговых гематом и тотального отека мозга. ДАП I и II типа при КТ, в дальнейшем подтвержденные при МРТ, выявлены у 32 (6,27%) детей из всех 510 с ЧМТ. У 19 из 32 было сочетание с ушибами головного мозга, 13 с эпи- и/или субдуральными гематомами небольшого объема. МРТ выполнена у 89 из 510 детей до 3 лет с интракраниальными повреждениями, у которых первично произведена КТ. Диффузные аксональные повреждения (ДАП) различного типа с помощью МРТ выявлены у 92,13% (82/89) пострадавших.

ОБСУЖДЕНИЕ: ДАП является одним из наиболее частых видов ЧМТ и встречается как при легкой, так и при тяжелой степени, представляет собой повреждение головного мозга, характеризующееся разрывом аксонов, в результате чего возникают поражениями трактов белого вещества в большом пространстве. С учетом поступления в институт детей с ЧМТ со значительным разбросом (от 1 часа до 7 суток), первичную КТ проводили не позднее чем через один час после поступления и дополняли МРТ. Критерием назначения КТ и МРТ после ЧМТ служил клинический и неврологический статус на время поступления. КТ имеет низкую чувствительность обнаружения ДАП, так как выявляется только крупные геморрагические (гиперденсные) очаги ДАП. Использование мультипланарной реконструкции, а также различных опций, таких как 3D-реконструкция, MIP и MinIP (проекция максимально и минимальной интенсивности) и другие, позволяют детально оценить паренхиму головного мозга и повысить выявляемость ДАП. В нашем исследовании ДАП с помощью МРТ выявлены у 92,13% пациентов, а наиболее критичный тип ДАП III — у 100% детей с тяжелой ЧМТ с плохим исходом и смертью пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: КТ головы является предпочтительным методом для неотложной радиологии пациентов с ЧМТ из-за ее доступности, скорости получения данных и способности обнаруживать поражения, требующие срочного нейрохирургического вмешательства. В острых случаях МРТ назначается пациентам с тяжелыми неврологическими нарушениями, несмотря на отсутствие структурных повреждений головного мозга на КТ. МРТ является методом выбора при подострой и хронической ЧМТ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: младенцы, дети младшего возраста, магнитно-резонансная томография, черепно-мозговая травма, дети, изображения, взвешенные по магнитной восприимчивости

*Для корреспонденции: Ублинский Максим Вадимович, e-mail: maxublinsk@mail.ru

Для цитирования: Зайцева Е.С., Ахадов Т.А., Маматкулов А.Д., Божко О.В., Ублинский М.В., Новосёлова И.Н., Понина И.В., Мельников И.А., Хусайнова Д.Н. Компьютерная томография и магнитно-резонансная томография диффузных аксональных повреждений при черепно-мозговой травме у детей младшего возраста: ретроспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 82–92, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-82-92>.

COMPUTED TOMOGRAPHY AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING OF DIFFUSE AXONAL INJURY IN BRAIN TRAUMA IN YOUNG CHILDREN: RETROSPECTIVE STUDY

Ekaterina S. Zaitseva[✉], Tolibjon A. Akhadov[✉], Alisher D. Mamatkulov[✉], Olga V. Bozhko[✉], Maxim V. Ublinskiy^{✉*}, Irina N. Noselova[✉], Irina V. Ponina[✉], Ilya A. Melnikov[✉], Daria N. Khusainova[✉]
Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Traumatic brain injury (TBI) is the leading cause of death and disability in children. Children's TBI is associated with a number of characteristics that distinguish it from adults. Although the death rate associated with TBI has decreased over the past 2 decades, the disability of children who survived TBI continues to have a significant impact on the economy and public health of society as a whole.

OBJECTIVE: To show the possibilities of computed tomography and magnetic resonance imaging in the diagnosis of traumatic diffuse axonal injuries in infants and young children.

MATERIALS AND METHODS: In this work, we analyzed the CT and MRI data of 1334 children under 3 years of age with acute TBI who were treated at the Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma (730 boys, 604 girls). The age of the children was from 23 days to 3 years, the average age was 1 year 6 months.

Computed tomography scans were performed on a 128-slice Ingenuity Elite scanner (Philips). Scanning of the area of interest (head + cervical spine) was carried out with the maximum possible reduction in indicators to minimize the radiation dose, including the iDose4 program.

MRI was performed on a Phillips Achieva 3 T scanner with multiplanar T1- and T2WI, 2D and 3D isotropic images, FLAIR, SWI, DWI/DTI, and magnetic resonance angiography (MRA). No contrast enhancement was applied.

Statistics: data processing was carried out using the GraphPad Prism 9 software package. The computing and graphic capabilities of the Excel spreadsheet editor were used. To compare the mean values of the data samples, ANOVA analysis of variance was used; differences were considered significant at a significance level of $p < 0.05$.

RESULTS: 824 (61.8%) of 1334 children had a concussion, 510 (38.2%) had traumatic injuries of skull and brain from uncomplicated cephalohematomas and linear fractures to massive intracranial hematomas and total brain edema. Diffuse axonal injuries (DAI) type I and II on CT, further confirmed by MRI, were detected in 32 (6.27%) of all 510 children with TBI. 19 out of 32 had a combination with brain contusions, 13 with epi — and / or subdural hematomas of a small volume. MRI was performed in 89 out of 510 children under 3 years of age with intracranial injuries, in whom CT was initially performed. DAI of various types were detected by MRI in 92.13% (82/89) of the patients.

DISCUSSION: DAI is one of the most common types of TBI, occurring in both mild and severe forms, and is a brain injury characterized by axonal disruption, resulting in lesions of white matter tracts over a wide area. Taking into account the fact that children with TBI were admitted to the institute with a significant spread (from 1 hour to 7 days), the initial CT scan was performed no later than one hour after admission and was supplemented by MRI. The criteria for CT and MRI prescriptions after TBI were: clinical and neurological status at the time of admission.

CT has low sensitivity for detecting DAI, as only large hemorrhagic (hyperdense) lesions of DAI are detected. The use of multiplanar reconstruction, as well as various options, such as 3D reconstruction, MIP and MinIP (maximum and minimum intensity projection) and others, allows for a detailed assessment of the brain parenchyma and increases the detection of DAI. In our study, DAI using MRI was detected in 92.13% of patients, and the most critical type of DAI III was detected in 100% of children with severe TBI with poor outcome and death of patients.

CONCLUSION: Head CT is the preferred method for emergency radiology of TBI patients due to its affordability, speed of data acquisition, and ability to detect lesions requiring urgent neurosurgical intervention. In acute cases, MRI is chosen for patients with severe neurological impairment despite the absence of structural brain damage on CT. MRI is the method of choice for sub-acute and chronic TBI.

KEYWORDS: infants, young children, magnetic resonance imaging, traumatic brain injury, children, susceptibility-weighted images

*For correspondence: Maxim V. Ublinsky, e-mail: maxublinsk@mail.ru

For citation: Zaitseva E.S., Akhadov T.A., Mamatkulov A.D., Bozhko O.V., Ublinskiy M.V., Noselova I.N., Ponina I.V., Melnikov I.A., Khusainova D.N. Computed tomography and magnetic resonance imaging of diffuse axonal injury in brain trauma in young children: retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 82–92, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-82-92>.

Введение. Черепно-мозговая травма (ЧМТ) остается одной из главных причин инвалидности и смерти у детей, но эффективные инструменты для прогнозирования ее исходов до настоящего времени не определены. Диффузное аксональное повреждение головного мозга (ДАП) — это один из вариантов ЧМТ, обнаруживаемый на ее ранней стадии, при котором основным субстратом являются диффузные разрывы или надрывы аксонов [1–3]. Подробным образом ДАП описано J. H. Adams и соавт. [4]. Предложенная авторами гистопатологическая классификация используется и в настоящее время, разделяя ДАП на следующие степени: степень 1 — микроскопические признаки повреждения аксонов в белом веществе полушарий головного мозга, включая мозолистое тело, в стволе мозга и иногда в мозжечке; степень 2 — очаговое поражение мозолистого тела в дополнение к диффузному повреждению аксонов; степень 3 — очаговые поражения как в мозолистом теле, так и в дорсолатеральном квадранте рострального ствола мозга в дополнение к диффузному повреждению аксонов. Это описание поражений, характерных для ДАП, соответствует визуализационной классификации L. Gentry [5]. Клиническими характеристиками ДАП по данным [4] считалась потеря сознания, приводящая к смерти или тяжелой инвалидности, при отсутствии видимых очаговых изменений ткани головного мозга, а патологоанатомическими изменениями были распространенные диффузные повреждения аксонов. При тяжелой ЧМТ со смертельным исходом ДАП степени 3 имеется у 100% пациентов и в 70% у выживших пострадавших. В 1996 г. D. I. Graham, J. H. Adams и T. A. Gennarelli [6] предложили клиническую классификацию тяжести ДАП, где выделили три степени: легкую — длительность комы от 6 до 24 ч; умеренную — длительность комы более 24 ч, но без грубых стволовых симптомов; тяжелую — длительная кома, с грубыми персистирующими стволовыми нарушениями — декортикацией, децеребрацией. Кроме того, есть варианты классификаций ЧМТ, включая ДАП, по результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ) [7].

Хотя ДАП может привести к физической и психосоциальной инвалидности, его прогностическая ценность все еще является предметом исследований и дискуссий. Соответственно также ведутся споры о частоте и достоверности компьютерной томографии (КТ) и МРТ в визуализации ДАП.

КТ имеет низкую чувствительность (около 19% негеморрагических и 20% геморрагических поражений) в их обнаружении [8]. Она визуализирует крупные геморрагические очаги ДАП, но не выявляет не

только мелкие геморрагические, но и ишемические очаги. У пациентов с ЧМТ, у которых в конечном итоге обнаружилось ДАП, в 50–80% случаев компьютерная томография показывает нормальную визуальную картину [2, 8].

МРТ более чувствительна для обнаружения поражений ДАП. Она позволяет быстро и четко выявлять не только геморрагические, но и ишемические очаги. Самыми информативными типами изображений являются: градиентное эхо (T2*GRE), изображения, взвешенные по магнитной восприимчивости (SWI) и диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ).

В связи с наличием точечных кровоизлияний в глубокое подкорковое белое вещество при ДАП, которые обычно не видны на КТ и стандартных МРТ, методика SWI позволяет выявлять внутрисосудистую венозную деоксигенированную кровь и экстравазкулярные продукты распада крови. Преимущество метода SWI по отношению к T2*-взвешенным изображениям — использование фазовых данных для повышения первоначального контраста магнитудных изображений, что и обуславливает более высокий контраст кровоизлияний на SWI изображениях по чувствительности при диагностике ДАП.

DWI методика чувствительна к изменению степени свободы диффузного движения молекул воды в биологических тканях. При ДАП данная методика помогает с высокой точностью выявлять зоны ограниченной диффузии молекул воды, отражающие наличие цитотоксического или вазогенного отека в очагах повреждения головного мозга, а также оценивать динамику развития процесса.

Данные методики дополняют друг друга: если методика SWI чувствительна к геморрагическим повреждениям вещества головного мозга, то DWI более чувствительна по отношению к негеморрагическим повреждениям. Благодаря их высокой чувствительности к продуктам деградации гемоглобина можно не только выявить очаги ДАП, но и оценить весь объем поражений при ДАП, что особенно важно для ранней диагностики ЧМТ в остром периоде [10–13]. Актуальной задачей является исследование корреляции степени и распределение очагов ДАП с функциональным исходом и возможность улучшения прогностической точности в сочетании с основными клиническими данными, маркерами КТ и МРТ у детей с ЧМТ средней и тяжелой степени [12–14].

Цель. Изучение возможностей компьютерной и магнитно-резонансной томографии головного мозга в диагностике диффузных аксональных повреждений у детей младше трех лет.

Материалы и методы. В исследовании анализированы данные 1334 детей, лечившихся в НИИ НДХиТ в период 2021–2022 гг., с острой ЧМТ в возрасте от 23 дней до 3 лет (средний возраст — 1 год 6 месяцев). Всем пострадавшим детям была выполнена КТ, 89 — МРТ. Из 1334 детей мальчиков было 730, девочек — 604.

Исследование было одобрено локальным Комитетом института по этике (протокол № 1 от 03.02.2021). Все исследования с участием людей проводились в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации 1964 года и ее более поздней поправки. Информированное согласие было получено от всех участников, включенных в исследование, или их законных представителей.

Компьютерная томография выполнена на 128-срезовом томографе «Ingenuity Elite 128» (Philips). Сканирование зоны интереса (голова+шейный отдел позвоночника) проводилось с максимально возможным снижением показателей для минимизации дозы облучения, включая программу iDose4, с шагом 0,75 мм при толщине среза 0,75 мм, интервал реконструкции составлял 2 мм. Параметры рентгеновской трубки (кВ и мАс) подбирались в зависимости от массы тела и возраста пациента. Контрастирование у детей от 0 до 3 лет при ЧМТ не использовалось. Диапазон эффективной дозы составил от 1,27 до 1,91 мЗв.

МРТ проведена на томографе Phillips Achieva 3 Тл с получением мультипланарных T1- и T2-ВИ, 2D- и 3D-изотропных изображений, FLAIR, SWI, ДВИ/ДТИ. Контрастное усиление не применялось. Были подсчитаны очаги ДАП в FLAIR, ДВИ и SWI и оценены объемы поражения по FLAIR. Критерием оценки была расширенная шкала исходов Глазго (ШКИ) через 6 месяцев; у пациентов с тяжелой ЧМТ — количество поражений DWI и объем поражений на FLAIR в мозолистом теле, стволе головного мозга и таламусе.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерной программы GraphPad Prism 9. Использовались вычислительные и графические возможности редактора электронных таблиц Excel. Для сравнения средних значений выборок данных применялся дисперсионный анализ ANOVA, различия считались достоверными на уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты. У 824 из 1334 обследованных детей (61,8%) выявлено сотрясение головного мозга, у 510 (38,2%) травмированных детей выявлены повреждения черепа и головного мозга от неосложненных кефалогематом и линейных переломов до массивных внутричерепных гематом и тотального отека мозга.

У 510 детей, у которых выявлены повреждения черепа и головного мозга, КТ выполнена в первые 24 часа после травмы. На рис. 1 показано распределение причин повреждений.

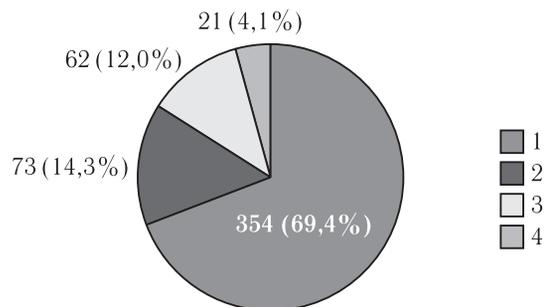


Рис. 1. Причины повреждения черепа и головного мозга: 1 — падение с различной высоты (с рук родителей и высоты собственного роста до 9-го этажа); 2 — падение на ребенка тяжелого предмета (телевизор, тумбочка, шкаф и др.); 3 — ДТП; 4 — «синдром жестокого обращения» с ребенком

Fig. 1. Causes of skull and brain damage: 1 — fall from various heights (from the hands of parents and the height of one's own height up to the 9th floor); 2 — a heavy object falling on the child (TV, bedside table, closet, etc.); 3 — road accident; 4 — «child abuse syndrome»

У всех 510 детей были переломы костей черепа, из них у 366 они сочетались с внутричерепными повреждениями. На рис. 2 показано распределение количества случаев повреждений в зависимости от степени ЧМТ.

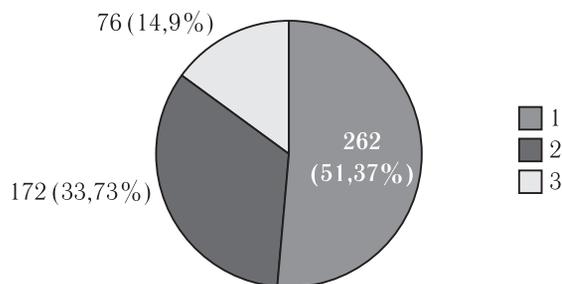


Рис. 2. Распределение количества случаев повреждений в зависимости от степени ЧМТ: 1 — тяжелая ЧМТ (ШКИ $\leq 3-8$); 2 — средняя ЧМТ (ШКИ $\leq 9-12$); 3 — легкая ЧМТ (ШКИ $\leq 13-15$)

Fig. 2. Distribution of the number of cases of injuries depending on TBI degree: 1 — severe TBI (GCS $\leq 3-8$); 2 — moderate TBI (GCS $\leq 9-12$); 3 — mild TBI (GCS $\leq 13-15$)

У 51,37% (262 из 510) детей диагностировано субарахноидальное кровоизлияние (САК), из них у 64,1% детей с тяжелой ЧМТ. САК обычно визуализировалось чаще по конвексу свода черепа в бороздах, реже вдоль намета мозжечка и межполушарной борозде, а также в цистернах основания.

У 27,1% (138 из 510) детей выявлены внутримозговые гематомы (ВМГ) (на рис. 3 указаны локализации ВМГ).

При этом у 37 (26,8%) детей ВМГ сочетались с переломами прилежащих костей свода и/или основания черепа, а у 9 (6,5%) детей они были с прорывом в желудочки. Объем ВМГ был от 2–3 до 178 мл с плотностью от 60 до 80 ед. Н. Проявлением масс-

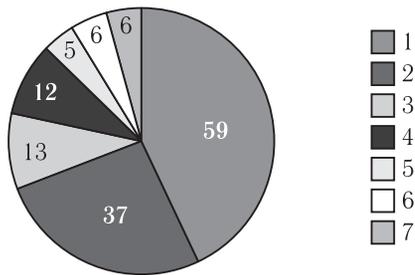


Рис. 3. Локализация внутримозговых гематом: 1 — лобные доли; 2 — теменные доли; 3 — височные доли; 4 — затылочные доли; 5 — лобно-височные доли; 6 — теменно-височные доли; 7 — множественные небольших объемов (2–5 мл) с различной топикой

Fig. 3. Localization of intracerebral hematomas: 1 — frontal lobes; 2 — parietal lobes; 3 — temporal lobes; 4 — occipital lobes; 5 — frontotemporal lobes; 6 — parietal-temporal lobes; 7 — multiple small volumes (2–5 ml) with different topicals

эффекта ВМГ было смещение срединных структур, максимальное составляло 12 мм ($n=3$). Кроме 9 наблюдений ВМГ с прорывом в желудочки были еще 7 детей, у которых установлено внутрижелудочковое кровоизлияние (ВЖК), не связанное с ВМГ. ВЖК при КТ проявлялись гиперденсными включениями в желудочках мозга, в 10 наблюдениях вызвали обструкцию отверстий желудочков и обусловили острую гидроцефалию различной степени.

ДАП I и II типа при КТ, в дальнейшем подтвержденные при МРТ, выявлены у 32 (6,27%) детей из всех 510 с ЧМТ. У 19 из 32 было сочетание с ушибами

головного мозга, 13 с эпи- и/или субдуральными гематомами небольшого объема. ДАП III типа с помощью КТ не визуализированы ни у одного ребенка.

Из 510 детей с интракраниальными повреждениями, выявленными при первичной КТ, МРТ выполнена у 89 детей до 3 лет. МРТ головного мозга по клиническим показаниям проводилась в среднем через 5 дней после травмы (минимальный срок от момента травмы составлял 40 мин, максимальный — 12 дней). ДАП различного типа с помощью МРТ выявлены у 92,13% (82 из 89) пострадавших. SWI была выполнена у 94,4% (84 из 89) пациентов, тогда как T2*ВИ GRE применены у 3,4% (3 из 89) пациентов, у 2,2% (2 из 89) пациентов применялись обе последовательности. Следует отметить, что из 89 детей с ДАП по результатам МРТ у 72 было межполушарное САК и у 16 — ВЖК.

ДАП I (повреждение полушарий головного мозга) диагностировано у 10,2% (9 из 89) у детей с легкой ЧМТ (рис. 4, 5). Очаги ДАП были в одном полушарии у 11,1% (1 из 9) и в обоих полушариях у 88,9% (8 из 9) пациентов, локализуясь преимущественно в височной и лобной долях, единичные визуализировались в теменной и затылочной долях.

ДАП II (повреждение полушарий головного мозга + мозолистое тело) установлено у 83,1% (74 из 89) пострадавших (рис. 6). Поражения были небольшими, множественными и двусторонними. Топически очаги ДАП были в скорлупе и бледном шаре, таламусе, а в мозолистом теле расположение их было ограничено валиком в 45,9% (34 из 74) наблюдений.

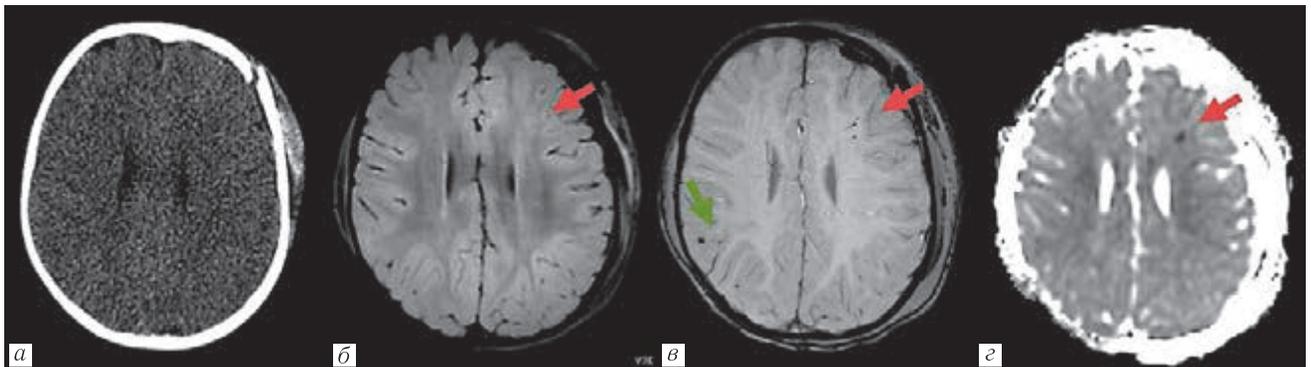


Рис. 4. М., 1 год 6 мес. Вторые сутки после получения травмы. Оскольчатый перелом лобной кости слева со смещением. Массивная подпапневротическая гематома левой лобно-теменно-височной области. Две эпидуральные гематомы левой лобной области. Умеренный диффузный отек вещества головного мозга. Очаги диффузного аксонального повреждения в левой лобной и правой теменной долях (ДАП I). Аксиальные срезы: а — КТ; б — МРТ FLAIR; в — МРТ SWI; г — ADC-карта. Очаги диффузного аксонального повреждения (красная стрелка) в левой лобной доле, гиперинтенсивные на FLAIR (б), гипоинтенсивные на SWI (в) и ADC-карте (г), не определяющиеся при КТ. На SWI в правой теменной доле выявляется гипоинтенсивный очаг диффузного аксонального повреждения (зеленая стрелка), не определявшийся на изображениях, полученных в других импульсных последовательностях

Fig. 4. M., 1 year 6 months. Second day after injury. Comminuted fracture of the frontal bone on the left with displacement. Massive subgaleal hematoma of the left fronto-parietal-temporal region. Two epidural hematomas of the left frontal region. Moderate diffuse swelling of the brain substance. Foci of diffuse axonal damage in the left frontal and right parietal lobes (DAI I). Axial sections: a — CT; б — FLAIR MRI; в — SWI MRI; г — ADC map. Foci of diffuse axonal damage (red arrow) in the left frontal lobe, hyperintense on FLAIR (б), hypointense on SWI (в) and ADC map (г), not detectable on CT. SWI in the right parietal lobe reveals a hypointense focus of diffuse axonal damage (green arrow), which was not detected on images obtained in other pulse sequences

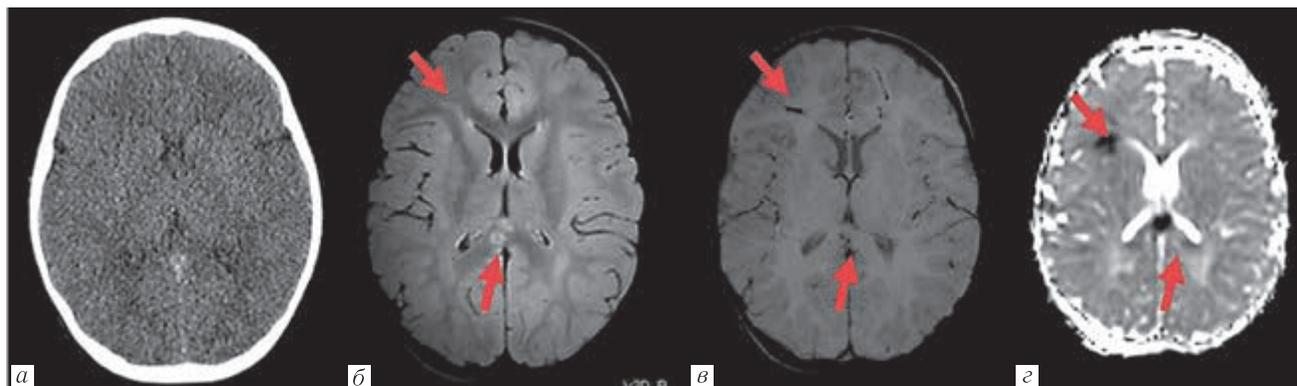


Рис. 5. М., 2 года 10 мес. Первые сутки после получения травмы. Диффузное аксональное повреждение с вовлечением обоих полушарий головного мозга, мозолистого тела и мозжечка (ДАП II). Умеренно выраженный диффузный отек вещества головного мозга. Субарахноидальное кровоизлияние вдоль расположения фалькса. Аксиальные срезы: *a* — КТ; *б* — MPT FLAIR; *в* — MPT SWI; *г* — ADC-карта. Очаги диффузного аксонального повреждения в правой лобной доле, утолщении мозолистого тела (красные стрелки), гиперинтенсивные на FLAIR (*б*), гипоинтенсивные на SWI (*в*) и ADC-карте (*г*), отчетливо не выявляющиеся при КТ (*a*)

Fig. 5. M., 2 years 10 months. The first day after injury. Diffuse axonal damage involving both hemispheres of the brain, the corpus callosum and the cerebellum (DAI II). Moderately expressed brain diffuse swelling. Subarachnoid hemorrhage along the location of the falx. Axial sections *a* — CT; *б* — FLAIR MRI; *в* — SWI MRI; *г* — ADC map. Foci of diffuse axonal damage in the right frontal lobe, thickening of the corpus callosum (red arrows), hyperintense on FLAIR (*б*), hypointense on SWI (*в*) and ADC map (*г*), not clearly visible on CT (*a*)

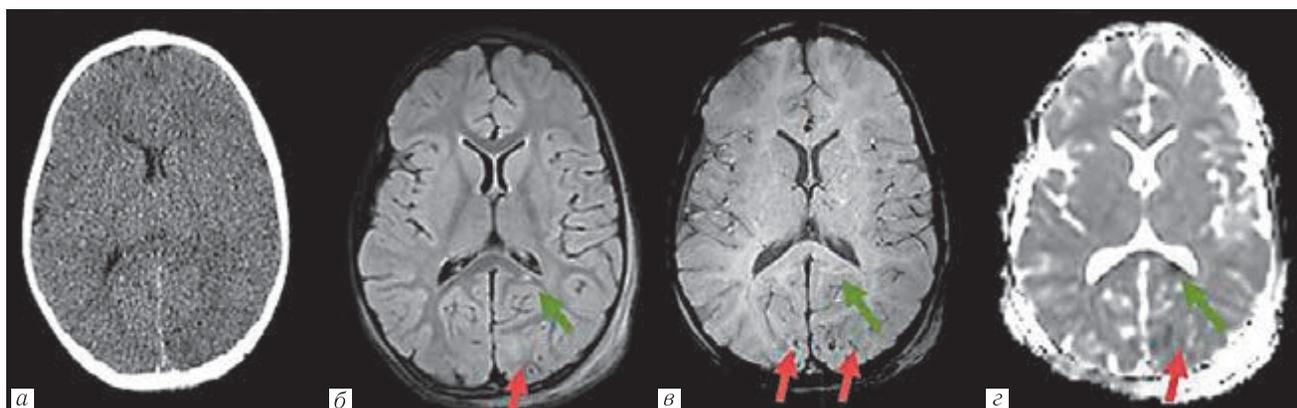


Рис. 6. М., 2 года 2 мес. Третьи сутки после получения травмы. Негеморрагические корковые очаги ушибов в обеих затылочных долях, задней лучистости мозолистого тела слева (ДАП I). Умеренно выраженный диффузный отек вещества головного мозга. Отек мягких тканей головы в теменно-затылочной области слева.

Аксиальные срезы: *a* — КТ; *б* — MPT FLAIR; *в* — MPT SWI; *г* — ADC-карта. Очаги диффузного аксонального повреждения в обеих затылочных долях (красные стрелки), гипоинтенсивные на SWI (*в*), часть из них выявляется гиперинтенсивным МР-сигналом на FLAIR (*б*), имеет низкие значения на ADC-карте (*г*). Очаг ДАП в задней лучистости мозолистого тела слева (зеленые стрелки). При КТ (*a*) очаги ДАП отчетливо не выявляются

Fig. 6. M., 2 years 2 months. Third day after injury. Non-hemorrhagic cortical lesions of contusions in both occipital lobes, posterior radiation of the corpus callosum on the left (DAI I). Moderately expressed brain diffuse swelling. Swelling of the soft tissues of the head in the parieto-occipital region on the left. Axial sections: *a* — CT; *б* — FLAIR MRI; *в* — SWI MRI; *г* — ADC map. Foci of diffuse axonal damage in both occipital lobes (red arrows), hypointense on SWI (*в*), some of them are detected by a hyperintense MR signal on FLAIR (*б*), and have low values on the ADC map (*г*). The focus of DAI is in the posterior radiation of the corpus callosum on the left (green arrows). CT scan (*a*) does not clearly identify DAI lesions

ДАП III (повреждение среднего мозга и дорсолатеральных участков рострального отдела ствола и самого ствола мозга) выявлено у 6,7% (6 из 89) пациентов (рис. 7, 8). У всех 6 детей с ДАП III по клиническим признакам травма оценена как тяжелая ЧМТ (ШКГ <8). Соответственно у них присутствовала вся «триада» топики ДАП. Геморрагические очаги выявлены в ножках головно-

го мозга и покрышке среднего мозга, варолиевом мосте и продолговатом мозге, мозжечке.

ДВИ/ДТИ в алгоритме MPT при ЧМТ использовались у всех 89 детей для выявления изменений белого вещества, невидимых на T2-ВИ, FLAIR и SWI. ДВИ выявила только 47% всех поражений, обнаруженных при SWI, но могла показать дополнительные повреждения, не видимых на FLAIR

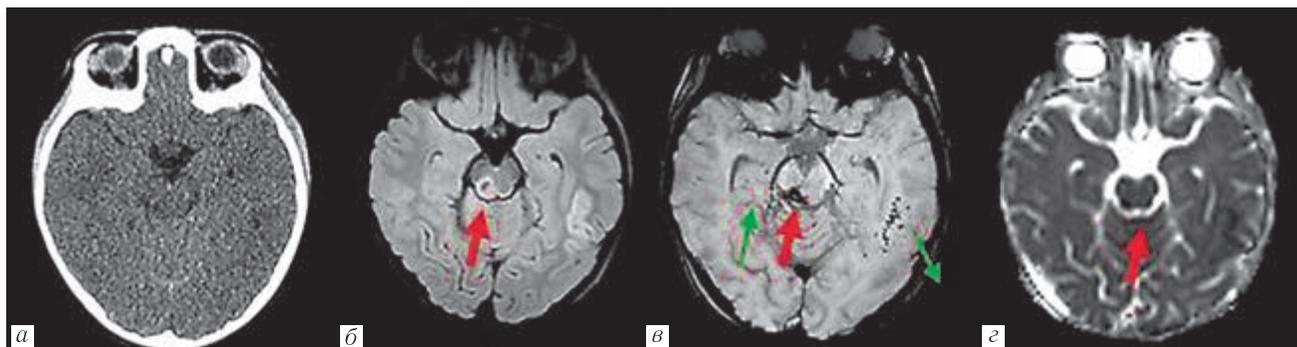


Рис. 7. Д., 3 года. Первые сутки после получения травмы. Перелом пирамиды левой височной кости. Диффузное аксональное повреждение с вовлечением обеих височных долей, включая области гиппокампов, стволовых структур (нижние холмики, покрывка среднего мозга) — ДАП III. Минимальный диффузный отек полушарий головного мозга.

Аксиальные срезы: *a* — КТ; *б* — МРТ FLAIR; *в* — МРТ SWI; *г* — ADC-карта. Очаги диффузного аксонального повреждения в покрывке среднего мозга и нижнем холмике справа (красные стрелки), гиперинтенсивные с гипоинтенсивным центром на FLAIR (*б*), гипоинтенсивные на SWI (*в*) и ADC-карте (*г*), отчетливо не выявляющиеся при КТ (*a*). Кроме того, на SWI (*в*) в височных долях определяются множественные мелкие ДАП (зеленые стрелки)

Fig. 7. D., 3 years. The first day after injury. Fracture of the pyramid of the left temporal bone. Diffuse axonal damage involving both temporal lobes, including areas of the hippocampus, brainstem structures (inferior colliculus, midbrain tegmentum) — DAI III. Minimal diffuse edema of the cerebral hemispheres. Axial sections: *a* — CT; *б* — FLAIR MRI; *в* — SWI MRI; *г* — ADC card. Foci of diffuse axonal damage in the tegmentum of the midbrain and the inferior colliculus on the right (red arrows), hyperintense with a hypointense center on FLAIR (*б*), hypointense on SWI (*в*) and ADC map (*г*), not clearly visible on CT (*a*). In addition, SWI (*в*) reveals multiple small DAI in the temporal lobes (green arrows)

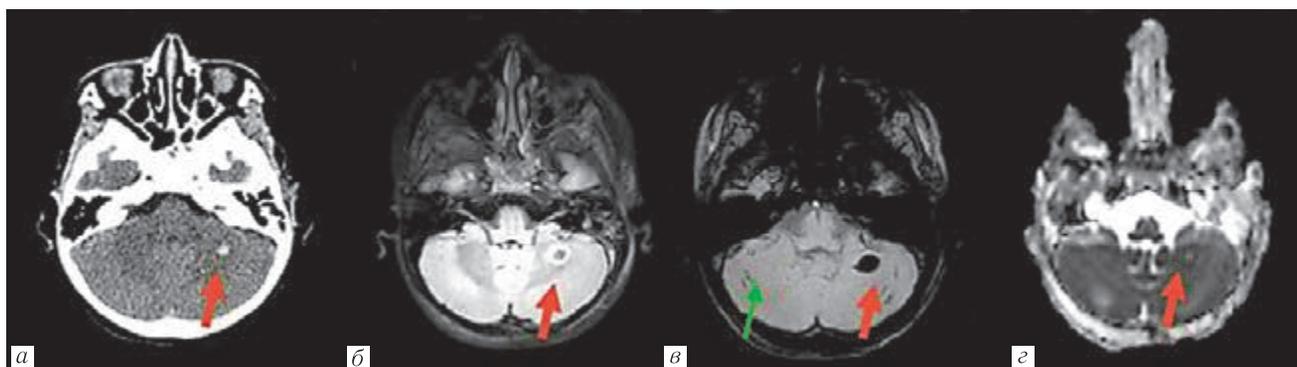


Рис. 8. Д., 3 года. Первые сутки после получения травмы. Перелом пирамиды левой височной кости. Диффузное аксональное повреждение с вовлечением обеих височных долей, включая области гиппокампов, стволовых структур (нижние холмики, покрывка среднего мозга) — ДАП III. Минимальный диффузный отек полушарий головного мозга. Аксиальные срезы: *a* — КТ; *б* — МРТ FLAIR; *в* — МРТ SWI; *г* — ADC-карта. Крупный очаг диффузного аксонального повреждения в левом полушарии мозжечка (красные стрелки), гиперденсный при КТ (*a*), гипоинтенсивный на SWI (*в*); гиперинтенсивный с гипоинтенсивным центром на FLAIR (*б*), на ADC-карте (*г*) с пониженным значением по периферии. Мелкие участки ДАП, выявляющиеся только на SWI (зеленые стрелки)

Fig. 8. D., 3 years. The first day after injury. Fracture of the pyramid of the left temporal bone. Diffuse axonal damage involving both temporal lobes, including areas of the hippocampus, brainstem structures (inferior colliculus, midbrain tegmentum) — DAI III. Minimal diffuse edema of the cerebral hemispheres. Axial sections: *a* — CT; *б* — FLAIR MRI; *в* — SWI MRI; *г* — ADC card. Large focus of diffuse axonal damage in the left hemisphere of the cerebellum (red arrows), hyperdense on CT (*a*), hypointense on SWI (*в*); hyperintense with a hypointense center on FLAIR (*б*), on the ADC map (*г*) with a reduced value along the periphery. Small areas of DAI, visible only on SWI (green arrows)

и T2*ВИ GE. При этом установлено достоверное снижение исчисляемого коэффициента диффузии (ИКД) и повышение фракционной анизотропии (ФА) в следующих зонах головного мозга: конвекситально-базальных лобных и височных долей, коре, задней части и перешейке поясной извилины, теле, колене, валике мозолистого тела, верхнем продольном пучке и лучистом венце, наружной капсуле, передней и задней ножках внутренней капсулы, шпорной борозде и околошпорной зоне, предклины и миндалинах,

семиовальном центре, зрительном бугре и стволе. У детей с травматической комой и плохим исходом значения ИКД в белом веществе были достоверно ($p < 0,05$) снижены ($69,7 \pm 13,5 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$) по сравнению с детьми с комой и хорошими исходами ($82,1 \pm 3,8 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$). В 81,25% случаев (65 из 80) средней и тяжелой ЧМТ ИКД достоверно предсказал исход, в том числе травматической комы. По данным трактографии, кроме видимого обеднения трактов, значения индекса ФА коррелировали с исходной

оценкой по шкале комы Глазго и оценкой по модифицированной шкале Рэнкина при выписке.

Обсуждение. ДАП является одним из наиболее частых видов ЧМТ и встречается как при легкой, так и при тяжелой степени, представляет собой повреждение головного мозга, характеризующееся разрывом аксонов, в результате чего возникают поражениями трактов белого вещества в большом пространстве. ДАП отмечаются в 30–50% всех случаев тяжелой ЧМТ, являясь главной причиной потери сознания и стойкого вегетативного состояния [3, 9, 15, 16]. ДАП различной степени с помощью МРТ выявлены нами у 92,13% (82 из 89) детей с ЧМТ. Сроки выполнения первичной МРТ варьировали от 40 мин до 12 суток (в среднем через 5 дней) после травмы. Столь значительный разброс проведения МРТ обусловлен тем, что дети после ЧМТ были госпитализированы в неспециализированные стационары различного уровня, где метод был не доступен. Принципиально мы считаем, что если соматическое состояние пострадавшего ребенка позволяет или ЧМТ изолированная, то МРТ может быть выполнена сразу после поступления в стационар, или не позднее 24 часов после травмы. В нашем исследовании МРТ выполнена в первые 24 часа от момента травмы в 62,92% (56 из 89) наблюдений. При этом выявлялась вся «триада» ДАП.

КТ выполнялась всем детям с ЧМТ как основной метод исследования. Данных о критериях клинического скрининга для оценки ЧМТ для назначения КТ у детей до 3 лет в литературе нет. Результаты КТ по визуализации ДАП обычно отстают от фактически имеющихся повреждений, поэтому исследования, выполненные в течение первых 3 часов после травмы, могут недооценивать травму [17–19]. С учетом поступления в институт детей с ЧМТ со значительным разбросом (от 1 часа до 7 суток) первичную КТ проводили не позднее, чем через один час после поступления и дополняли МРТ. Критерием назначения КТ и МРТ после ЧМТ был клинический и неврологический статус на время поступления.

Как по нашим данным (6,27%), так и по данным литературы (20%), КТ имеет низкую чувствительность для обнаружения ДАП, так как выявляет только крупные геморрагические (гиперденсные) очаги ДАП [8, 20, 21]. Использование мультипланарной реконструкции, а также различных опций, таких как 3D-реконструкция, MIP и MinIP (проекция максимально и минимальной интенсивности) и другие, позволяет детально оценить паренхиму головного мозга и повысить выявляемость ДАП [8, 12]. Низкая выявляемость ДАП в нашем исследовании, вероятно, обусловлена тем, что наиболее частые механизмы ее возникновения (ДТП и кататравма) были редкими, а также размеры очагов были небольшими, и геморрагический компонент в них был слабо представлен.

Дифференциальная диагностика внутримозговой гематомы от крупного очага ДАП или массивного

глубокого геморрагического ушиба представляет собой сложный вопрос. Хотя по сути это один и тот же вид повреждения. Гематома обычно окружена относительно интактной паренхимой, в отличие от зоны коркового геморрагического ушиба, когда нет резко и четко видимой границы, а при ДАП обычно визуализируется несколько геморрагических очагов [9, 22, 23].

Есть мнение, что межполушарное САК и ВЖК имеют тот же механизм образования, что и ДАП, между ними есть связь и корреляция, соответственно САК и ВЖК могут быть косвенными признаками и/или предикторами (для КТ) ДАП. Межполушарное САК достоверно ($p < 0,05$) коррелирует с выявленными ДАП II или III. Среднее значение выявления САК при первичной КТ при поправке на ШКГ имеет чувствительность 60,8%, специфичность 81,7% и положительные и отрицательные прогностические признаки со значением 43,7% и 89,9%; соответственно все эти значения действительны и для ДАП III [2, 9, 24]. Небольшая выборка данных по ДАП, САК и ВЖК по результатам первичной КТ в остром периоде в нашем исследовании не позволяет подтвердить данную гипотезу. Однако отсутствие межполушарного САК при первичной МРТ было надежным признаком для исключения ДАП III, хотя число пациентов с ДАП III в исследовании относительно мало.

SWI, как модификация T2*GE, обладает повышенной тропностью к парамагнитным веществам: дезоксигемоглобину, железу и кальцификатам. Этот тип изображения в несколько раз чувствительнее, чем любые другие, для визуализации кровоизлияний, также может различать артериальные и венозные сосуды. Использование SWI и T2*GE при МРТ позволяет быстро и точно локализовать очаги ДАП, в том числе в задней черепной ямке и глубоком белом веществе [10, 25]. Мы, как и другие исследователи, установили, что частота выявления ДАП различного типа при острой ЧМТ прогрессивно увеличиваются в группах с баллами ШКГ < 8 [26]. При этом смертность увеличивается с 14% при ДАП I до 100% при ДАП III. Соответственно, наличие ДАП III являются основным детерминантом плохого исхода. Установлено, что наличие очагов ДАП в среднем мозге и стволе (особенно симметричных двусторонних) является наиболее значимым маркером негативного исхода [27–29]. Количество, распространение и объем геморрагических очагов, выявленных с помощью SWI, выражено коррелирует с переменными клинического исхода, включая оценку по шкале комы Глазго (ШКГ), хирургическое вмешательство, продолжительность пребывания в реанимационном отделении и продолжительность интубации [30]. В нашем исследовании ДАП с помощью МРТ выявлены у 92,13% пациентов, а наиболее критичный тип ДАП III — у 100% детей с тяжелой ЧМТ с плохим исходом и смертью пациентов. Билатеральные глубокие очаги ДАП в таламусе,

среднем мозге и в задних отделах ствола предвещали более негативные исходы ЧМТ. В результате сравнительного анализа между степенью ДАП и исходными клиническими показателями, а также исходами, измеренными через 6 месяцев после травмы, нами установлено, что с учетом выраженной корреляции между количеством и распространением геморрагических очагов, объемом поражения мозговой ткани, выявленных с помощью SWI, и нарушениями сознания возможно прогнозирование клинического исхода. Это точка зрения согласуется с данными литературы [11, 12, 31]. Супратенториальные очаги в структуре базальных ганглиев, внутренней капсулы, и особенно таламусов, коррелируют с худшим исходом для пациентов, при этом очаги в структуре таламусов обычно характерны для пациентов, переходящих в вегетативное состояние.

Степени ушибов головного мозга анализировались по шкале Маршала (КТ) и степеням ДАП (МРТ), а также для оценки наличия гипоксически-ишемического повреждения (МРТ). Первичным критерием исхода являлась оценка по педиатрической шкале церебральных показателей (PCPCS) через 6 месяцев после ЧМТ, при этом благоприятный исход определялся как баллы PCPCS 1–3, а неблагоприятный исход определялся как баллы PCPCS 4–6. Вторичной конечной мерой являлась выписка на дом по сравнению со стационарным реабилитационным отделением. В ходе исследования установлено, что ДВИ выявила только 47% всех поражений, выявленных при SWI. При этом установлено, что у детей с травматической комой и плохим исходом значения ИКД в белом веществе были значительно снижены по сравнению с детьми с комой и хорошими исходами, а значения ФА — вариабельны. Коэффициент ФА значительно снижался во внутренней капсуле и оральном отделе мозолистого тела и повышался в его каудальном отделе. В 81,25% (65/80) средней и тяжелой ЧМТ ИКД достоверно предсказал исход, в том числе травматической комы. Изменения диффузии при травматической коме в остром периоде показали и являлись одним из ранних показателей повреждения головного мозга, в том числе сохранности трактов белого вещества. По данным трактографии при визуальном обеднении трактов значения индекса ФА коррелировали с исходной оценкой по шкале комы Глазго.

В результате нами установлено, что пациенты с серьезными нарушениями связности в обоих полушариях и стволе мозга подвержены большему риску плохих результатов. Объем поражения был предсказуем для исхода даже только на основе ИКД, ФА и FLAIR. Кроме того, ДВИ выявило изменения белого вещества, ненаблюдаемые ни на T2W FLAIR, ни на SWI, что крайне важно для дифференциации вазогенного от цитотоксического отека: это позволит установить зоны с необратимым повреждением клеток не только в результате анатомической травмы, но и вторичной ишемии. В литературе есть данные, что у пациентов с травматическими ДАП в сравнении с пациентами без них в три раза больше вероятность отрицательного исхода, который с повышением степени ДАП также повышается, хотя сохраняется 37% вероятность благоприятного исхода у пациентов с ДАП III, а микроструктурные поражения белого вещества, обнаруженные с помощью ДТИ коррелируют со стойким когнитивным дефицитом [12, 27, 28, 32].

Заключение. КТ головного мозга из-за ее доступности, скорости получения данных и способности обнаруживать поражения, требующие срочного нейрохирургического вмешательства — предпочтительный метод в неотложной радиологии у пациентов с ЧМТ, даже у младенцев от 0 до 3 лет. Однако КТ имеет низкую чувствительность для обнаружения ДАП, и ее результаты по визуализации ДАП отстают от фактически имеющихся повреждений. Соответственно КТ не может быть полноценным методом прогнозирования исхода ЧМТ. Решение проблемы неврологического исхода ЧМТ — использование инструмента, способного дать надежные и долгосрочные неврологические и психологические результаты. Этим инструментом в настоящее время является МРТ, позволяющая получить результаты, которые могут быть перспективными для прогнозирования исходов. При ДАП имеются несколько важных прогностических признаков поражения, в значительной степени связанные с плохими долгосрочными нейрокognитивными и психическими исходами.

Ограничения нашего исследования включают отсутствие слепых оценок результатов и недостаточную статистическую мощность (количество выполненных МРТ в данном исследовании — 89) для оценки дополнительной прогностической ценности МРТ в сочетании с клинической информацией (всего).

Сведения об авторах:

Зайцева Екатерина Сергеевна — врач-рентгенолог отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: katarina0594@mail.ru; ORCID 0000–0002–6124–5410;

Ахадов Тolibжон Абдуллаевич — доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: akhadov@mail.ru; ORCID 0000–0002–3235–8854;

Маматкулов Алишер Джахангирович — аспирант отделения нейрохирургии государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: md-uz7@mail.ru; ORCID 0000–0002–6349–5739;

Божко Ольга Васильевна — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: bozhko_olga@mail.ru; ORCID 0000–0002–4709–9461;

Ублинский Максим Вадимович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: maxublinsk@mail.ru; ORCID 0000-0002-4627-9874;

Новосёлова Ирина Наумовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отделения реабилитации государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 20; e-mail: i.n.novoselova@gmail.com; ORCID 0000-0003-2258-2913;

Понина Ирина Витальевна — врач-педиатр государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 20; e-mail: ponina.irina@mail.ru; ORCID 0000-0002-0060-7895;

Мельников Илья Андреевич — кандидат медицинских наук, заведующий отделением КТ и МРТ отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 20; e-mail: ilyamed@mail.ru; ORCID 0000-0002-2910-3711;

Хусаинова Дарья Николаевна — научный сотрудник отдела ИТ государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 20; e-mail: dsavina@yandex.ru; ORCID 0000-0002-1698-0547.

Information about authors:

Ekaterina S. Zaitseva — radiologist of Radiology Department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 22; e-mail: katarina0594@mail.ru; ORCID 0000-0002-6124-5410;

Tolibjon A. Akhadov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of Radiology Department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 22; e-mail: akhadov@mail.ru; ORCID 0000-0002-3235-8854;

Alisher D. Mamatkulov — postgraduate student of Neurosurgery Department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 22; e-mail: md-uz7@mail.ru; ORCID 0000-0002-6349-5739;

Olga V. Bozhko — Cand. of Sci. (Med.), Leading Researcher of Radiology Department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 22; e-mail: bozhko_olga@mail.ru; ORCID 0000-0002-4709-9461;

Maxim V. Ublinsky — Cand. of Sci. (Biol.), Senior researcher of Radiology Department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 22; e-mail: maxublinsk@mail.ru; ORCID 0000-0002-4627-9874;

Irina N. Novoselova — Cand. of Sci. (Biol.), Senior Researcher of Radiology Department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 20; e-mail: i.n.novoselova@gmail.com; ORCID 0000-0003-2258-2913;

Irina V. Ponina — pediatrician, CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 20; e-mail: ponina.irina@mail.ru; ORCID 0000-0002-0060-7895;

Ilya A. Melnikov — Cand. of Sci. (Med.), Head of CT and MRI Department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 20; e-mail: ilyamed@mail.ru; ORCID 0000-0002-2910-3711;

Daria N. Khusainova — researcher at the IT department of CRIEPST; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 20; e-mail: dsavina@yandex.ru; ORCID 0000-0002-1698-0547.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — Т.А. Ахадов, О.В. Божко, Е.С. Зайцева, И.Н. Новоселова, И.В. Понина, сбор и математический анализ данных — А.Д. Маматкулов, И.А. Мельников, М.В. Ублинский, Д.Н. Хусаинова, подготовка рукописи — Т.А. Ахадов, Е.С. Зайцева, М.В. Ублинский.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: TAA, OVB, ESZ, NIN, IVP, aided in the concept and plan of the study; ADM, IAM, MVU, DNK provided collection and mathematical analysis of data; TAA, ESZ, MVU preparation of the manuscript.

Соответствие принципам этики: Исследование одобрено локальным Комитетом института по этике (протокол № 1 от 03.02.2021). Информированное согласие было получено от всех участников, включенных в исследование, или их законных представителей.

Compliance with ethical principles: The study was approved by the local Ethics Committee of the institute (protocol No. 1 of 03.02.2021). Informed consent was obtained from all participants included in the study or their legal representatives.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Adherence to conflict of interests: The authors declare that they have no competing interests.

Поступила/Received: 08.08.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Лихтерман Л.Б. Диффузное аксональное повреждение головного мозга // *Consilium Medicum. Неврология и ревматология (Прил.)*. 2016. Т. 1. С. 44–51. [Lihterman L.B. Diffuse axonal brain injury. *Consilium Medicum. Neurology and Rheumatology (Appendix)*, 2016, Vol. 1, pp. 44–51 (In Russ.).]
- Mata-Mbamba D., Mugikura S., Nakagawa A., Murata T., Kato Y., Tatewaki Y., Li L., Takase K., Ishii K., Kushimoto S., Tominaga T., Takahashi S. Intraventricular hemorrhage on initial computed tomography as marker of diffuse axonal injury after traumatic brain injury // *J. Neurotrauma*. 2015. Vol. 2, No. 5. P. 359–365. doi: 10.1089/neu.2014.3453.
- Wasserman J.R., Smirniotopoulos J.G. Diffuse Axonal Injury Imaging // *Medscape*. 2021. P. 1–17.
- Adams J.H., Doyle D., Ford I., Gennarelli T.A., Graham D.I., McLellan D.R. Diffuse axonal injury in head injury: definition, diagnosis and grading // *Histopathology*. 1989. Vol. 15, No. 1. P. 49–59. doi: 10.1111/j.1365-2559.1989.tb03040.x.
- Gentry L.R. Imaging of closed head injury // *Radiology*. 1994. Vol. 191, No. 1. P. 1–17. doi: 10.1148/radiology.191.1.8134551.
- Graham D.I., Adams J.H., Gennarelli T.A. Pathology of brain damage in head injury // *The Practice of Neurosurgery*. 1996. Vol. 2. P. 1385–1399.
- Захарова Н.Е., Потапов А.А., Корниенко В.Н., Пронин И.Н., Александрова Е.В., Данилов Г.В., и др. Новая классификация травматических поражений головного мозга, основанная на данных магнитно-резонансной томографии // *Вестник РФФИ*. 2016. Т. 2, № 90. С. 12–17. [Zaharova N.E., Potapov A.A., Kornienko V.N., Pronin I.N., Aleksandrova E.V., Danilov G.V. et al. New classification of traumatic brain injuries based on magnetic resonance imaging data. *Bulletin of the RFFI*, 2016, Vol. 2, No. 90, pp. 12–17 (In Russ.).] doi: 10.1089/neu.2014.3453.
- Lolli V., Pezzullo M., Delpiere I., Sadeghi N. MDCT imaging of traumatic brain injury // *Br. J. Radiol.* 2016. Vol. 89. P. 20150849. doi: 10.1259/bjr.20150849.
- Mata-Mbamba D., Mugikura S., Nakagawa A., Murata T., Ishii K., Kushimoto S., Tominaga T., Takahashi S., Takase K. Traumatic midline subarachnoid hemorrhage on initial computed tomography as a marker of severe diffuse axonal injury // *J. Neurosurg.* 2018. Vol. 129, No. 5. P. 1317–1324. doi: 10.3171/2017.6.JNS17466.
- Heyn C., Alcaide-Leon P., Bharatha A., Sussman M.S., Kucharczyk W., Mandell D.M. Susceptibility-weighted imaging in neurovascular disease // *Topics in Magnetic Resonance Imaging*. 2016. Vol. 25. P. 63–71. doi: 10.1097/RMR.000000000000079.
- Abu Hamdeh S., Marklund N., Lannsjö M., Howells T., Raininko R., Wikström J., Enblad P. Extended Anatomical Grading in Diffuse Axonal Injury Using MRI: Hemorrhagic Lesions in the Substantia Nigra and Mesencephalic Tegmentum Indicate Poor Long-Term Outcome // *J. Neurotrauma*. 2017. Vol. 34, No. 2. P. 341–352. doi: 10.1089/neu.2016.4426.
- Van Eijck M.M., Schoonman G.G., van der Naalt J., de Vries J., Roks G. Diffuse axonal injury after traumatic brain injury is a prognostic factor for functional outcome: a systematic review and meta-analysis // *Brain Inj.* 2018. Vol. 32, No. 4. P. 395–402. doi: 10.1080/02699052.2018.1429018.
- Ravikanth R., Majumdar P. Prognostic Significance of Magnetic Resonance Imaging in Detecting Diffuse Axonal Injuries: Analysis of Outcomes and Review of Literature // *Neurol. India*. 2022. Vol. 70, No. 6. P. 2371–2377. doi: 10.4103/0028-3886.364066.

14. Kuppermann N., Holmes J.F., Dayan P.S., Hoyle J.D. Jr, Atabaki S.M., Holubkov R. et al. Identification of children at very low risk of clinically-important brain injuries after head trauma: a prospective cohort study // *Lancet*. 2009. Vol. 374, No. 9696. P. 1160–1170. doi: 10.1016/S0140-6736(09)61558-0.
15. Parizel P.M., Ozsarlak, van Goethem J.W., van den Hauwe L., Dillen C., Verlooy J., Cosyns P., De Schepper A.M. Imaging findings in diffuse axonal injury after closed head trauma // *Eur. Radiol.* 1998. Vol. 8, No. 6. P. 960–965. doi: 10.1007/s003300050496.
16. Laureys S., Owen A.M., Schiff N.D. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders // *Lancet Neurol.* 2004. Vol. 3, No. 9. P. 537–546. doi: 10.1016/S1474-4422(04)00852-X.
17. Lyttle M.D., Crowe L., Oakley E., Dunning J., Babl F.E. Comparing CATCH, CHALICE and PECARN clinical decision rules for paediatric head injuries // *Emerg. Med. J.* 2012. Vol. 29, No. 10. P. 785–794. doi: 10.1136/emmed-2011-200225.
18. Gülşen I., Ak H., Karadaş S., Demir I., Bulut M.D., Yaycioğlu S. Indications of brain computed tomography scan in children younger than 3 years of age with minor head trauma // *Emerg. Med. Int.* 2014. Vol. 2014. P. 248967. doi: 10.1155/2014/248967.
19. Wintermark M., Sanelli P.C., Anzai Y., Tsiouris A.J., Whitlow C.T.; American College of Radiology Head Injury Institute. Imaging evidence and recommendations for traumatic brain injury: advanced neuro- and neurovascular imaging techniques // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2015. Vol. 36, No. 2. E1-E11. doi: 10.3174/ajnr.A4181.
20. Buttram S.D., Garcia-Filion P., Miller J., Youssfi M., Brown S.D., Dalton H.J., Adelson P.D. Computed tomography vs magnetic resonance imaging for identifying acute lesions in pediatric traumatic brain injury // *Hosp. Pediatr.* 2015. Vol. 5, No. 2. P. 79–84. doi: 10.1542/hpeds.2014-0094.
21. Ma J., Zhang K., Wang Z., Chen G. Progress of Research on Diffuse Axonal Injury after Traumatic Brain Injury // *Neural. Plast.* 2016. Vol. 2016. P. 9746313. doi: 10.1155/2016/9746313.
22. Currie S., Saleem N., Straiton J.A., Macmullen-Price J., Warren D.J., Craven I.J. Imaging assessment of traumatic brain injury // *Postgrad. Med. J.* 2016. Vol. 92. P. 41–50. doi: 10.1136/postgradmedj-2014-133211.
23. Mutch C.A., Talbot J.F., Gan A. Imaging Evaluation of Acute Traumatic Brain Injury // *Neurosurg. Clin. N. Am.* 2016. Vol. 27, No. 4. P. 409–439. doi: 10.1016/j.nec.2016.05.011.
24. Matsukawa H., Shinoda M., Fujii M., Takahashi O., Murakata A., Yamamoto D., Sumiyoshi S., Ryoichi I. Intraventricular hemorrhage on computed tomography and corpus callosum injury on magnetic resonance imaging in patients with isolated blunt traumatic brain injury // *J. Neurosurg.* 2012. Vol. 117, No. 2. P. 334–339. doi: 10.3171/2012.5.JNS.112318.
25. Liu C., Li W., Tong K.A., Yeom K.W., Kuzminski S. Susceptibility-weighted imaging and quantitative susceptibility mapping in the brain // *J. Magn. Reson. Imaging.* 2015. Vol. 42, No. 1. P. 23–41. doi: 10.1002/jmri.24768.
26. Carpentier A., Galanaud D., Puybasset L., Muller J.C., Lescot T., Boch A.L., Riedl V., Cornu P., Coriat P., Dormont D., van Effenterre R. Early morphologic and spectroscopic magnetic resonance in severe traumatic brain injuries can detect «invisible brain stem damage» and predict «vegetative states» // *J. Neurotrauma.* 2006. Vol. 23, No. 5. P. 674–685. doi: 10.1089/neu.2006.23.674.
27. Moen K.G., Brezova V., Skandsen T., Häberg A.K., Folvik M., Vik A. Traumatic axonal injury: the prognostic value of lesion load in corpus callosum, brain stem, and thalamus in different magnetic resonance imaging sequences // *J. Neurotrauma.* 2014. Vol. 31, No. 17. P. 1486–1496. doi: 10.1089/neu.2013.3258.
28. Ferrazzano P.A., Rosario B.L., Wisniewski S.R., Shafi N.I., Siefkes H.M., Miles D.K., Alexander A.L., Bell M.J. Use of magnetic resonance imaging in severe pediatric traumatic brain injury: assessment of current practice // *J. Neurosurg Pediatr.* 2019. Vol. 23, No. 4. P. 471–479. doi: 10.3171/2018.10.PEDS18374.
29. Janas A.M., Qin F., Hamilton S., Jiang B., Baier N., Wintermark M. et al. Diffuse Axonal Injury Grade on Early MRI is Associated with Worse Outcome in Children with Moderate-Severe Traumatic Brain Injury // *Neurocrit. Care.* 2022. Vol. 36, No. 2. P. 492–503. doi: 10.1007/s12028-021-01336-8.
30. Davecva N., Sivevski A., Basheska N. Traumatic axonal injury, a clinical-pathological correlation // *Journal of forensic and legal medicine.* 2017. Vol. 48. P. 35–40. doi: 10.1016/j.jflm.2017.04.004.
31. Humble S.S., Wilson L.D., Wang L., Long D.A., Smith M.A., Siktberg J.C., Mirhoseini M.F., Bhatia A., Pruthi S., Day M.A., Muehlschlegel S., Patel M.B. Prognosis of diffuse axonal injury with traumatic brain injury // *J. Trauma Acute Care Surg.* 2018. Vol. 85, No. 1. P. 155–159. doi: 10.1097/TA.0000000000001852.
32. Ахадов Т.А., Семенова Н.А., Ахлебинина М.И., Манжурцев А.В., Божко О.В., Мельников И.А., Ублинский М.В. Магнитно-резонансная томография в прогнозировании исхода тяжелой черепно-мозговой травмы у детей // *Детская хирургия. Журнал им. Ю.Ф.Исакова.* 2019. Т. 23, № 6. С. 321–328. [Akhadov T.A., Semenova N.A., Akhlebinina M.I., Manzhurtsev A.V., Bozhko O.V., Melnikov I.A., Ublinskiy M.V. Magnetic resonance imaging in predicting the outcome of severe traumatic brain injury in children. *Pediatric surgery. Journal named after Yu.F.Isakov*, 2019, Vol. 23, No. 6, pp. 321–328 (In Russ.)]. doi: 10.18821/1560-9510-2019-23-6-321-328.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

Объединенный каталог «Пресса России» 42177

НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ / PRACTICAL CASES

УДК 616.127-007-61.07

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-93-98>**МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ДИАГНОСТИКЕ АПИКАЛЬНОЙ ГИПЕРТРОФИЧЕСКОЙ КАРДИОМИОПАТИИ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ**Ф. Н. Чанахчян^{✉*}, Н. И. Гуляев[✉], Д. В. Сливинский[✉], И. В. Клочкова[✉], Е. В. Шутова[✉], А. Ю. Демченкова[✉]

Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого, Красногорск, Россия

Апикальная гипертрофическая кардиомиопатия — редкая наследственная патология, ключевым признаком которой является асимметричная гипертрофия миокарда с вовлечением верхушки левого желудочка, что обуславливает характерную для данной патологии конфигурацию полости сердца в виде пикового туза. Несмотря на неспецифический характер предъявляемых жалоб, отсутствие унифицированных диагностических критериев, а также ограниченные возможности некоторых стандартных инструментальных методов исследования, определенные диагностические характеристики, выявляемые с помощью различных неинвазивных визуализирующих пособий, позволяют с высокой точностью установить диагноз. В настоящей работе мы приводим клинический случай апикальной гипертрофической кардиомиопатии у пациента с неспецифическими жалобами на боль в груди и изменениями на ЭКГ, не исключающими возможное развитие острого коронарного синдрома. Полученные нами результаты в сопровождении современных диагностических методов исследования, включая однофотонную эмиссионную компьютерную томографию, позволили не только своевременно установить правильный диагноз, но и исключить ишемическую болезнь сердца, тем самым избежать необоснованного проведения инвазивной коронароангиографии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: апикальная гипертрофическая кардиомиопатия, ОФЭКТ, сцинтиграфия миокарда, МРТ сердца, эхокардиография, ГКМП

*Для корреспонденции: Чанахчян Флора Николаевна, e-mail: florachanakhchyan@gmail.com

Для цитирования: Чанахчян Ф.Н., Гуляев Н.И., Сливинский Д.В., Клочкова И.В., Шутова Е.В., Демченкова А.Ю. Мульти模альная визуализация в диагностике апикальной гипертрофической кардиомиопатии: клинический случай // Лучевая диагностика и терапия. 2023. Т. 14, № 3. С. 93–98. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-93-98>.

MULTIMODALITY IMAGING IN APICAL HYPERTROPHIC CARDIOMYOPATHY: CLINICAL CASEFlora N. Chanakhchian^{✉*}, Nikolay I. Gulyaev[✉], Dmitriy V. Slivinski[✉], Inna V. Klochkova[✉], Elena V. Shutova[✉], Anna Yu. Demchenkova[✉]

National medical research center of high medical technologies — The Vishnevsky central military clinical hospital, Kranogorsk, Russia

Apical hypertrophic cardiomyopathy is rare familial form of hypertrophic cardiomyopathy, with hypertrophy mainly affecting the apex of the left ventricle and characterized by a spade-like left ventricular cavity. Despite varying presentation, impaired capabilities of some standard instrumental methods and dissent on diagnostic criteria several diagnostic characteristics estimated by various noninvasive imaging modalities make it possible to establish a diagnosis with high accuracy. We hereby describe a case with electrocardiographic abnormalities and chest pain with suspected acute coronary syndrome. Acute coronary syndrome was excluded as well as performing invasive coronary angiography was avoided using advanced diagnostic tools including single photon emission computed tomography and apical hypertrophic cardiomyopathy was demonstrated by careful differential diagnosis.

KEYWORDS: apical hypertrophic cardiomyopathy, SPECT MPI, magnetic resonance imaging, echocardiography, myocardial scintigraphy, Yamaguchi cardiomyopathy

*For correspondence: Flora N. Chanakhchian, e-mail: floranachakhchyan@gmail.com

For citation: Chanakhchian F.N., Gulyaev N.I., Slivinski D.V., Klochkova I.V., Shutova E.V., Demchenkova A.Yu. Multimodality imaging in apical hypertrophic cardiomyopathy: clinical case // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 93–98, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-93-98>.

Введение. Гипертрофическая кардиомиопатия (ГКМП) — одна из наиболее распространенных форм наследственной кардиомиопатии [1]. Разновидностью ГКМП является апикальная гипертрофическая кардиомиопатия (А-ГКМП), при которой в процесс вовлекается область верхушки миокарда ЛЖ, реже — правого желудочка или миокарда в целом [2]. Впервые А-ГКМП была описана в Японии в 1976 г. Yamaguchi и соавт., отличительной ее особенностью является конфигурация миокарда ЛЖ в виде пикового туза в конце диастолы при проведении вентрикулографии [3, 4]. Пациенты с А-ГКМП зачастую предъявляют жалобы, которые могут имитировать острый коронар-

проведения иКАГ. При поступлении объективный осмотр не выявил каких-либо значимых отклонений. По результатам лабораторных анализов также не выявлено значимых отклонений от референсных значений, включая маркеры повреждения миокарда (тропонин, креатинфосфокиназа-МВ).

1. *ЭКГ покоя:* регистрировался синусовый ритм с ЧСС 61 в минуту. Вертикальное положение ЭОС. Качественные и количественные признаки гипертрофии миокарда ЛЖ (индекс Соколова–Лайона >38 мм, Корнельский вольтажный индекс >20 мм). Регистрировались глубокие отрицательные зубцы *T* в отведениях II, III, aVF, V₃–V₆ (рис. 1).

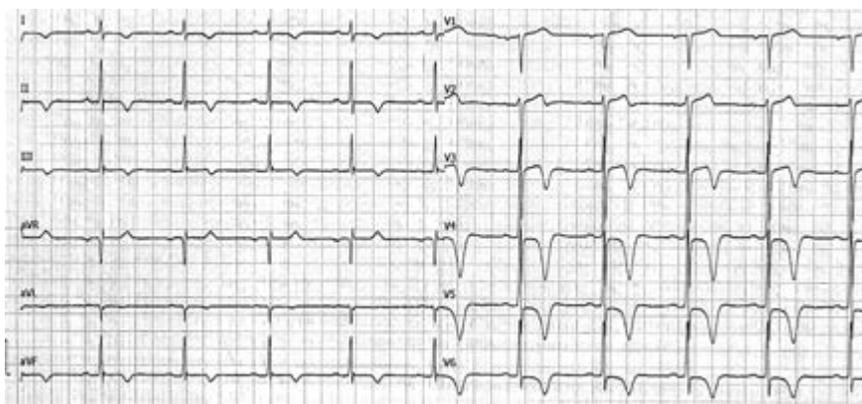


Рис. 1. Электрокардиограмма пациента
Fig. 1. Patient's ECG

ный синдром (ОКС) — загрудинная боль, одышка, сердцебиение, потери сознания и т.д., при этом они длительное время могут наблюдаться у врачей с ошибочными диагнозами, такими как «гипертоническое сердце», «ИБС», «инфаркт миокарда» и т.д. [5]. Своевременно установленный диагноз с применением современных неинвазивных методов исследования позволяет исключить возможный ОКС и, следовательно, необоснованное выполнение инвазивной коронароангиографии (иКАГ) у данной когорты пациентов.

Клинический случай. Пациент 50 лет, направлен в ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А. А. Вишневого» Минобороны России (далее Центр) из поликлиники по месту жительства. Целью обращения в поликлинику послужили жалобы пациента на боль колющего характера в прекардиальной области как при физической нагрузке, так и в покое длительностью от нескольких минут до 30–40 минут. При регистрации ЭКГ-покоя в поликлинике были выявлены «признаки нарушения процессов реполяризации миокарда в отведениях II, III, aVF, V₂–V₆», которые послужили причиной его направления в Центр для

2. *Стандартная ЭхоКГ* — отмечалась асимметричная гипертрофия миокарда ЛЖ на уровне верхушечных сегментов боковой стенки без признаков внутрижелудочковой обструкции (рис. 2). КДО ЛЖ=92,4 мл, КСО ЛЖ=29,6 мл, ФВ ЛЖ по методу Simpson — 68%. Зон нарушения локальной сократимости миокарда ЛЖ в доступных исследованию сегментах не было выявлено.

3. *MPT сердца с контрастированием* — камеры сердца в размерах не увеличены. Отмечалось утолщение миокарда в апикальном отделе ЛЖ: МЖП=10–13 мм (рис. 3, а). Признаков обструкции выносящего тракта ЛЖ не получено. Однако визуализировалась субтотальная облитерация полости ЛЖ на уровне верхушки в систолу за счет гипертрофии указанной зоны. Участков отсроченного контрастирования в миокарде ЛЖ не выявлено. Примечательно, что в диастолу полость ЛЖ приобретала характерную конфигурацию пикового туза (рис. 3, б).

4. *Однофотонная эмиссионная компьютерная томография миокарда, синхронизированная с ЭКГ (синхро-ОФЭКТ)*, в сочетании с нагрузочной пробой проводилась с целью исключения

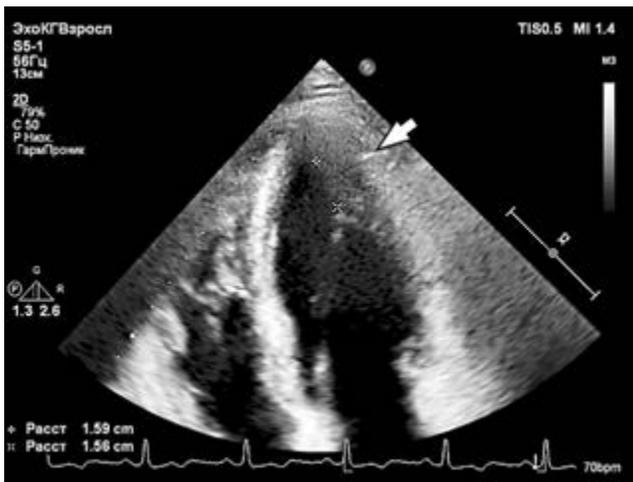


Рис. 2. ЭхоКГ пациента. В-режим, апикальная четырехкамерная позиция. Визуализируется выраженная локальная асимметричная гипертрофия миокарда верхушечных сегментов боковой стенки (отмечено стрелкой). Толщина миокарда в диастолу в указанной зоне достигает 16 мм

Fig. 2. Patient's EchoCG. B-mode, apical four chamber view. Signs of significant local asymmetric hypertrophy of the left ventricular wall in the apical-lateral region (arrow). The LV wall thickness in diastole reached up to 16 mm

терное для А-ГКМП снижение систолического утолщения миокарда верхушки ЛЖ. При этом после нагрузочной пробы отмечалось дальнейшее усугубление снижения систолического утолщения (рис. 4, б).

Таким образом, по результатам проведенных инструментальных исследований была установлена апикальная форма ГКМП. Отсутствие обратимых дефектов перфузии миокарда в ходе проведенной сцинтиграфии миокарда позволило также исключить у пациента наличие безболевого ишемии миокарда и интерпретировать жалобы как неспецифические по отношению к ИБС.

Обсуждение. Данный клинический случай демонстрирует один из морфологических вариантов ГКМП. Фенотип А-ГКМП с наличием мутации саркомер кардиомиоцитов, известный как синдром Ямагучи, является редкой наследственной патологией, которая может осложниться развитием среднежелудочковой обструкции с облитерацией полости ЛЖ, ИМ, аневризмы верхушки ЛЖ.

Патология превалирует среди мужчин, при этом манифестация клинической картины преимущественно наблюдается после 40 лет (средний возраст $41,4 \pm 14,5$ лет). У нашего пациента болезнь впер-

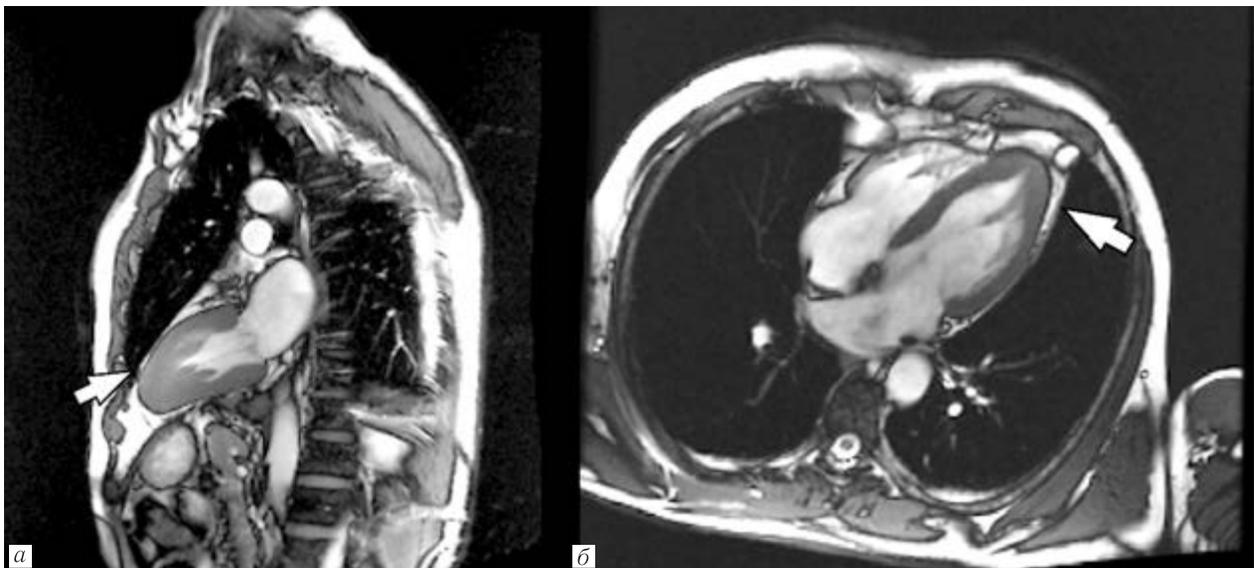


Рис. 3. МР-томограмма ЛЖ сердца пациента: *а* — режим кино-МРТ, двухкамерная позиция. В систолу отмечается выраженная гипертрофия миокарда ЛЖ в области верхушки ЛЖ с признаками субтотальной облитерации (указано стрелкой); *б* — режим кино-МРТ, длинная ось ЛЖ, четырехкамерная позиция. В диастолу определяется фокальная гипертрофия апикальных сегментов, которая имеет форму пика (указано стрелкой)

Fig. 3. Patient's cardiac MRI: *a* — Cine-MRI, 2-chamber view, shows significant LV hypertrophy with near obliteration of the apical cavity (arrow); *b* — Cine-MRI, long LV axis, four chamber view, shows apical hypertrophy with «ace-of-spades» silhouette of LV (arrow)

скрытой ишемии миокарда. По результатам перфузионной сцинтиграфии отмечалось неравномерное накопление радиофармацевтического лекарственного препарата (РФЛП) в миокарде ЛЖ с максимальным включением в области верхушки.

Преходящей ишемии миокарда не выявлено (рис. 4, *а*). По результатам анализа сократительной способности миокарда ЛЖ в покое нами было отмечено харак-

терное для А-ГКМП снижение систолического утолщения миокарда верхушки ЛЖ. При этом после нагрузочной пробы отмечалось дальнейшее усугубление снижения систолического утолщения (рис. 4, б).

Поскольку одним из приоритетных направлений Центра является научно-медицинская деятельность, нами был выполнен весь спектр необходимых исследований, направленный на уточнения диагноза у данного пациента [6]. Диагностический поиск заболева-

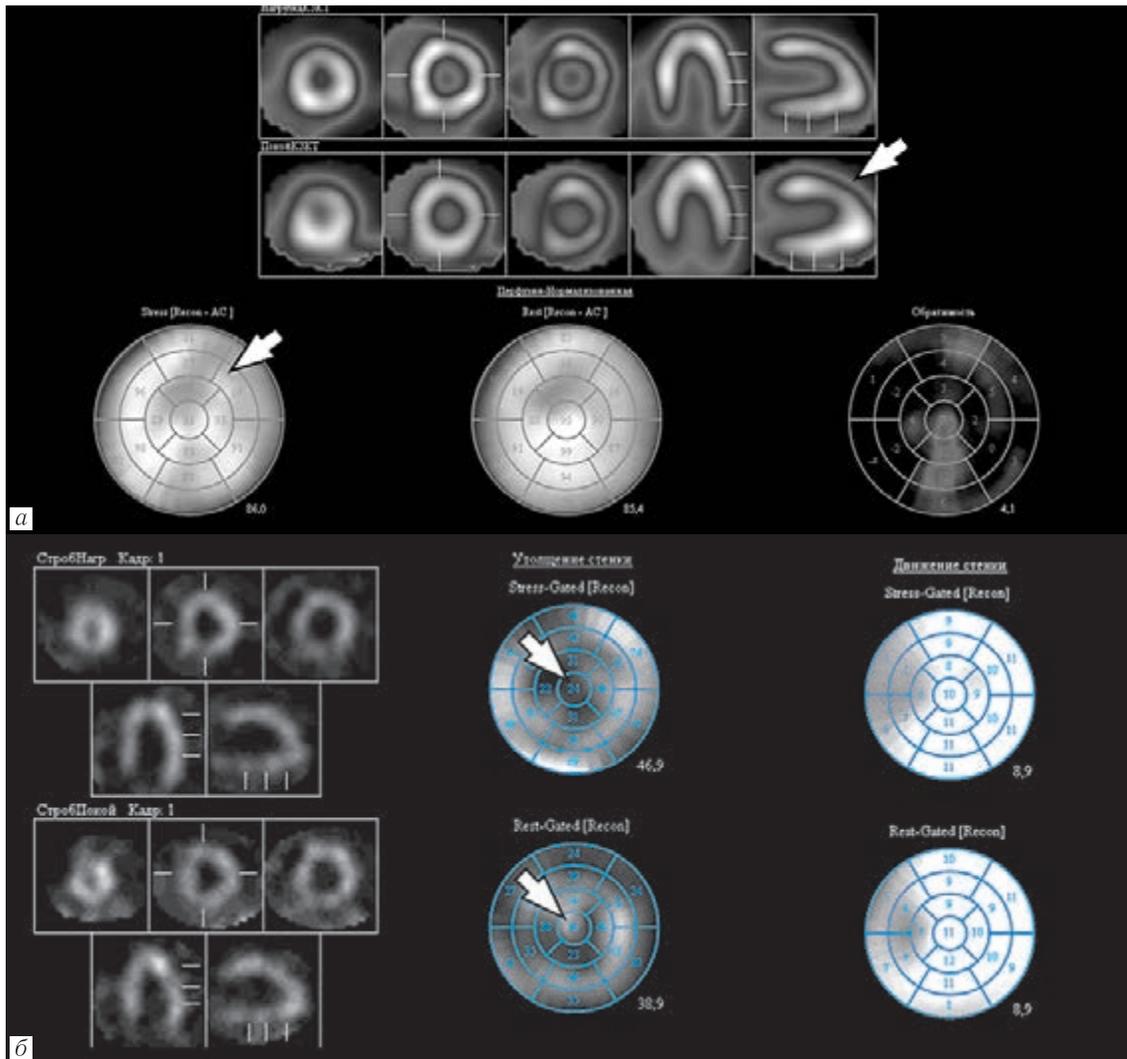


Рис. 4. *а* — Результаты перфузионной сцинтиграфии миокарда после нагрузочной пробы и в покое. Определяются характерные паттерны А-ГКМП: повышенная аккумуляция РФЛП в области верхушки ЛЖ, конфигурация полости ЛЖ в виде «пиковой масти» на серии томографических срезов (указаны стрелками); *б* — сократительная функция миокарда ЛЖ по данным ЭКГ-синхронизированной ОФЭКТ. Визуализируется снижение систолического утолщения миокарда верхушечной локализации в покое, которое усугубляется после нагрузочной пробы (указаны стрелкой)

Fig. 4. *a* — Myocardial perfusion scintigraphy results. Shows typical patterns of ACMP: increased tracer uptake in the apex, spade-like image of the left ventricle (arrow); *б* — gated-SPECT results, shows reduced wall thickening in the apical perfusion hotspot at rest which got worsen after stress (arrow)

ния у данного пациента был инициирован выявлением при регистрации ЭКГ-покоя типичными ЭКГ-признаками гипертрофии миокарда ЛЖ. С целью уточнения локализации гипертрофии пациенту проводили ЭхоКГ как неинвазивный метод визуализации сердца первой линии. Форма полости ЛЖ в виде «пиковой масти» наряду с утолщением верхушки ЛЖ ≥ 15 мм считается эхокардиографическим критерием А-ГКМП [7, 8]. Тем не менее визуализация верхушки ЛЖ методом стандартной ЭхоКГ представляет некоторые трудности ввиду ограничения надлежащей оценки сократительной способности верхушки из-за выраженной ее гипертрофии. При недостаточном качестве изображения в оценке состояния верхушки ЛЖ и выраженности ее гипертрофии пациентам выполняют МРТ сердца. Диагностическими критериями А-ГКМП по данным МРТ сердца являются:

утолщение верхушки ЛЖ более 15 мм и/или соотношение толщины стенки миокарда ЛЖ на базальном и верхушечном уровнях более 1,3–1,5 [9–11]. Синхро-ОФЭКТ миокарда широко применяется среди пациентов с жалобами на загрудинную боль и отклонениями на ЭКГ, у которых с помощью других инструментальных исследований невозможно исключить преходящую ишемию миокарда. Определение типичных паттернов перфузии миокарда при А-ГКМП по результатам синхро-ОФЭКТ позволяет не только своевременно установить правильный диагноз, но также избежать ненужных и дорогостоящих исследований [12, 13]. К характерным сцинтиграфическим паттернам апикальной ГКМП относятся: повышенное накопление РФЛП в области верхушки ЛЖ; паттерн в виде «солнечной системы», который характеризуется наиболее интенсивным количеством

счета (counts) в области верхушки ЛЖ, окруженный в виде кольца сегментами с более низкими показателями количества счета [14, 15]. Zhou и соавт. недавно разработали новый метод определения А-ГКМП, основанный на интегральном количественном анализе перфузии миокарда и систолического утолщения стенки ЛЖ методом синхро-ОФЭКТ миокарда. Данный метод продемонстрировал высокую диагно-

стическую точность (95%) при сравнении с МРТ сердца [16].

Таким образом, наш опыт применения мультимодальной визуализации миокарда позволил установить правильный диагноз, избежать необоснованного выполнения инвазивного вмешательства у данного пациента и может в дальнейшем быть использован в качестве алгоритма тактики ведения у таких пациентов.

Сведения об авторах:

Чанахчян Флора Николаевна — кандидат медицинских наук, заведующая кабинетом эмиссионно-компьютерной томографии отделения радионуклидной диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого» Министерства обороны Российской Федерации; 143420, Московская область, г. Красногорск, п. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А. А. Вишневого, д. 1; e-mail: florachanakhchyan@gmail.com;

Гуляев Николай Иванович — доктор медицинских наук, начальник кардиологического центра, главный кардиолог федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого» Министерства обороны Российской Федерации; 143420, Московская область, г. Красногорск, п. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А. А. Вишневого, д. 1; профессор кафедры терапии (неотложных состояний) филиала федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: nig27@mail.ru; ORCID 0000-0002-7578-8715;

Сливинский Дмитрий Васильевич — кандидат медицинских наук, заведующий кардиологическим отделением федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого» Министерства обороны Российской Федерации; 143420, Московская область, г. Красногорск, п. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А. А. Вишневого, д. 1; e-mail: slivinskiy.mitiya@yandex.ru; ORCID 0009-0001-8349-2690;

Клочкова Инна Владимировна — кандидат медицинских наук, врач-кардиолог федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого» Министерства обороны Российской Федерации; 143420, Московская область, г. Красногорск, п. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А. А. Вишневого, д. 1; e-mail: Inna.klochkova@mail.ru; ORCID 0009-0009-2884-5519;

Шутова Елена Валерьевна — заведующая отделением УЗД (сердца) Центра функционально-диагностических исследований федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого» Министерства обороны Российской Федерации; 143420, Московская область, г. Красногорск, п. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А. А. Вишневого, д. 1; ORCID 0009-0003-0907-3740;

Демченкова Анна Юрьевна — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А. А. Вишневого» Министерства обороны Российской Федерации; 143420, Московская область, г. Красногорск, п. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А. А. Вишневого, д. 1; e-mail: 1989demchenkova@gmail.com; ORCID 0000-0002-2128-3666.

Information about the authors:

Flora N. Chanakhchian — Cand. of Sci. (Med.), Head of emission computed tomography laboratory at the Department of radioisotope diagnostics FGFI «NMRC HMT n.a. A. A. Vishnevsky» of the Russian Ministry of Defence; e-mail: florachanakhchyan@gmail.com; ORCID 0000-0001-7603-9516;

Nikolay I. Gulyaev — Dr. of Sci. (Med.), cardiology center officer, Senior cardiologist FGFI «NMRC HMT n.a. A. A. Vishnevsky» of the Russian Ministry of Defence, MD, professor at the Emergency department in Federal state budgetary military educational institution of higher education Military Medical Academy named after S. M. Kirov of the Ministry of defence of the Russian Federation; e-mail: nig27@mail.ru; ORCID 0000-0002-7578-8715;

Dmitriy V. Slivinski — Cand. of Sci. (Med.), Head of cardiology department FGFI «NMRC HMT n.a. A. A. Vishnevsky» of the Russian Ministry of Defence, PhD; e-mail: slivinskiy.mitiya@yandex.ru; ORCID 0009-0001-8349-2690;

Inna V. Klochkova — Cand. of Sci. (Med.), Cardiologist FGFI «NMRC HMT n.a. A. A. Vishnevsky» of the Russian Ministry of Defence, PhD; e-mail: Inna.klochkova@mail.ru; ORCID 0009-0009-2884-5519;

Elena V. Shutova — Head of UD (heart) in Functional Diagnostic Center FGFI «NMRC HMT N.A. A. A. Vishnevsky» of the Russian Ministry of Defence; e-mail: elenashutova1968@gmail.com; ORCID 0009-0003-0907-3740;

Anna Yu. Demchenkova — Cand. of Sci. (Med.), Radiologist at FGFI «NMRC HMT n.a. A. A. Vishnevsky» of the Russian Ministry of Defence, PhD; e-mail: 1989demchenkova@gmail.com; ORCID 0000-0002-2128-3666.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — Ф. Н. Чанахчян, Н. И. Гуляев, Д. В. Сливинский; сбор и математический анализ данных — Ф. Н. Чанахчян, Д. В. Сливинский, И. В. Клочкова, Е. В. Шутова, А. Ю. Демченкова; подготовка рукописи — Ф. Н. Чанахчян, Н. И. Гуляев, Д. В. Сливинский, И. В. Клочкова, Е. В. Шутова, А. Ю. Демченкова

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: aided in the concept and plan of the study — *ChFN, GNI, SDV*; provided collection and mathematical analysis of data — *ChFN, SDV, KIV, ShEV, DAYu*; preparation of the manuscript — *ChFN, GNI, SDV, KIV, ShEV, DAYu*.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Соответствие принципам этики: получено информированное согласие пациента.

Adherence to ethical standards: informed consent is obtained of the patient.

Поступила/Received: 03.02.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.05.2023.

Опубликована/Published: 29.06.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Geske J.B., Ommen S.R., Gersh B.J. Hypertrophic Cardiomyopathy: Clinical Update // *JACC Hear Fail.* 2018. Vol. 6, No. 5. P. 364–375. doi: 10.1016/j.jchf.2018.02.010.
2. Yusuf S.W., Bathina J.D., Banchs J., Mouhayar E.N., Daher I.N. Apical hypertrophic cardiomyopathy // *World J. Cardiol.* 2011. Vol. 3, No. 7. P. 256–259. doi: 10.4330/wjc.v3.i7.256.

3. Yamaguchi H., Nishiyama S., Nakanishi S., Nishimura S. Electrocardiographic, echocardiographic and ventriculographic characterization of hypertrophic non-obstructive cardiomyopathy // *Eur. Heart J.* 1983. No. 4, Suppl. F. P. 105–119. doi: 10.1093/eurheartj/4.suppl_f.105.
4. Ruhela M., Kumar O.R., Neeraj C. et al. Yamaguchi syndrome: A mimic of acute coronary syndrome // *Journal of Family Medicine and Primary Care.* 2022. Vol. 11, No. 5, pp. 2223–2225. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1800_21.
5. Гончарова Д.Ю., Бикбаева Г.Р., Тухбатова А.А. и др. Апикальная гипертрофическая кардиомиопатия как маска острого коронарного синдрома. Клинические наблюдения // *Российский кардиологический журнал.* 2022. Т. 27, № 4S. С. 5262. [Goncharova D.Yu., Bikbaeva G.R., Tukhatova A.A., et al. Apical hypertrophic cardiomyopathy as a mask of acute coronary syndrome: a case series // *Russian Journal of Cardiology,* 2022, Vol. 27, No. 4S, pp. 5262 (In Russ.)]. doi: 10.15829/1560-4071-2022-5262.
6. Есипов А.В., Алехнович А.В., Абушинов В.В. Новые требования к внутреннему контролю качества и безопасности медицинской деятельности: пути и инструменты их реализации в многопрофильном стационаре. Технологии внедрения менеджмента качества в управленческие процессы военного госпиталя (сообщение третье) // *Госпитальная медицина: наука и практика.* 2021. Т. 4, № 3. С. 78–85. [Esipov A.V., Alehnovich A.V., Abushinov V.V. New requirements for internal quality control and safety of medical activities: ways and tools for their implementation in a multidisciplinary hospital technologies for implementing quality management in the management processes of a military hospital (the third message). *Hospital medicine: science and practice,* 2021, Vol. 4, No. 3, pp. 78–85 (In Russ.)]. doi: 10.34852/gm3evkg.2021.56.98.013.
7. Saccheri M.C., Cianciulli T.F., Morita L.A. et al. Speckle tracking echocardiography to assess regional ventricular function in patients with apical hypertrophic cardiomyopathy // *World J. Cardiol.* 2017. Vol. 9, No. 4. P. 363–370. doi: 10.4330/wjc.v9.i4.363.
8. Minami Y., Kajimoto K., Terajima Y. et al. Clinical implications of midventricular obstruction in patients with hypertrophic cardiomyopathy // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011. Vol. 57, No. 23, pp. 2346–2355. doi: 10.1016/j.jacc.2011.02.033.
9. Шерхова М.Х., Стукалова О.В., Терновой С.К. Апикальная гипертрофическая кардиомиопатия. Диагностика с помощью магнитно-резонансной томографии // *REJR.* 2014. Т. 4, № (3). С. 77–80. [Sherkhova M.Kh., Stukalova O.V., Ternovoy S.K. Apical hypertrophic cardiomyopathy. Magnetic resonance imaging in diagnosis. *REJR,* 2014, Vol. 4, No. 3, pp. 77–80 (In Russ.)].
10. Обраменко И.Е. Семантика апикальной формы гипертрофической кардиомиопатии при магнитно-резонансной томографии // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция.* 2020. Т. 19, № 2, С. 18–23. [Obramenko I.E. Semiotics of apical hypertrophic cardiomyopathy in magnetic resonance Imaging. *Regional hemodynamics and microcirculation,* 2020, Vol. 19, No. 2, pp. 18–23 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2020-19-2-18-23>.
11. Hughes R., Knott K., Malcolmson J. et al. Apical Hypertrophic Cardiomyopathy: The Variant Less Known // *JAMA.* 2020. Vol. 9, No. 5. e015294. <https://doi.org/10.1161/JAMA.119.015294>.
12. Вахромеева М.Н., Соломаников В.М., Вахромеева А.Ю., Сивохина Н.Ю. Редкое клиническое наблюдение гипертрофической кардиомиопатии // *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* 2020. Т. 15, № 3. С. 188–192. [Vakhromeeva M.N., Solomannikov V.M., Vakhromeeva A.Yu., Sivokhina N.Yu. Cardiac spect in diagnosis of Yamaguchi syndrome. *Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center,* 2020, Vol. 15, No. 3, pp. 188–192 (In Russ.)]. doi: 10.25881/BPNMSC.2020.89.65.034.
13. Lee K.H., Jang H.J., Lee S.C. et al. Myocardial thallium defects in apical hypertrophic cardiomyopathy are associated with a benign prognosis. Thallium defects in apical hypertrophy // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2003. Vol. 19, No. 5. P. 381–388. doi: 10.1023/a:1025807125699.
14. Morishita S., Kondo Y., Nomura M. et al. Impaired retention of technetium-99m tetrofosmin in hypertrophic cardiomyopathy // *Am. J. Cardiol.* 2001. Vol. 87, No. 6. P. 743–747. doi: 10.1016/s0002-9149(00)01494-6.
15. Ward R.P., Pokharna H.K., Lang R.M., Williams K.A. Resting «Solar Polar» map pattern and reduced apical flow reserve: characteristics of apical hypertrophic cardiomyopathy on SPECT myocardial perfusion imaging // *J. Nucl. Cardiol.* 2003, Vol. 10, No. 5. P. 506–512. doi: 10.1016/s1071-3581(03)00455-0.
16. Zhou Y., Li D., Tang H. et al. Development and validation of a new method to diagnose apical hypertrophic cardiomyopathy by gated single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging // *Nucl. Med. Commun.* 2019. Vol. 40, No. 3. P. 206–211. doi: 10.1097/MNM.0000000000000967.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Издательством Балтийский медицинский образовательный центр готовится к выпуску монография под редакцией М. Я. Беликовой, Т. Н. Трофимовой «КТ и МРТ диагностика опухолей периапулярной зоны двенадцатиперстной кишки. Мультипараметрические решения».

Подробную информацию о книге можно получить
по тел.: +7 (812) 956-92-55 и на сайте издательства <https://www.bmoc-spb.ru/>

УДК 618.33

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-99-104>

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ДВОЙНОЙ ДУГИ АОРТЫ С УЧАСТКОМ АТРЕЗИИ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

^{1,2}О. Г. Малоземова[✉], ^{1,2}Р. М. Гасанова[✉], ^{1,2}Е. В. Холманская[✉], ³Х. Р. Турко[✉], ¹А. А. Есаян[✉],
²Е. А. Филиппова[✉]

¹Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева, Москва, Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова, Москва, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей, Москва, Россия

Вариант двойной дуги аорты (ДДА), когда обе дуги проходимы, легко устанавливается с помощью лучевых методов исследования, в том числе и с использованием эхокардиографии. Отсутствие кровотока в одном из ее участков, где чаще всего атрезии подвергаются сегменты левой дуги, делает результат диагностики данного состояния неопределенным. ДДА с участком атрезии левой дуги аорты (ЛДА) визуально будет напоминать анатомию правой дуги аорты (ПДА), формирование которой происходит в результате эмбрионального перерыва в одном из сегментов ЛДА. Наличие ДДА является обязательным показанием к оперативному лечению, поскольку между правой и левой дугами аорты формируется полное сосудистое кольцо (СК) вокруг трахеи и пищевода, в отличие от ПДА, где образование СК будет зависеть от хода артериального протока. Этим обусловлена важность дифференциальной диагностики ДДА с участком атрезии от имитируемых ее вариантов ПДА. Мы описываем случай эхокардиографической диагностики ДДА с участком атрезии левой дуги дистальнее места отхождения левой подключичной артерии у новорожденного 1-х суток жизни, поступившего в отделение реанимации и интенсивной терапии новорожденных и недоношенных детей в связи с пренатально выявленной аномалией дуги аорты. Цель публикации: продемонстрировать ключевые особенности визуальной диагностики, необходимые в постановке точного диагноза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двойная дуга аорты, правая дуга аорты, сосудистое кольцо, артериальный проток, эхокардиография

*Для корреспонденции: Малоземова Ольга Геннадьевна; e-mail: o.g.malozemova@gmail.com

Для цитирования: Малоземова О.Г., Гасанова Р.М., Холманская Е.В., Турко Х.Р., Есаян А.А., Филиппова Е.А. Ультразвуковая диагностика двойной дуги аорты с участком атрезии: клинический случай // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 99–104, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-99-104>.

ULTRASOUND DIAGNOSIS OF DOUBLE AORTIC ARCH WITH ATRESIAE: A CLINICAL CASE

^{1,2}Olga G. Malozemova[✉], ^{1,2}Rena M. Gasanova[✉], ^{1,2}Elena V. Kholmanskaya[✉], ³Khiba R. Turko[✉],
¹Aleksandr A. Esayan[✉], ²Elena A. Filippova[✉]

¹Bakoulev National Scientific and Practical Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia

²National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov, Moscow, Russia

³National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia

The diagnosis of a double aortic arch (DAA), when both arches are patent, is easily established using modern imaging methods, including echocardiography. In the absence of blood flow in one of the segments of the left aortic arch (LAA), it becomes impossible to obtain an image of it throughout its entire length. This makes the result of the diagnosis of this condition uncertain, since DAA with atresia will visually resemble one of the variants of the right aortic arch. DAA is an absolute indication for surgical treatment, which determines the importance of differential diagnosis of these conditions. We describe a case of echocardiographic diagnosis of DDA with atresia distal to the left subclavian artery in a newborn, the first day of life, who was admitted to the intensive care unit for newborns and premature infants due to prenatally detected anomaly of the aortic arch. The purpose of the publication is to demonstrate the key features of visual diagnostics necessary in making an accurate diagnosis.

KEYWORDS: double aortic arch, right aortic arch, vascular ring, ductus arteriosus, echocardiography

*For correspondence: Olga G. Malozemova; e-mail: o.malozemova@gmail.com

For citation: Malozemova O.G., Gasanova R.M., Kholmanskaya E.V., Turko Kh.R., Esayan A.A., Filippova E.A. Ultrasound diagnosis of double aortic arch with atresia: a clinical case // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 99–104, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-99-104>.

Введение. Двойная дуга аорты (ДДА) может содержать атрезированный участок, как правило, затрагивающий дистальную часть левой дуги ниже отхождения левой подключичной артерии. Такая ДДА из-за отсутствия кровотока (контрастного вещества) в атрезированном сегменте будет имитировать правую дугу аорты (ПДА) с зеркальным типом ветвления, поскольку характер отхождения брахиоцефальных артерий почти идентичен в обоих случаях [1, 2]. ДДА формирует плотное сосудистое кольцо (СК) вокруг трахеи и пищевода, приводящее к компрессии полых органов средостения, в связи с чем является абсолютным показанием к хирургическому лечению [3]. Прицельный анализ поперечных сечений области верхнего средостения и 3D-

Мы представляем описание случая ультразвуковой диагностики ДДА с участком атрезии в области перешейка левой дуги, где применили специальные дополнительные проекции для получения диагностических срезов, позволяющие воспроизвести анатомические особенности ДДА, которые были описаны рентгенологами с использованием компьютерной аксиальной томографии, и впервые с помощью эхокардиографии (ЭхоКГ) детализировали сложную пространственную анатомию сосудистого кольца у новорожденного в первые сутки жизни.

Клинический случай. Новорожденный мальчик 1-х суток жизни поступил в отделение реанимации и интенсивной терапии новорожденных и недоношенных детей для обследования и верификации пре-

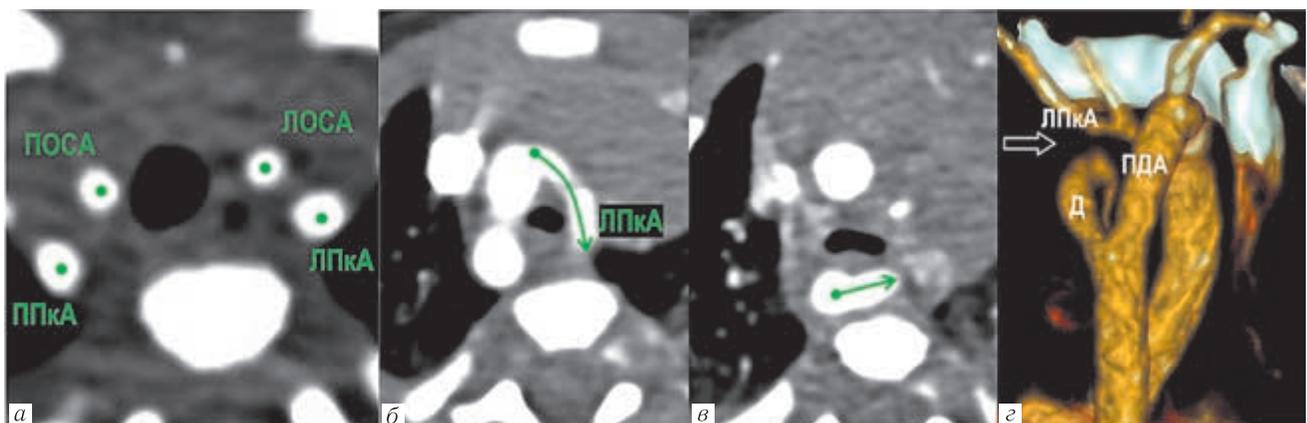


Рис. 1. Мультиспиральная компьютерная томография сердца с внутривенным болюсным контрастированием пациента с двойной дугой аорты, содержащей участок атрезии: *a* — аксиальный срез на уровне отхождения брахиоцефальных артерий от дуги аорты — зеркально-симметричное расположение общих сонных и подключичных артерий (признак четырех сосудов); *б* — задний ход проксимального сегмента левой дуги аорты (стрелка); *в* — дивертикул от нисходящей аорты (стрелка); *г* — 3D-реконструкция (VRT), дивертикул (Д) от нисходящей аорты, идущий вперед и влево; участок атрезии левой дуги аорты между ЛПКА и дивертикулом (стрелка). ППКА — правая подключичная артерия; ЛПКА — левая подключичная артерия; ПОСА — правая общая сонная артерия; ЛОСА — левая общая сонная артерия

Fig. 1. Typical imaging clues of the atretic double aortic arch: *a* — axial image showing the symmetrical distribution of common carotid and subclavian arteries (four-vessel sign) seen just above the aortic arch; *b* — evidence of the posterior course of a patent initial segment of the atretic left arch (*б*) as shown by the posterior course of the left common carotid artery (ЛПКА, arrow in *б*); *в* — an anteriorly directed diverticulum arising from the descending aorta (arrow); *г* — shown volume-rendered image with posterior kinking of the left subclavian artery suggests a connection between a patent segment of the atretic left arch and descending aorta (arrow). ППКА — right subclavian artery; ЛПКА — left subclavian artery; ПОСА — right common carotid artery; ЛОСА — left common carotid artery

рендеринг различных анатомических вариантов дуги аорты, с последующей их интраоперационной верификацией позволили выявить характерные анатомические особенности, помогающие дифференцировать ДДА с участком атрезии от различных вариантов ПДА (рис. 1) [1–5].

натального диагноза правой дуги аорты. По данным ЭхоКГ при сканировании из яремной ямки в парасагитальных плоскостях были получены изображения ПДА с отхождением от нее необычного левого плечевого ствола и леворасположенного дивертикула от нисходящей аорты (рис. 2).

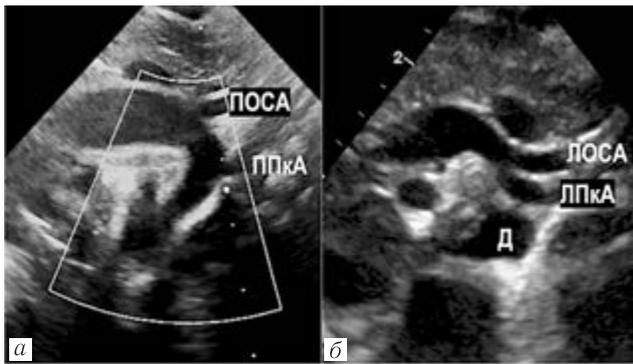


Рис. 2. Двухмерная эхокардиография новорожденного: *а* — правая дуга аорты с отхождением правых общей сонной и подключичной артерий (ПОСА и ППКА); *б* — направленный кзади левый плечеголовной ствол и его ветви: левая общая сонная артерия (ЛОСА) и левая подключичная артерия (ЛПКА); дивертикул от нисходящей аорты (Д)

Fig. 2. Two-dimensional echocardiography in the newborn: *a* — right aortic arch with two vessels originating from it: the right common carotid artery (ПОСА) and subclavian arteries (ППКА); *б* — unusual left brachiocephalic trunk bifurcated into the left common carotid artery (ЛОСА) and left subclavian artery (ЛПКА); the diverticulum arising from the descending aorta (Д)

Для уточнения анатомии порока в ходе ЭхоКГ была получена серия аксиальных УЗ-срезов области верхнего средостения, на которых удалось визуализировать дополнительные анатомические особенности, а именно: задний ход проксимального отдела левой дуги аорты (рис. 3, *а, б*), который имитировал левый плече-

головной ствол (рис. 2, *б*), и зеркально-симметричное расположение брахиоцефальных артерий — признак четырех сосудов (рис. 3, *в*). Эхокардиограммы соответствовали описанной в литературе томографической анатомии ДДА с участком атрезии (рис. 1) [1–5].

Установленная в ходе проведения ЭхоКГ анатомия порока была подтверждена данными МСКТ-АГ и в дальнейшем верифицирована интраоперационно (рис. 4).

Обсуждение. Необструктивные аномалии дуги аорты составляют около 1% среди врожденных пороков сердца (ВПС) [6]. Когда трахея и пищевод полностью окружены дугой аорты и связанными с ней сосудами, формируется СК, которое становится причиной сдавления центральных дыхательных путей и дисфагии. Наиболее распространенным вариантом СК является ДДА, на нее приходится 50% случаев, за которой следует ПДА в сочетании с левым артериальным протоком (АП)/связкой — 26% [3, 5]. Диагностика различных СК, в силу неспецифичности симптомов (кашель, частые респираторные инфекции, стридор), в каждом случае требует высокой клинико-диагностической настороженности.

ДДА формируется вследствие персистирования обеих эмбриональных дуг аорты. Каждая из дуг дает начало ипсилатеральным общей сонной и подключичной артериям. Правая дуга в большинстве случаев преобладает (80%), то есть имеет больший диаметр, а левая — гипоплазирована, иногда вплоть до атрезии одного из ее сегментов [5, 6]. Поскольку атрезированный сегмент ЛДА представляет собой соедине-

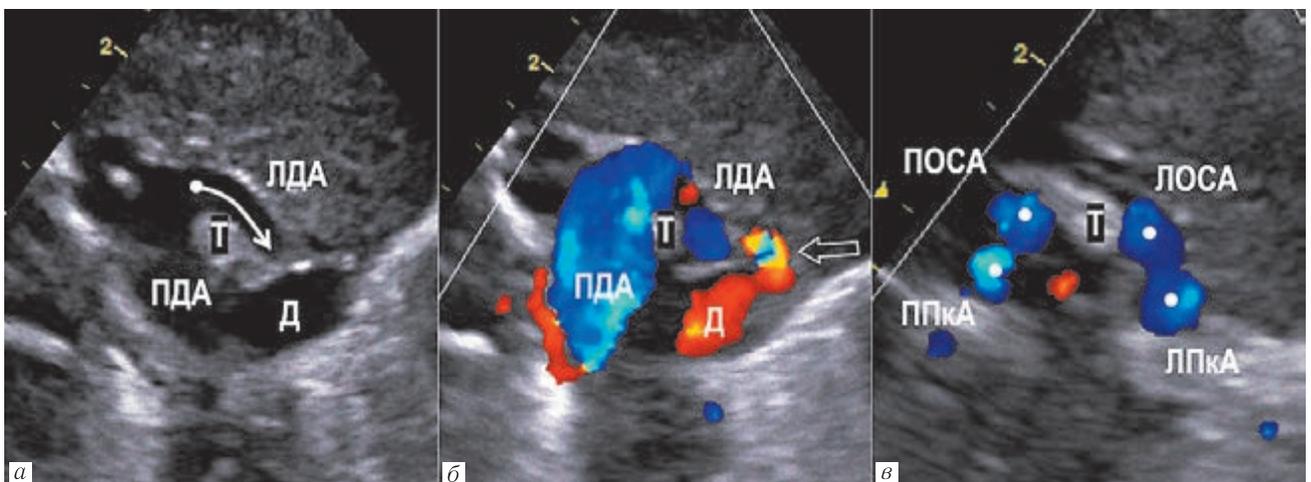


Рис. 3. Двухмерная эхокардиография новорожденного, серия УЗ-проекций, полученная при поперечном сканировании области верхнего средостения: *а* — сосудистое кольцо вокруг трахеи (Т) и пищевода, образованное правой (ПДА) и левой дугами аорты (ЛДА), дивертикул (Д); *б* — режим цветового доплеровского картирования, ретроградное заполнение дивертикула (Д), от которого отходит открытый артериальный проток (стрелка); *в* — признак четырех сосудов: ППКА — правая подключичная артерия; ЛПКА — левая подключичная артерия;

ПОСА — правая общая сонная артерия; ЛОСА — левая общая сонная артерия

Fig. 3. Two-dimensional echocardiography in the newborn: *a* — vascular ring around the trachea (Т) and esophagus, formed by the right (ПДА) and left aortic arches (ЛДА), the diverticulum arising from the descending aorta (Д); *б* — colour Doppler retrograde filling of the distal segment of left aortic arch — the diverticulum (red) and the patent ductus arteriosus (arrow); *в* — four-vessel sign. ППКА — right subclavian artery; ЛПКА — left subclavian artery;

ПОСА — right common carotid artery; ЛОСА — left common carotid artery

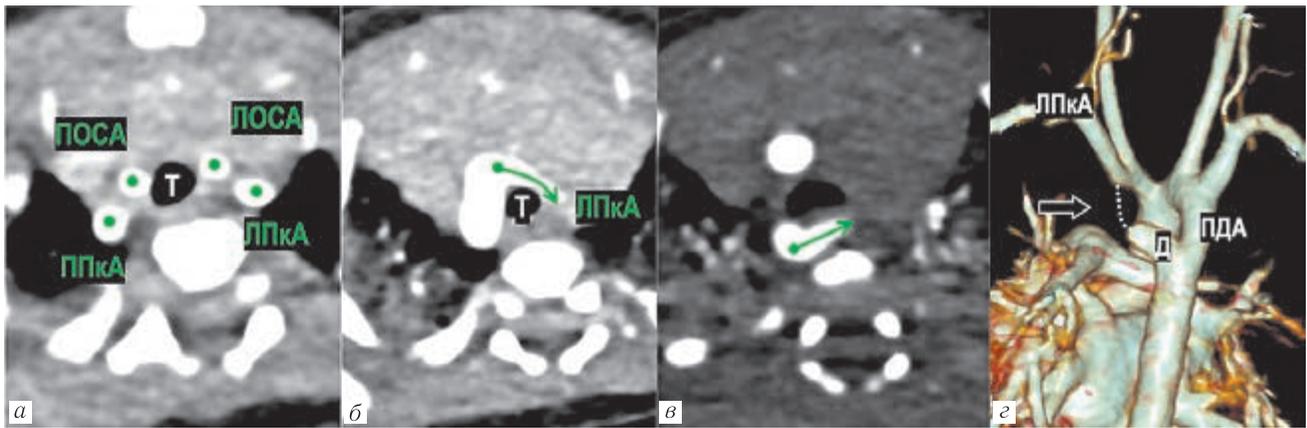


Рис. 4. Мультиспиральная компьютерная томография сердца с внутривенным болюсным контрастированием новорожденного: *а* — признак четырех сосудов; *б* — задний ход первого брахиоцефального сосуда — левой дуги аорты (стрелка); *в* — дивертикул (стрелка); *г* — 3D-реконструкция, предполагаемый участок атрезии ЛДА (стрелка). ППКА — правая подключичная артерия; ЛППКА — левая подключичная артерия; ПОСА — правая общая сонная артерия; ЛОСА — левая общая сонная артерия

Fig. 4. Axial CTA image of the newborn showed: *a* — four-vessel sign; *б* — posterior course of a patent initial segment of the atretic left arch (arrow); *в* — the diverticulum (arrow); *г* — the atretic segment of the left aortic arch (arrow). ППКА — right subclavian artery; ЛППКА — left subclavian artery; ПОСА — right common carotid artery; ЛОСА — left common carotid artery

тельнотканый тяж, в котором полностью отсутствует кровотоки, визуализировать его с помощью лучевых методов исследования становится невозможно. Верификация диагноза происходит непосредственно в ходе хирургического лечения. Такая сосудистая анатомия в зависимости от уровня атрезии будет имитировать один из вариантов ПДА [1–5].

У нашего пациента ДДА визуально напоминала ПДА с зеркальным типом ветвления, где проксимальный участок ЛДА выдавал себя за левый брахиоцефальный ствол, а дивертикул от нисходящей аорты — за ампулу АП. Имитируемый вариант ПДА в подавляющем большинстве случаев не ассоциируется с образованием СК, поскольку встречается с правым АП (рис. 2, б) или левым, отходящим от брахиоцефального ствола [7]. Это обуславливает важность дифференциальной диагностики этих двух состояний.

«Золотым стандартом» диагностики СК являются методы поперечной визуализации (КТ/МРТ) [3]. Описанные рентгенологами ключевые особенности КТ-анатомии ДДА с участком атрезии, позволяют дифференцировать ДДА от имитируемых ею вариантов ПДА: задний ход проксимального сегмента левой дуги аорты как признак натяжения фиброзной связки; дивертикул от нисходящей аорты — дистальный сегмент ЛДА; зеркально-симметричное расположение брахиоцефальных артерий непосредственно в месте их отхождения (признак четырех сосудов) [1–5].

В педиатрической популяции эхокардиография является начальным и основным методом диагностики в связи с доступностью, воспроизводимостью, отсутствием ионизирующего излучения и противопоказаний. Однако из-за ограничения акустического окна

и использования только парасагиттальных срезов для визуализации дуги аорты, ЭхоКГ не всегда может быть использована для установления анатомии СК [1, 6]. Анатомо-физиологические особенности новорожденных (тонкая передняя грудная клетка, развитая ткань вилочковой железы, менее выраженная степень окостенения грудины) обеспечивают у пациентов данной возрастной категории удовлетворительную визуализацию загрудинных структур при трансторакальном УЗ-сканировании [1, 8]. Что позволило получить у нашего пациента специальные проекции, воспроизводимые при поперечном сканировании области верхнего средостения: срез через три сосуда и трахею (ЗВТ) (см. рис. 3, а, б), используемый в пренатальной УЗ-диагностике для выявления различных аномалий дуги аорты у плода [8], и проекция высокого поперечного сечения на уровне отхождения брахиоцефальных артерий (см. рис. 3, в), которую удается воспроизвести при небольшом смещении датчика в краниальном направлении. Дополнительные аксиальные изображения дуги аорты и ее ветвей помогли прицельно проанализировать направление и соотношение брахиоцефальных артерий и таким образом дифференцировать ДДА от имитируемых ею вариантов.

Заключение. Представленный клинический случай подчеркивает важность прицельного изучения направления и соотношения ветвей дуги аорты при диагностике сосудистых колец с использованием современных визуализирующих методов исследования, а также демонстрирует возможности ранней постнатальной ЭхоКГ в воспроизведении диагностических проекций, аналогичных аксиальным срезам области верхнего средостения, получаемых при МСКТ.

Сведения об авторах:

Малоземова Ольга Геннадьевна — врач ультразвуковой диагностики отдела ультразвуковой диагностики в неонатологии и педиатрии Института неонатологии и педиатрии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117198, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; врач ультразвуковой диагностики научно-консультативного отделения Института кардиохирургии имени В. И. Бураковского федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119049, Москва, Ленинский пр., д. 8; e-mail: o.g.malozemova@gmail.com; ORCID 0000-0003-2767-2221;

Гасанова Рена Мамедовна — доктор медицинских наук, заведующий Перинатальным кардиологическим центром, врач-кардиолог, врач ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119049, Москва, Ленинский пр., д. 8; врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой и функциональной диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117198, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; e-mail: rmgasanova@bakulev.ru; ORCID 0000-0003-3318-1074;

Холманская Елена Владимировна — врач ультразвуковой диагностики отдела ультразвуковой диагностики в неонатологии и педиатрии Института неонатологии и педиатрии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117198, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119049, Москва, Ленинский пр., д. 8; e-mail: Elena-hol@yandex.ru; ORCID 0000-0002-7384-8040;

Турко Хибя Радвановна — врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой диагностики федерального государственного автономного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119991, Москва, Ломоносовский пр-кт, д. 2, стр. 1; e-mail: hiba.turko@gmail.com; ORCID 0000-0003-1094-8711;

Есаян Александр Арменович — кандидат медицинских наук, врач сердечно-сосудистый хирург, старший научный сотрудник отделения экстренной хирургии недоношенных и детей 1 года жизни с врожденными пороками сердца федерального государственного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119049, Москва, Ленинский пр., д. 8; ORCID 0000-0002-6675-6623;

Филиппова Елена Александровна — кандидат медицинских наук, руководитель отдела ультразвуковой диагностики в неонатологии и педиатрии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117198, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; доцент кафедры лучевой диагностики детского возраста федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123242, Москва, Баррикадная ул., 2/1, стр. 1; e-mail: fla77@mail.ru; ORCID 0000-0002-4964-1736.

Information about the authors:

Olga G. Malozemova — Ultrasonic Diagnostics Physician of the Department of Ultrasound Diagnostics in Neonatology and Pediatrics, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, 4 Akademika Oparina str., Moscow, 117198. Ultrasonic Diagnostics Physician of the Department of Ultrasound Diagnostics in National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery named after Academician A. N. Bakuleva of the Ministry of Health of the Russian Federation, 8 Leninsky Ave., Moscow, 119049; ORCID 0000-0003-2767-2221; e-mail: o.g.malozemova@gmail.com;

Rena M. Gasanova — Dr. of Sci. (Med.), Head of the Perinatal Cardiology Center of the Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery named after Academician A. N. Bakulev, 8 Leninsky Ave., Moscow, 119049. Physician of Ultrasound Diagnostics of the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics in National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of the Ministry of Health of the Russian Federation, 4 Akademika Oparina str., Moscow, 117198; ORCID 0000-0003-3318-1074;

Elena V. Kholmanskaya — Ultrasonic Diagnostics Physician of the Department of Ultrasound Diagnostics in National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery named after Academician A. N. Bakulev of the Ministry of Health of the Russian Federation, 8 Leninsky Ave., Moscow, 119049. Ultrasonic Diagnostics Physician of the Department of Ultrasound Diagnostics in Neonatology and Pediatrics, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, 4 Akademika Oparina str., Moscow, 117198; e-mail: Elena-hol@yandex.ru; ORCID 0000-0002-7384-8040;

Khbia R. Turko — Ultrasonic Diagnostics Physician of the Department of Ultrasound Diagnostics in Federal State Autonomous Institution National Medical Research Center for Children's Health of the Ministry of Health of the Russian Federation, 119991, Moscow, Lomonosovsky Ave., 2, p. 1; e-mail: hiba.turko@gmail.com; ORCID 0000-0003-1094-8711;

Aleksandr A. Esayan — Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, Cardiovascular Surgeon of the Department of Emergency Surgery for Newborns and Children of the First Year of Life with Congenital Heart Diseases in National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery named after Academician A. N. Bakulev of the Ministry of Health of the Russian Federation, 8 Leninsky Ave., Moscow, 119049; ORCID 0000-0002-6675-6623;

Elena A. Filippova — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Ultrasound Diagnostics in Neonatology and Pediatrics, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, 4 Akademika Oparina str., Moscow, 117198; e-mail: fla77@mail.ru; ORCID 0000-0002-4964-1736.

Вклад авторов: Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *О. Г. Малоземова, Р. М. Гасанова, Х. Р. Турко*; сбор и анализ данных — *О. Г. Малоземова, Р. М. Гасанова, А. А. Есаян, Е. В. Холманская, Х. Р. Турко, Е. А. Филиппова*; подготовка рукописи — *О. Г. Малоземова, Р. М. Гасанова, А. А. Есаян, Е. А. Филиппова*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: concept and research plan — *OGM, RMG, KhRT*; provided collection and analysis of data — *OGM, RMG, AAE, EVKh, KhRT, EAF*; preparation of the manuscript — *OGM, RMG, AAE, EAF*.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Adherence to conflict of interests: the authors declare no conflicts of interest.

Соответствие принципам этики: одобрения этического комитета не требовалось, информированное согласие получено.

Adherence to ethical standards: ethical committee approval was not required and consent was obtained from patient.

Поступила/Received: 19.04.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- He X., Zhao N., Chen J., Wei J., Cui Y., Li G. Double aortic arch with atretic left arch distal to the origin of left subclavian artery accompanied by dyspnea: A case report and literature review // *Echocardiography*. 2019. Vol. 36, No. 12. P. 2274–2277. doi: 10.1111/echo.14534.
- Adachi I., Krishnamurthy R., Morales D.L. A double aortic arch mimicking a right aortic arch with an aberrant subclavian artery // *Journal of vascular surgery*. 2011. Vol. 54, No. 4. P. 1151–1153. doi: 10.1016/j.jvs.2011.04.045.

- Priya S., Nagpal P. Atretic Double Aortic Arch: Imaging appearance of a rare anomaly and differentiation from its mimics // *Cureus*. 2020. Vol. 12, No. 7. e9478. Published 2020 Jul 30. doi: 10.7759/cureus.9478.
- Etesami M., Ashwath R., Kanne J., Gilkeson R.C., Rajiah P. Computed tomography in the evaluation of vascular rings and slings // *Insights into imaging*. 2014. Vol. 5, No. 4. P. 507–521. doi: 10.1007/s13244-014-0343-3.
- Blackwelder H., Madueme P., Dadlani G., Ivsic T. Multi-modality assessment of the aortic arch branching and vascular rings // *Progress in Pediatric Cardiology*. 2020. Vol. 50. 101268. doi: 10.1016/j.ppedcard.2020.101268.
- Hoseinikhah H., Moeinipour A., Ghorbanzadeh A., Birjandi H., Zirak N., Teshnisi M.A. A case of balanced type double aortic arch diagnosed incidentally by transthoracic echocardiography in an asymptomatic adult patient // *Journal of cardiovascular ultrasound*. 2011. Vol. 19, No. 3. P. 163–166. doi: 10.4250/jcu.2011.19.3.163.
- Sobh D.M., Batouty N.M., Abdelwahab R.M., El-Badrawy A., Tawfik A.M. Ductus arteriosus location in relation to aortic arch position, branching pattern, and viscerocardiac situs // *Clinical Radiology*. 2019. Vol. 74, No. 9. P. 732.e1–8. doi: 10.1016/j.crad.2019.05.007.
- He X., Chen J., Li G. Study on the views and methods of ultrasonic screening and diagnosis for abnormal aortic arch in infants // *Cardiovascular ultrasound*. 2021. Vol. 19, No. 1. P. 8. doi: 10.1186/s12947-021-00237-2.



Авторы:

Н. А. Беляков, Т. Н. Трофимова, Е. Н. Кулагина, Д. В. Митюрин,
А. К. Тучапский, В. В. Фирсов, Ю. Б. Шелаев, Е. П. Шелаева

В издании собраны и изложены в исторической последовательности материалы, относящиеся к эпидемиям и пандемиям наиболее опасных для человечества заболеваний. Показано, какое влияние оказывали они на общий ход истории и различные стороны человеческого бытия, на развитие науки, прежде всего медицины, техники, производства, как отразились в искусстве и литературе. Представлена целая галерея ученых, внесших весомый вклад в борьбу со смертоносными инфекциями. В книгу вошло около 430 иллюстраций. Издание рассчитано на медицинских работников и широкий круг читателей.

**ПРИБРЕСТИ КНИГУ ВЫ МОЖЕТИЕ НА САЙТЕ
БАЛТИЙСКОГО МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА
<https://bmoc-spb.ru/izdat/>, тел.: (812) 956-92-55**

УДК 617.55-007.43

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-105-108>

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИЧИН КАУЗАЛГИИ В ПОЗДНИЕ СРОКИ ПОСЛЕ ПАХОВОЙ ГЕРНИОПЛАСТИКИ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

¹Я. П. Зорин[✉]*, ²А. Р. Гарифуллина[✉], ¹М. Г. Бойцова[✉], ¹Н. А. Карлова[✉]

¹Научно-клинический и образовательный центр «Лучевая диагностика и ядерная медицина» Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

²ООО «АВА-ПЕТЕР», клиника «Скандинавия», Санкт-Петербург, Россия

Диагностика осложнений после паховой герниопластики имеет большое значение в современной клинической практике. Ведущим методом обследования данной категории пациентов является ультразвуковая. Болевой синдром в поздние сроки после паховой герниопластики может быть следствием различных осложнений требующих дифференциальной диагностики. Одним из частных случаев является каузалгия, при которой физикальные данные не всегда специфичны. Проведено ультразвуковое исследование брюшной стенки 4 пациентам, перенесшим паховую герниопластику, с жалобами на боли в зоне оперативного вмешательства. Выполненное исследование позволило выявить признаки локального отека и гипертаскуляризации в местах расположения металлических скоб, фиксирующих сетчатый имплантат в брюшной стенке. Ультразвуковое исследование брюшной стенки у пациентов с болевым синдромом, перенесших паховую герниопластику, позволяет выявить специфические признаки локального асептического воспаления тканей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каузалгия, герниопластика, паховая грыжа, ультразвуковое исследование

*Для корреспонденции: Зорин Ярослав Петрович, e-mail: yzorin@mail.ru

Для цитирования: Зорин Я.П., Гарифуллина А.Р., Бойцова М.Г., Карлова Н.А. Ультразвуковая диагностика причин каузалгии в поздние сроки после паховой герниопластики: клинический случай // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 3. С. 105–108, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-105-108>.

ULTRASOUND DIAGNOSIS OF CAUSALGIA CAUSES IN THE LATE STAGES AFTER INGUINAL HERNIOPLASTY: CLINICAL CASE

¹Yaroslav P. Zorin[✉]*, ²Aliya R. Garifullina[✉], ¹Marina G. Boitsova[✉], ¹Natalia A. Karlova[✉]

¹Radiation diagnostics and nuclear medicine of St. Petersburg state University, St. Petersburg, Russia

²AVA-PETER LLC, «Skandinavia» clinic, St. Petersburg, Russia

Diagnosis of complications after inguinal hernioplasty is of great importance in modern clinical practice. The main method of examination for this category of patients is ultrasound. Pain syndrome in the late stages after inguinal hernioplasty might be a consequence of various complications, which require differential diagnosis. One of the cases might be causalgia, in which the physical data are not always specific. Ultrasound examination of the abdominal wall was performed in 4 patients who underwent inguinal hernioplasty with complaints of pain in the area of surgical intervention. The performed examination revealed the signs of local edema and hypervascularization at the locations of metal staples fixing the mesh implant in the abdominal wall. Ultrasound examination of patients with causalgia allows to reveal the signs of local aseptic inflammation of tissues.

KEYWORDS: causalgia, hernioplasty, inguinal hernia, ultrasound examination

*For correspondence: Yaroslav P. Zorin, e-mail: yzorin@mail.ru

For citation: Zorin Ya.P., Garifullina A.R., Boitsova M.G., Karlova N.A. Ultrasound diagnosis of causalgia causes in the late stages after inguinal hernioplasty: clinical case // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 3. P. 105–108, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-105-108>.

Введение. В современной клинической практике пластика вентральных грыж с применением сетчатых имплантатов является распространенной операцией. Наибольшее применение нашли сетчатые имплантаты из полипропилена [1–3]. Частота осложнений после герниопластики в поздний послеоперационный период составляет 1–5% [1, 2]. Одно из проявлений поздних осложнений (лимфоцеле, сером, гранулем, миграций сетки, лигатурных свищей, гематом, инфарктов подкожной клетчатки) — болевой синдром в зоне оперативного вмешательства [3–5]. Среди осложнений, сопровождающихся развитием болевого синдрома, отдельно выделяют случаи каузалгии. Каузалгия (от греч. *causis* — жжение и *algos* — боль) — сильная боль жгучего характера, сопровождающаяся локальными сенсорными и двигательными расстройствами, возникающая у пациента в зоне лапароскопических проколов брюшной стенки или в области интеграции и фиксации имплантата [6], при которой установить точную причину возникновения боли не всегда удается. Физикальные данные демонстрируют выраженную болезненность при локальной пальпации брюшной стенки, а также усиление боли при напряжении брюшных мышц.

Ведущим методом лучевого исследования при грыжах брюшной стенки является ультразвуковой, позволяющий как диагностировать грыжевые образования, так и выявить ранние и поздние осложнения [7, 8]. Ультразвуковое исследование в послеоперационном периоде выполняется только при наличии клинических показаний — болевого синдрома, пальпируемого увеличения объема мягких тканей в зоне бывшей грыжи или в местах прокола брюшной стенки. Исследование включает детальный анализ всех структур брюшной стенки в зоне паховой связки, изучение зоны наружного пахового кольца и пахового канала, визуализацию установленной полипропиленовой сетки, выполнение функциональной пробы Вальсальвы для оценки смещения тканей в зоне пахового канала и определения максимальных размеров возможного грыжевого образования. Обязательно выполняется ультразвуковое сканирование в вертикальном положении пациента для оценки влияния фактора гравитации на состояние грыжевого образования.

В норме врач УЗД отчетливо визуализирует кожу, подкожную клетчатку, фасциальные образования, слой предбрюшинного жира и париетальную брюшину; отчетливая визуализация наружного пахового кольца, а также медиальной и латеральной паховой ямки на внутренней поверхности брюшной стенки невозможны (рис. 1).

У большинства пациентов, перенесших лапароскопическую герниопластику, возможна ультразвуковая визуализация полипропиленовой сетки как экзогенной линейной структуры мелкоячеистого строения. На рис. 2 представлено ультразвуковое

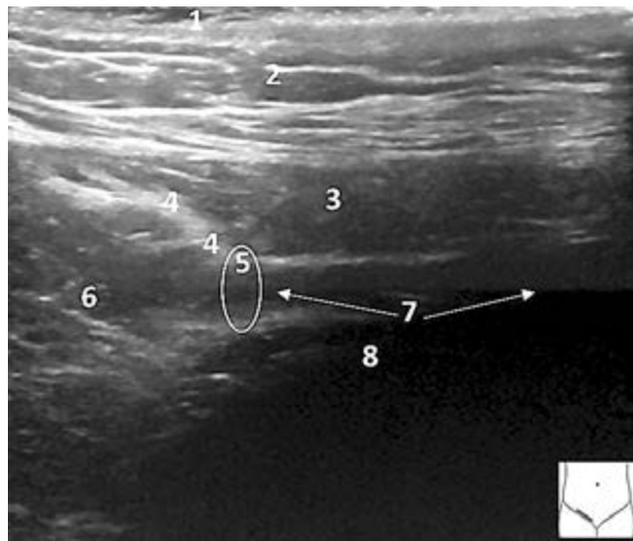


Рис. 1. Ультразвуковая визуализация структур передней брюшной стенки в зоне пахового канала.

Плоскость сканирования — по ходу паховой связки в средней и дистальной ее трети: 1 — кожа; 2 — подкожная клетчатка; 3 — нижний край внутренней косой и поперечной мышц живота; 4 — край поперечной фасции живота; 5 — зона внутреннего пахового кольца; 6 — абдоминальные структуры; 7 — паховый канал с содержимым; 8 — лонная кость

Fig. 1. Ultrasound visualization of the structures of the anterior abdominal wall in the inguinal canal area. The scanning plane is along the inguinal ligament in its middle and distal part: 1 — skin; 2 — subcutaneous tissue; 3 — the lower edge of the internal oblique and transverse abdominal muscles; 4 — the edge of the transverse fascia of the abdomen; 5 — the zone of the inner inguinal ring; 6 — abdominal structures; 7 — inguinal canal with contents; 8 — pubic bone

изображение сетчатого имплантата, установленного в паховой области пациента, оперированного по поводу прямой паховой грыжи.

Нами были обследованы 4 пациента, перенесшие лапароскопическую паховую герниопластику за 3–12 мес до обращения в клинику. Эти случаи объединяло сходство жалоб (жгучие боли в зоне оперативного вмешательства), отсутствие физикальных признаков рецидива грыжи и данные анамнеза, указывающие на возникновение болевого синдрома сразу после интенсивной физической нагрузки. Физикальное обследование показало отсутствие признаков рецидива грыжи, но отмечалась болезненность при пальпации брюшной стенки в зоне паховой связки.

Ультразвуковое исследование мягких тканей передней брюшной стенки выполнялось на аппарате Logic E9 линейным датчиком 12–15 МГц.

У всех пациентов признаков рецидива грыжи, отграниченных скоплений жидкости, подозрительных на гематому или серому, признаков смещения сетки выявлено не было. Мышцы брюшной стенки в зоне сканирования имели обычную толщину.

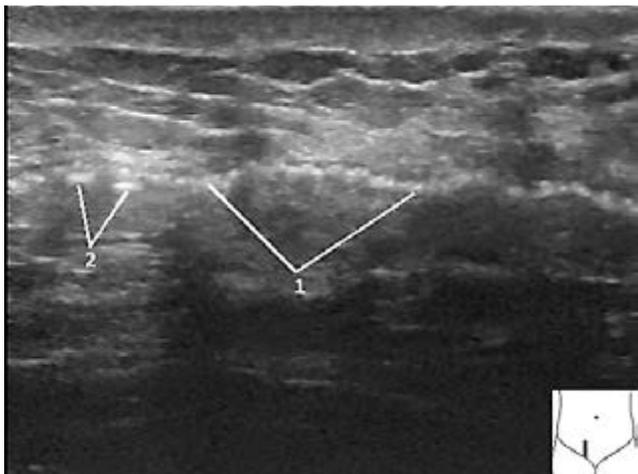


Рис. 2. Ультразвуковая визуализация полипропиленовой сетки и фиксирующей металлической скобы.

Плоскость сканирования — правая паховая область, параллельно средней линии тела на уровне дистальной трети паховой связки: 1 — ультразвуковое изображение сетчатого имплантата; 2 — ультразвуковое изображение фиксирующих скоб

Fig. 2. Ultrasound visualization of polypropylene mesh and fixing metal staples. The scanning plane is the right inguinal region, parallel to the midline of the body at the level of the distal part of the inguinal ligament: 1 — ultrasound image of a mesh implant; 2 — ultrasound image of fixing staples

Фиксирующие сетку металлические скобы определялись как тонкие линейные гиперэхогенные включения, расположенные вдоль сетки, как правило, без дистальных артефактов. В зонах наибольшей субъективно ощущаемой пациентом болезненности определялся участок сниженной эхогенности тканей размерами до 10–15 мм, окружавший изображение металлической скобки, что свидетельствовало о наличии локального отека тканей. При исследовании в режиме ЦДК в указанных зонах определялась умеренная локальная гипертангуляция тканей. Дополнительным фактором, подтверждающим наличие локального воспалительного процесса,

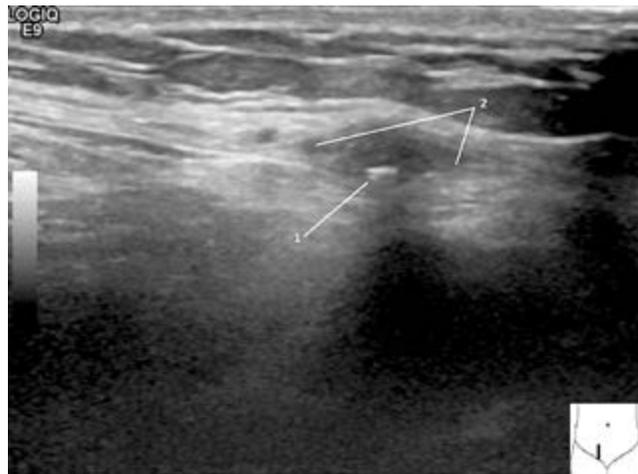


Рис. 3. Ультразвуковая визуализация структур передней брюшной стенки правой паховой области: 1 — ультразвуковое изображение гиперэхогенной металлической скобки; 2 — зона отека, окружающая скобку

Fig. 3. Ultrasound visualization of frontal abdominal wall structures: 1 — ultrasound image of hyperechoic metal staple; 2 — the area of edema surrounding the metal staple

являлась резкая болезненность при пальцевой точечной компрессии в проекции металлической скобки, выполнявшейся под контролем ультразвукового датчика. На рис. 3 представлено ультразвуковое изображение брюшной стенки пациента с выраженной каузалгией. Визуализируется зона отека в месте расположения металлической скобки.

Проведенное исследование позволило предположить, что причиной болевого синдрома является асептическое воспаление в зоне расположения скобки, фиксирующей полипропиленовую сетку. Возможно, что воспаление и болевой синдром у всех пациентов возникли вследствие натяжения тканей в зоне фиксации металлических скобок при физической нагрузке и сокращении мышц передней брюшной стенки.

Закключение. Таким образом, наличие каузалгии у пациентов после паховой герниопластики требует прицельного ультразвукового поиска для определения причины болевого синдрома.

Сведения об авторах:

Зорин Ярослав Петрович — кандидат медицинских наук, доцент, доцент научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина» медицинского факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9; e-mail: yzorin@mail.ru; ORCID 0000–0001–9260–5119;

Гарифуллина Алия Рашидовна — врач-рентгенолог, отделение компьютерной томографии ООО «АВА-ПЕТЕР», клиника «Скандинавия»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55а, лит. А; e-mail: garifullina.aliia@gmail.com; ORCID 0009–0009–5269–5696;

Бойцова Марина Геннадьевна — кандидат медицинских наук, доцент, доцент научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина» медицинского факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9; e-mail: mgboitsova@mail.ru; ORCID 0000–0001–6244–975X;

Карлова Наталья Александровна — доктор медицинских наук, профессор, профессор научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина» медицинского факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9; e-mail: mgboitsova@mail.ru; ORCID 0000–0001–5917–2024.

Information about the authors:

Yaroslav P. Zorin — Cand. of Sci. (Med.), Docent, St. Petersburg State University, Medical Faculty, Scientific and clinical and educational center «Medical Radiology and Nuclear Medicine» of the Institute of High medical technologies; 199034, Saint Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9; e-mail: yzorin@mail.ru; ORCID 0000–0001–9260–5119;

Aliya R. Garifullina — radiologist, Computer Tomography department, AVA-PETER LLC, «Skandinavia» clinic, St. Petersburg, 191014, St. Petersburg, Liteyny ave., 55a, lit. A; e-mail: garifullina.aliia@gmail.com; ORCID 0009–0009–5269–5696;

Marina G. Boitsova — Cand. of Sci. (Med.), Docent, St. Petersburg State University, Medical Faculty, Scientific and clinical and educational center «Medical Radiology and Nuclear Medicine» of the Institute of High medical technologies, 199034, Saint Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9; e-mail: mgboitsova@mail.ru; ORCID 0000–0001–6244–975X;

Natalia A. Karlova — Dr. of Sci. (Med.), Professor, St. Petersburg State University, Medical Faculty, Scientific and clinical and educational center «Medical Radiology and Nuclear Medicine» of the Institute of High medical technologies, 199034, Saint Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9; e-mail: mgboitsova@mail.ru; ORCID 0000–0001–5917–2024.

Вклад авторов: Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — Я.П. Зорин, А.Р. Гарифуллина; сбор и математический анализ данных — Я.П. Зорин, А.Р. Гарифуллина, М.Г. Бойцова, Н.А. Карлова; подготовка рукописи — Я.П. Зорин, М.Г. Бойцова, Н.А. Карлова.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: YaPZ, ARG; aided in the concept and plan of the study; YaPZ, ARG, MGB, NAK provided collection and mathematical analysis of data; YaPZ, MGB, NAK preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Adherence to conflict of interests: The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики: одобрения этического комитета не требовалось, информированное согласие получено.

Adherence to ethical standards: ethical committee approval was not required and consent was obtained from patient.

Поступила/Received: 04.07.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.08.2023.

Опубликована/Published: 29.09.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Антонов А.М. Тактика лечения больных послеоперационными грыжами с учетом индекса риска // *Хирургия*. 2008. № 6. С. 45–48. [Antonov A.M. Tactics of treatment of patients with postoperative hernias taking into account the risk index. *Surgery*, 2008, No. 6, pp. 45–48 (In Russ.).]
2. Егив В.Н., Рудакова М.Н., Свитковский М.В. Герниопластика без натяжения в лечении паховых грыж // *Хирургия*. 2012. № 4. С. 18–22. [Egiev V.N., Rudakova M.N., Svitkovskiy M.V. Tension-free hernioplasty in the treatment of inguinal hernias. *Surgery*, 2012, No. 4, pp. 18–22 (In Russ.).]
3. Жебровский В.В., Эльбашир М.Т. *Хирургия грыж живота и эвентраций*. М.: Бизнес-Информ, 2007. 417 с. [Zhebrovskiy V.V., Elbashir M.T. *Surgery of abdominal hernias and evertions*. Moscow: publishing house Buisness-Infom, 2007. 417 p. (In Russ.).]
4. Егив В.Н., Лядов К.В., Воскресенский П.К. *Атлас оперативной хирургии грыж*. М.: Медпрактика, 2009. 227 с. [Egiev V.N., Lyadov K.V., Voskresenskiy P.K. *Atlas of operative hernia surgery*. Moscow: publishing house Medpraktika, 2009; 227 p. (In Russ.).]
5. Протасов А.В., Богданов Д.Ю., Магоматов Р.Х. *Практические аспекты современных герниопластик*. М.: РУСАКИ, 2011. 207 с. [Protasov A.V., Bogdanov D.Yu., Magomadov R.H. *Practical aspects of modern hernioplasty*. Moscow: publishing house RUSAKI, 2011. 207 p. (In Russ.).]
6. Сбродов М.И., Богданов Д.Ю., Кумуков М.Б. Феномен каузалгии после герниопластик // *Эндоскопическая хирургия*. 2013. Т. 19. С. 51–57. [Sbrodov M.I., Bogdanov D.Yu., Kumukov M.B. Appearance of causalgia after hernioplasties. *Endoscopic Surgery*, 2013, Vol. 19, pp. 51–57 (In Russ.).]
7. Новицкая В.С., Михайлов А.Н., Смотров С.М. Ультразвуковая диагностика в хирургии паховых грыж // *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2020. Т. 18. С. 180–186. [Novitskaya V.S., Mikhailov A.N., Smotryn S.M. Ultrasonic diagnostics in surgery of inguinal hernia. *Journal of the Grodno State Medical University*, 2020, Vol. 18, pp. 180–186 (In Russ.).] <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-2-180-186>.
8. Kurmanseitova L.I., Khatkov I.E., Kulezniova U.V. Ultrasound investigation of groins during selection of surgical approach for inguinal hernia // *European hernia society 30 congress*. Sevilla, 2008. P. 153–154.

Мы рады всем Вашим статьям, представленным в наш журнал!

Редакция оставляет за собой право сокращения и стилистической правки текста без дополнительных согласований с авторами.

Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов опубликованных материалов.

Редакция не несет ответственности за последствия, связанные с неправильным использованием информации.

Лучевая диагностика и терапия

Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-73712 от 05 октября 2018 г.

Корректор: Т. В. Руксина

Верстка: К. К. Ершов