# изото-трактический рецензируемый журнал Тучевая диланостика и терлия

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



рецензируемый

Научно-практический

/ЧЕВАЯ 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



журнал

# 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 ВИНИТИ, базы данных Global Health, Google Scholar, в Российский индекс научного цитирования www.elibrary.ru

Издатель: Балтийский медицинский образовательный центр Почтовый адрес журнала: 194295, г. Санкт-Петербург, б-р Поэтический, д. 2, литера А, помещ. 1-Н, офис 660, тел.: +7 921 956-92-55 *http://radiag.bmoc-spb.ru/jour* e-mail: *ooo.bmoc@ mail.ru*  Объединенный каталог «Урал Пресс» (Пресса России) 014023

Подписано в печать 30.09.24 г. Формат 60×84 <sup>1</sup>/8. Бумага мелованная. Печать офсетная. Печ. л. 14,5. Тираж 1000 экз. Цена договорная. Отпечатано в типографии: ООО «РИП-СПБ», Санкт-Петербург, б-р Поэтический, д. 2, лит. А, офис 663.

## Редколлегия журнала

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



# **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:** 194295, b-r Poetichesky, 2, lit. A, room. 1<sup>st</sup>, office 660, St. Petersburg, Russia, tel.: +7 921 956-92-55 *http://radiag.bmoc-spb.ru/jour* e-mail: *ooo.bmoc@mail.ru* 

Union Catalogue «Ural Press» (The Russian Press) 014023

#### - Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Science, Pavlov First Saint Sergey F. Bagnenko Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia - Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, the National Medical Research Centre of Oncology of Sergey S. Bagnenko N. N. Petrov, St. Petersburg, Russia - Dr. of Sci. (Med.), Hospital for War Veterans, St. Petersburg, Russia Mariua Ya. Belikova 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 - Dr. of Sci. (Med.), Professor, Honored Worker of Science, Academician of the Academy of Preventive Raushan I. Rakhimzhanova 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 - Dr. of Sci. (Med.), Russian Research Centre of Radiology and Surgical Techniques of A. M. Granov, A. Stanzhevskii 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 - Dr. of Sci. (Med.), Professor, the National Medical Research Centre of V. A. Almazov, St. Petersburg, Ye. Trufanov Russia - Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Russian Academy of Science, Corresponding Member of the Russian Andrey A. Tulupov 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 - Dr. of Sci. (Med.), Professor, the Academician E. N. Meshalkin National Medical Research Center, Wladimir Yu. Ussov 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

#### **Editorial Board**

### содержание

# ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРЕНАТАЛЬНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ ЛЕГКИХ: ОБЗОР
МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ВСЕГО ТЕЛА В ДИАГНОСТИКЕ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ МЕТАСТАТИЧЕСКОГО РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: СТАНДАРТЫ СИСТЕМЫ MET-RADS-P
ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ
РАДИОМИКА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОЧАГОВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
АДАПТИВНАЯ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКАЯ РАДИОХИРУРГИЯ ПРИ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ МЕТАСТАЗАХ НЕМЕЛКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЕГКОГО: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПРИ ОСТРОЙ ТРАВМЕ ОРБИТ У ДЕТЕЙ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРЕДОПЕРАЦИОННАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПАТОЛОГИИ ОКОЛОЩИТОВИДНЫХ ЖЕЛЕЗ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРВИЧНЫМ ГИПЕРПАРАТИРЕОЗОМ С ПОМОЩЬЮ ПЭТ/КТ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ КАЛЬЦИНАТОВ И ИХ СКОПЛЕНИЙ НА МАММОГРАММАХ: РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ БЛОКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА
ПЕРФУЗИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПОЧЕК. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРФУЗИИ ПОЧЕК В НОРМЕ: СЛУЧАЙ-КОНТРОЛЬ
ВЫПОЛНЕНИЕ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПАЦИЕНТАМ С ОГНЕСТРЕЛЬНЫМИ РАНЕНИЯМИ: ПАМЯТКА ВРАЧАМ-РЕНТГЕНОЛОГАМ
НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ
ИНФОРМАТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ СУБЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЖЕЛУДКА: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ
ЮБИЛЕЙ

#### CONTENTS

# LECTURES AND REVIEWS

CURRENT APPROACHES TO PRENATAL IMAGING OF LUNG MALFORMATIONS: A REVIEW
<ul> <li>WHOLE BODY MAGNETIC RESONANCE IMAGING (WB MRI) IN THE DIAGNOSIS</li> <li>AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT OF METASTATIC</li> <li>PROSTATE CANCER: MET-RADS-P SYSTEM STANDARDS</li></ul>
ORIGINAL RESEARCH
RADIOMICS IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF FOCAL BRAIN LESIONS: A RETROSPECTIVE STUDY 32 N. V. Nudnov, E. V. Bit-Yunan, E. SA. Shakhvalieva, A. A. Borisov, P. N. Sultanova, M. E. Ivannikov, D. G. Karelidze, P. I. Bochkova
ADAPTIVE STEREOTACTIC RADIOSURGERY FOR CEREBRAL METASTASES
OF NON-SMALL CELL LUNG CANCER: A RETROSPECTIVE STUDY
COMPUTED TOMOGRAPHY OF ACUTE ORBITAL TRAUMA IN CHILDREN: A RETROSPECTIVE STUDY
PREOPERATIVE VISUALIZATION OF PARATHYROID PATHOLOGY IN PATIENTS WITH
PRIMARY HYPERPARATHYROIDISM USING PAT/KT: A RETROSPECTIVE STUDY
AUTOMATED DIFFERENTIATION OF CALCIFICATIONS AND THEIR CLUSTERS
ON THE MAMMOGRAPHY IMAGE: THE OUTCOMES OF THE COMPUTER AIDED
DIAGNOSIS SYSTEM MODULE
PERFUSION COMPUTER TOMOGRAPHY OF THE KIDNEYS. RESEARCH TECHNIQUE.
PERFUSION INDICATORS IN THE NORM: CASE-CONTROL
PERFORMING MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN PATIENTS WITH GUNSHOT WOUNDS:
A GUIDE FOR RADIOLOGISTS
PRACTICAL CASES
INFORMATIVE VALUE OF DIAGNOSTIC IMAGING METHODS IN THE DETECTION
OF SUBEPITHELIAL FORMATIONS OF THE STOMACH: A CLINICAL CASE

ANNIVERSARY
-------------

# ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ / LECTURES AND REVIEWS

УДК 616.65-006.6-071.4-074-073.48-073.756.8(045) http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-7-18

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРЕНАТАЛЬНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ ЛЕГКИХ: ОБЗОР

*Е.М. Сыркашев*<sup>\*</sup>, *Н.В. Машинец*, *Ю. И. Дорофеева*, *Ю. Л. Подуровская*, *А. И. Гус* Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Врожденные аномалии легких и бронхов возникают в результате нарушений развития на любом из этапов формирования органа. Проявления указанных изменений могут значительно варьировать: от минимальных по размеру до крупных объемных образований, занимающих большую часть легкого, которые приводят к гибели плода или выраженным дыхательным нарушениям после рождения. Своевременная и точная пренатальная диагностика пороков развития легких является одним из основополагающих факторов, определяющих прогноз и тактику ведения беременности.

**ЦЕЛЬ:** Продемонстрировать наиболее типичные признаки широкого спектра врожденных аномалий легких по данным УЗИ и МРТ.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Поиск литературы осуществлялся в открытых информационных базах на русском и английском языках Medline, PubMed, Web of Science, PИНЦ, eLIBRARY по ключевым словам и словосочетаниям: «пренатальная диагностика», «MPT плода», «УЗИ», «фетальная MPT», «ВПР», «врожденные пороки развития легких».

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** На основании данных литературы и собственного многолетнего опыта применения УЗИ и МРТ в диагностике аномалий развития легких описаны ключевые признаки нормального развития и наиболее частых видов указанной патологии. Представлен алгоритм диагностического поиска врожденных пороков легких.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** УЗИ относится к основным методам диагностики врожденных аномалий развития легких. Фетальная МРТ используется для уточнения характера и протяженности изменений, более детальной оценки смежных органов, а также определения сочетанных пороков развития. Понимание особенностей лучевой семиотики пороков развития легочной системы и основных признаков указанных аномалий является основополагающим критерием пренатального консультирования, а также пери- и постнатального ведения данной категории пациентов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пренатальная диагностика, МРТ плода, УЗИ, фетальная МРТ, ВПР, врожденные пороки развития легких

\* Для корреспонденции: Сыркашев Егор Михайлович, e-mail: egorsrkshv@mail.ru

Для цитирования: Сыркашев Е.М., Машинец Н.В., Дорофеева Ю.И., Подуровская Ю.Л., Гус А.И. Современные подходы к пренатальной визуальной диагностике пороков развития легких: обзор // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 7–18, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-7-18.

# CURRENT APPROACHES TO PRENATAL IMAGING OF LUNG MALFORMATIONS: A REVIEW

*Egor M. Syrkashev*<sup>®</sup>, *Natalia V. Mashinets*<sup>®</sup>, *Yulia I. Dorofeeva*<sup>®</sup>, *Yulia L. Podurovskaya*<sup>®</sup>, *Alexander L. Gus*<sup>®</sup> National medical research center for obstetrics, gynecology and perinatology named after academician V. I. Kulakov, Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** Congenital lung malformations are result of developmental disorders at any stage of organ formation. Manifestations of these changes vary significantly: from minimal in size to large space-occupying lesion of the lung, which can cause fetal death or severe postnatal respiratory disorders. In proper time and accurate prenatal diagnosis of lung development abnormalities is one of the fundamental factors determining management of pregnancy and prognosis.

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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:** To demonstrate the most typical features of a wide range of congenital lung anomalies by ultrasound and MRI. **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: «prenatal diagnosis», «fetal MRI», «ultrasound diagnostics», «congenital lung malformations».

**RESULTS:** Based on literature data and our own experience in the use of ultrasound and MRI in diagnosis of congenital lung malformations, the main signs of normal development and the most specific types of lung anomalies are described. Algorithm for diagnostic search for congenital lung malformations is presented.

**CONCLUSION:** Ultrasound is the main method for diagnosing congenital lung anomalies. Fetal MRI is used to clarify the nature and extent of changes, a more detailed assessment of adjacent organs, also to determine Multiple congenital anomalies. Understanding the characteristics of semiotics of lung malformations and the main signs of these anomalies is a fundamental criterion for prenatal counseling, as well as peri- and postnatal management of this category of patients.

KEYWORDS: «prenatal diagnosis», «fetal MRI», «ultrasound diagnostics», «congenital lung malformations»

#### \* For correspondence: Egor M. Syrkashev, e-mail: egorsrkshv@mail.ru

For citation: Syrkashev E.M., Mashinets N.V., Dorofeeva Yu.I., Podurovskaya Yu.L., Gus A.L. Current approaches to prenatal imaging of lung malformations: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 7–18, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-7-18.

Введение. Врожденные аномалии легких и бронхов возникают в результате нарушений развития на любом из этапов формирования органа: между 3-й и 6-й неделями гестации, когда на передней кишке появляется дивертикул трахеи, между 6-й и 16-й неделями развития — в результате деления бронхов, и после 16 нед — вследствие активного формирования альвеолярного аппарата. Проявления указанных изменений значительно варьируют: от минимальных по размеру, как правило, бессимптомных изменений до крупных объемных образований, занимающих большую часть легкого, которые приводят к гибели плода или выраженным дыхательным нарушениям после рождения. Своевременная и точная пренатальная диагностика аномалий развития легких является одним из основополагающих факторов, определяющих прогноз, тактику ведения беременности и возможное планирование как пренатального, так и постнатального хирургического вмешательства.

Ультразвуковое исследование (УЗИ) относится к основным методам визуальной диагностики при оценке пороков развития плода. Большинство структурных изменений легких могут быть обнаружены при рутинной эхографии на сроке 18-20 нед беременности [1]. При этом в некоторых случаях, даже в руках опытных специалистов, прецизионная эхографическая диагностика может быть затруднительна, в особенности при маловодии, избыточной массе тела беременной или на более поздних сроках гестации. В таких случаях для подтверждения диагноза либо получения дополнительной информации требуется выполнение магнитно-резонансной томографии (МРТ). При значительно менее выраженном влиянии на качество изображений конституции беременной, положения плода или количества околоплодных вод к преимуществам данного метода можно отнести крупное поле обзора и высокий естественный контраст от мягких тканей. Как и при УЗИ, МРТ выполняется без использования седативных препаратов или внутривенного контрастирования.

Цель. Продемонстрировать наиболее типичные признаки широкого спектра врожденных аномалий легких по данным УЗИ и МРТ, а также алгоритм диагностического поиска.

**Материалы и методы.** Поиск литературы осуществлялся в открытых информационных базах на русском и английском языках Medline, PubMed, Web of Science, РИНЦ, eLIBRARY по ключевым словам и словосочетаниям: «пренатальная диагностика», «МРТ плода», «УЗИ», «фетальная МРТ», «ВПР», «врожденные пороки развития легких».

Эмбриональное развитие легких. Легочная система человека начинает развиваться на 26-33-й день беременности из переднего отдела первичной кишки. Дальнейшее развитие включает как несколько периодов (эмбриональный, фетальный, постнатальный), так и фаз (эмбриональная, псевдогландулярная, каналикулярная, саккулярная и альвеолярная) [2]. В эмбриональной фазе (4-7 нед беременности) формируются зачатки легких, основных дыхательных путей и плевры. Псевдогландулярная фаза (5-17 нед) характеризуется развитием бронхиального дерева, крупных отделов дыхательной паренхимы и ацинусов. При этом ацинарный эпителий еще не дифференцирован. В каналикулярной фазе (16-26 нед) происходит созревание дистальных дыхательных путей, аэрогематического барьера, появление сурфактанта, дальнейшее формирование ацинусов.

Саккулярная (мешотчатая) фаза (24–38 нед) в основном характеризуется увеличением будущих воздушных пространств. В альвеолярной фазе (36 нед — 3–8 лет) происходит формирование вторичных перегородок, образующих альвеолы. Этот процесс может начинаться до рождения и в постнатальном периоде. Позже происходит увеличение количества воздушных пространств, респираторных бронхиол

#### № 3 (15) 2024

и альвеолярных мешочков. Все фазы развития легкого пересекаются между собой, потому как большинство процессов созревания легких начинаются центрально и продвигаются на периферию. Необходимо отметить, что точное начало и окончание созревания микроваскулярной сети, завершение альвеолярной фазы неизвестно [2].

Визуализация легких в норме. Неизмененная паренхима легких при УЗИ имеет гомогенную эхоструктуру на протяжении всей беременности. На более ранних сроках легкое гипоэхогенно относительно ткани печени, с прогрессированием беременности эта разница становится менее очевидна. Визуализация гортани, глотки и трахеи на ранних сроках гестации обычно ограничена, а на более поздних сроках отображается в виде тубулярных гипоэхогенных структур, заполненных жидкостью [3]. Кистозно-аденоматозная мальформация легких. Кистозно-аденоматозная мальформация легких (кистозно-аденоматозный порок развития легких, КАМЛ, КАПРЛ) составляет до половины от всех пороков легкого и встречается с частотой 1 на 25000–35000 беременностей [7]. Указанные образования относятся к гамартомам и характеризуются аномальным ветвлением незрелых бронхиол без нормального развития альвеол. Кровоснабжение осуществляется из системы легочных артерий, а отток по легочным венам. В подавляющем большинстве случаев (80–95%) заболевание возникает в одном из легких, чаще на уровне нижних долей. Данных о предрасположенности локализации справа или слева не установлено.

По классификации Stocker и соавт. (1977) выделяют три типа КАМЛ [8].



Рис. 1. Беременность 28 нед. 4 дн., Т2-взвешенные изображения в сагиттальной и фронтальной (в режиме жироподавления) плоскостях. Трахея, бифуркация трахеи (белые стрелки), гортаноглотка (белая пунктирная стрелка)
Fig. 1. Gestational age 28 weeks 4 days, T2-weighted images in sagittal and frontal (fat suppressed) planes. Trachea, bifurcation (white arrows), hypopharynx (white dotted arrow)

Т2-ВИ являются оптимальными последовательностями для оценки легких плода, трахеи и главных бронхов по данным МРТ. Ввиду значительного количества жидкости, легкие имеют относительно гомогенный гиперинтенсивный сигнал на T2-ВИ по сравнению с тканью печени, селезенки или стенкой грудной клетки. При этом с прогрессированием беременности интенсивность сигнала на Т2-ВИ в норме повышается, что связано с увеличением количества жидкости в формирующихся альвеолах [4-6] и может быть использовано в качестве маркера структурной зрелости легких. В отличие от УЗИ визуализация верхних дыхательных путей на фоне их гиперинтенсивного сигнала на Т2-ВИ, как правило, не вызывает сложностей (в особенности на более поздних сроках гестации) (рис. 1).

I тип — состоит из единичных или множественных кист (3–10 см).

II тип — включает множественные мелкие кисты (0,5-2,0 см).

III тип — микрокистозная масса с размерами кист не более 0,2 см.

Позднее были выделены 0 и IV типы [9]. Тип 0 представляет собой солидное образование (ацинарная дисплазия), а IV — образование с преобладанием многокамерных периферических тонкостенных кист [10].

Согласно классификации Adzick и соавт. выделяют два типа КАМЛ: макрокистозный (множественные крупные кисты более 0,5 см) и микрокистозный (кисты менее 0,5 см) [11]. Последний встречается значительно реже и имеет менее благоприятный прогноз. Пренатальная ультразвуковая диагностика аномалий легочной ткани в основном возможна с 20– 21-й недели беременности. Эхографическая картина КАМЛ зависит от типа порока. При I и II типах в легочной ткани определяются анэхогенные кистозные включения округлой формы разного диаметра, при КАПРЛ III типа пораженный участок имеет гиперэхогенную структуру (рис. 2–4).



Рис. 2. Эхограмма. Беременность 36 нед 2 дня. КАПРЛ І типа слева. Продольное трансабдоминальное сканирование. 1 — левое легкое (макрокиста отмечена стрелкой) Fig. 2. Echogram. Gestational age 36 weeks 2 days. CALM type I. Longitudinal transabdominal scanning. 1 — left lung (arrow — microcyst)



Рис. 3. Эхограмма. Беременность 34 нед 4 дня. КАПРЛ II типа справа. Поперечное трансабдоминальное сканирование на уровне грудной клетки плода. 1 левое легкое; 2 — правое легкое (содержит множественные кисты различного диаметра отмечены стрелками); 3 — сердце

**Fig. 3.** Echogram. Gestational age 34 weeks 4 days. CALM type II. Transverse transabdominal scanning at the level of the fetal chest. 1 — left lung; 2 — right lung (arrows — multiple cysts); 3 — heart

Пренатальная лучевая семиотика в зависимости от типа КАМЛ варьирует, при этом все они, как правило, на МРТ выглядят гиперинтенсивными относительно неизмененной ткани легких (рис. 5, 6). Микрокистозный тип представляется как гомогенное образование повышенного сигнала на T2-BИ, а макрокистозный — в виде образования с наличием разнокалиберных кист. С прогрессированием беременности и повышением интенсивности сигнала от легких на T2-BИ граница между КАМЛ и неизмененной тканью становится менее очевидной.



Рис. 4. Эхограмма. Беременность 23 нед 3 дня. КАПРЛ III типа справа. Поперечное трансабдоминальное сканирование на уровне грудной клетки плода. 1 — левое легкое, 2 — правое легкое (повышенной эхогенности за счет множественных микрокист в структуре), 3 — сердце
Fig. 4. Echogram. Gestational age 23 weeks 3 days. CALM type III. Transverse transabdominal scanning at the level of the fetal chest. 1 — left lung, 2 — right lung (increased echogenicity due to multiple microcysts), 3 — heart

В редких случаях кистозный аденоматоз может иметь атипичный вид промежуточной интенсивности сигнала образования с наличием гипоинтенсивных включений. В таких наблюдениях проводится дифференциальная диагностика с врожденной перибронхиальной миофибробластической опухолью [12]. В остальных случаях дифференциальную диагностику макрокистозных КАМЛ проводят с бронхогенными кистами, гибридными формами и опухолями средостения (рис. 7), а микрокистозный тип дифференцируют от легочной секвестрации, врожденной эмфиземы, бронхиальной атрезии и гибридных форм.

Пиком роста легочной патологии является срок 26– 28 недель беременности [13–15]. При этом в ряде случаев, обычно после 32 нед гестации, может происходить обратное развитие КАМЛ [16, 17]. Последнее не исключает проведение постнатального обследования



Рис. 5. Беременность 35 нед 5 дней, Т2-взвешенные изображения во фронтальной, сагиттальной и аксиальной плоскостях. Макрокистозная форма КАМЛ (II типа по Stocker и соавт.)
 Fig. 5. Gestational age 35 weeks 5 days, T2-weighted images in frontal, sagittal and axial planes. Macrocystic form of CALM (Stocker type II)



Рис. 6. Беременность 27 нед 1 день, Т2-взвешенные изображения во фронтальной, сагиттальной и аксиальной плоскостях. Макрокистозная форма КАМЛ (II типа по Stocker и соавт.)
 Fig. 6. Gestational age 27 weeks 1 day, T2-weighted images in frontal, sagittal and axial planes. Macrocystic form of CALM (Stocker type II)



Рис. 7. Беременность 24 нед 4 дня, T2-взвешенные изображения во фронтальной, сагиттальной и аксиальной плоскостях. Неиммунная водянка плода, тератома перикарда (толстая стрелка), гидроторакс (пунктирная стрелка), легкие (короткая тонкая стрелка), отек подкожной жировой клетчатки (длинная тонкая стрелка)
 Fig. 7. Gestational age 24 weeks 4 days, T2-weighted images in frontal, sagittal and axial planes. Fetal hydrops, pericardial teratoma (thick arrow), hydrothorax (dotted arrow), lungs (short thin arrow), subcutaneous fat edema (long thin arrow)

с помощью компьютерной томографии (для определения резидуальных изменений). В целом, чем больше изначальный объем опухоли по отношению к легкому, тем менее вероятен ее полный регресс [18].

К серьезным осложнениям кистозного аденоматоза относится развитие неиммунной водянки плода (НИВП), возникающей на фоне сдавления сердца, нарушения лимфатического и венозного оттока, что в свою очередь приводит к вторичной сердечно-сосудистой недостаточности [19]. Прогнозирование НИВП основано на вычислении соотношения объема опухоли с окружностью головки плода по данным ультразвукового исследования (ССАМ volume to head circumference ratio, CVR): если CVR превышает 1,6, НИВП возникает в 75% случаев, при CVR <1,6 НИВП развивается менее чем в 3% наблюдений [20].

Во внутриутробном периоде появление неиммунной водянки плода при пороках легкого отмечено в 5–9% наблюдений [15], что значительно ниже, чем в популяции. Так, по данным литературы, частота встречаемости указанной патологии составляет 1 на 3000–4000 новорожденных [21] (рис. 8, 9).

**Легочная секвестрация.** Легочная секвестрация (ЛС, бронхопульмонарная секвестрация) — это уча-

[23, 24]. Выделяют внутридолевую и внелегочную (интра- и экстралобарную) секвестрацию. Интралобарный тип окружен неизмененной легоч-



Рис. 8. Эхограмма. Беременность 26 нед. КАПРЛ І типа справа. Водянка плода. Асцит. Продольное трансабдоминальное сканирование. 1 — правое легкое, 2 — печень, 3 — асцит

**Fig. 8.** Echogram. Gestational age 26 weeks. CALM type I. Hydrops fetalis. Ascites. Longitudinal transabdominal scanning. 1 — right lung; 2 — liver; 3 — ascites



**Рис. 9.** Беременность 30 нед 6 дней, Т2-взвешенные изображения во фронтальной, сагиттальной и аксиальной проекциях. НИВП. Макрокистозная форма КАМЛ справа (белые стрелки), левое легкое (пунктирные стрелки), гидроторакс слева (короткие стрелки), отек подкожной жировой клетчатки (тонкие стрелки)

Fig. 9. Gestational age 30 weeks 6 days, T2-weighted images in frontal, sagittal and axial projections. Fetal hydrops. Macrocystic CALM (white arrows), left lung (dotted arrows), hydrothorax on the left (short arrows), edema of the subcutaneous fatty tissue (thin arrows)

стки аномальной ткани легких, не имеющие нормального соединения с трахеобронхиальным деревом и имеющие аномальное кровоснабжение из системного кровотока (как правило, грудной или брюшной отдел аорты, значительно реже — чревный ствол, селезеночная или подключичная артерии) [22]. Наличие системного аберрантного кровоснабжения позволяет дифференцировать секвестрацию от иных пороков развития легкого.

По данным различных авторов бронхопульмонарная секвестрация составляет от 0,15 до 23% от всех аномалий легких и относится ко второй по частоте среди всех пороков развития данной локализации ной тканью и покрыт общим листком плевры. В ситуациях, когда разделение происходит после формирования плевры, формируется экстралобарная секвестрация, покрытая собственным листком плевры (супрадиафрагмальный, субдиафрагмальный, трансдиафрагмальный или интрадиафрагмальный типы) [25, 26]. Вне зависимости от типа секвестры чаще встречаются на уровне базальных отделов легкого слева (рис. 10).

Пренатальная ультразвуковая диагностика ЛС основана на выявлении в грудной клетке или интраабдоминально образования повышенной эхогенности с четкими контурами. Структура образования



Рис. 10. Беременность 27 нед, Т2-взвешенные изображения в сагиттальной и фронтальной проекциях.
 Экстралобарный секвестр слева, гибридная форма (стрелка), питающий сосуд (пунктирная стрелка)
 Fig. 10. Gestational age 27 weeks, T2-weighted images in sagittal and frontal planes. Extralobar sequestration on the left, hybrid form (arrow), feeding vessel (dotted arrow)

чаще всего бывает однородной, но при сочетании с КАПРЛ в секвестре могут обнаруживаться небольшие кистозные включения округлой формы. К значимым патогномоничным признакам данной патологии относится определение отдельного питающего сосуда, отходящего от аорты при цветовом допплеровском картировании. Необходимо отметить, что указанный критерий удается выявить не во всех наблюдениях (рис. 11, 12).



Рис. 11. Эхограмма. Беременность 21 нед 3 дня.
Секвестр левого легкого. Режим цветового допплеровского картирования. Продольное трансабдоминальное сканирование. 1 — секвестр; 2 — питающий сосуд
Fig. 11. Echogram. Gestational age 21 weeks 3 days. Sequestration of the left lung. Color Doppler.
Longitudinal transabdominal scanning. 1 — sequester; 2 — feeding vessel

Диагноз устанавливается при наличии гомогенного образования с четкими контурами и гиперинтенсивным сигналом на T2-ВИ на МРТ. Допплеровское исследование является наиболее точным в определении питающего сосуда, который в виде линейных гипоинтенсивных структур не всегда удается идентифицировать на МРТ [24]. Дифференциальную диагностику интралобарной секвестрации проводят с микрокистозным типом КАМЛ и гибридными формами (при отсутствии визуализации аберрантного кровоснабжения). Экстралобарные поддиафрагмальные секвестры — с кровоизлиянием и нейробластомой надпочечника (см. рис. 10).



Рис. 12. Эхограмма. Беременность 36 нед Экстралобарный секвестр легочной ткани. Поперечное трансабдоминальное сканирование на уровне грудной клетки. 1 — сердце; 2 — экстралобарный секвестр; 3 — гидроторакс

**Fig. 12.** Echogram. Gestational age 36 weeks. Extralobar sequestration. Transverse transabdominal scanning at the chest level. 1 — heart; 2 — extralobar sequestrum; 3 — hydrothorax

Осложнения в виде формирования гидроторакса и неиммунной водянки плода при легочной секвестрации наблюдается достаточно редко — 6,8% случаев. В ряде случаев с прогрессированием беременности (после 26–28 нед гестации) может происходить уменьшение размеров образования [24]. Тем не менее, как и при КАМЛ, это не исключает необходимость выполнения постнатального обследования для определения резидуальных изменений в легких.

Гибридные формы (сочетание КАМЛ и легочной секвестрации). Различные бронхолегочные мальформации имеют общее эмбриональное происхождение, поэтому критерии, характерные для различных пороков развития, могут наблюдаться на уровне одного образования или встречаться сочетанно [22]. Одним из наиболее частых примеров является гибридная форма легочной секвестрации и КАМЛ II типа, которая включает поликистозное образование с наличием системного аберрантного кровотока (рис. 10, 13). на Т2-ВИ является увеличенный гомогенный участок легкого с гиперинтенсивным сигналом, без нарушения сосудистого рисунка. Диагноз устанавливается при наличии расширенных тубулярных структур на уровне легочных ворот, соответствующих увеличенным бронхам. На МРТ данный признак удается визуализировать чаще, чем при УЗИ [32]. Необходимо отметить, что пренатальная дифференциальная диагностика с микрокистозной формой КАМЛ может быть затруднительной (рис. 14, 15), что диктует необходимость проведения тщательного постнатального обследования.



Рис. 13. Беременность 27 нед 2 дня, Т2-взвешенные изображения во фронтальной, сагиттальной и аксиальной плоскостях. Гибридная форма секвестрации легкого и КАМЛ. Неоднородное образование с наличием множественных разнокалиберных кист (белые стрелки), питающий сосуд (белые пунктирнвые стрелки)
 Fig. 13. Gestational age 27 weeks 2 days, T2-weighted images in frontal, sagittal and axial planes. Hybrid form of lung sequestration and CALM. Heterogeneous formation with the presence of multiple cysts of different sizes (white arrows), a feeding vessel (white dotted arrows)

По данным морфологических исследований установлено, что около 50% КАПРЛ и ЛС относятся к «гибридным формами», в которых сочетаются признаки аномального строения ткани легкого, характерные для КАПРЛ и особенности кровоснабжения патологического участка, типичные для секвестрации [14, 27, 28]. В целом происхождение, морфологические особенности и клинические данные этих заболеваний очень схожи, что позволяет объединить их в одну группу.

Врожденная лобарная эмфизема. Врожденная лобарная эмфизема (ВЛЭ) — это аномалия развития легких, которая возникает на фоне бронхиальной обструкции клапанного типа и приводит к перерастяжению ткани легких без ее деструкции. К непроходимости могут приводить как дефекты хряща в стенке бронха, так и воздействие на него извне (например, бронхогенной кистой или аномально расположенным сосудом) [29]. Частота встречаемости составляет 1 случай на 20 000–30 000 живорождений [30]. ВЛЭ редко локализуется более чем в одной доле легкого, чаще — на уровне задневерхушечного сегмента верхней доли слева (S1+S2), далее по частоте встречаемости идут верхняя, средняя и нижняя доли правого легкого [31]. Характерным признаком ВЛЭ

Бронхогенные кисты. Бронхогенные кисты это жидкостные образования, выстланные бронхиальным эпителием, возникающие на фоне нарушений формирования трахеобронхиального дерева. Частота встречаемости достигает 20-30% от всех бронхолегочных мальформаций [34]. Большинство кист возникают на уровне средостения, около 15-20% случаев — в паренхиме легкого, чаще на уровне нижних долей [35]. Реже бронхогенные кисты встречаются на уровне шеи или субдиафрагмально. Описана локализация в твердой мозговой оболочке позвоночного канала [35]. Типичным признаком бронхогенной кисты является анэхогенное однокамерное образование с гиперинтенсивным сигналом на Т2-ВИ. Дифференциальный диагноз включает макрокистозную форму КАМЛ. Кровоснабжение бронхогенных кист осуществляется из системы легочной артерии, что отличает их от секвестрации, получающей кровь из магистральных сосудов.

Алгоритм диагностики. В зависимости от структуры образования все бронхолегочные мальформации могут быть разделены на однородные и гетерогенные. В свою очередь однородные включают образования с наличием питающего сосуда и без него. Аномалии легочной ткани, имеющие аберрантное системное кро-





**Fig. 14.** Gestational age 20 weeks, T2-weighted images in axial (*a*), coronal ( $\delta$ ) and sagittal (*b*) planes. Congenital lobar emphysema: *a*,  $\delta$  — enlarged upper lobe of the left lung with an increased MR-signal (white arrows) with mediastinum shift to the right (arrow heads); *b* — intact lung architecture with enlarged vessels of the pulmonary hilus (arrowheads). Compressed lower lobe of the left lung (white arrows)



Рис. 15. Беременность 20 нед, Т2-взвешенные изображения во фронтальной, сагиттальной и аксиальной плоскостях.
 Увеличенное в размерах левое легкое с повышенным MP-сигналом, со смещением средостения вправо. Интактная архитектоника легких. Пренатально по данным MPT был выставлен диагноз ВЛЭ. По данным УЗИ — полный регресс образования в течение беременности. Постнатально по данным гистологического заключения — КАПРЛ
 Fig. 15. Gestational age 20 weeks, T2-weighted images in frontal, sagittal and axial planes. Enlarged left lung with increased MR-signal, with mediastinum shift to the right. Intact lung architecture. Based on prenatal MRI data, a diagnosis of CLO was made. According to ultrasound, complete regression of the formation during pregnancy. Postnatally, according to the histological report — CALM

воснабжения относят к легочной секвестрации. Если питающего сосуда не выявлено, порок развития можно далее классифицировать по наличию деформации сосудистого рисунка. Гиперинтенсивный участок легкого, расположенный дистальнее увеличенного бронха с неизмененной сосудистой архитектоникой будет в большей степени соответствовать врожденной лобарной эмфиземе. Гомогенное образование с деформацией сосудистого рисунка чаще представляет собой КАМЛ III типа [36, 37]. Гетерогенные образования, имеющие питающий сосуд, относят к гибридным формам (КАМЛ и секвестр). При отсутствии аберрантного

кровоснабжения дифференциальный поиск включает в себя анализ размеров, количества и локализации кист; в ситуациях однокамерного периферического внутрилегочного образования более вероятен диагноз бронхогенной кисты. Если наблюдается множество кист, в зависимости от их размера предполагается легких. Фетальная МРТ используется для уточнения характера и протяженности изменений, более детальной оценки смежных органов, а также определения сочетанных пороков развития.

Всестороннее понимание особенностей лучевой семиотики пороков развития легочной системы



Рис. 16. Алгоритм диагностического поиска врожденных пороков легких Fig. 16. Algorithm for diagnostic search in congenital lung defects

наличие КАМЛ соответствующего типа (I, II или IV) (рис. 16).

Заключение. УЗИ относится к основным методам диагностики врожденных аномалий развития и основных признаков указанных аномалий является основополагающим критерием пренатального консультирования, а также пери- и постнатального ведения данной категории пациентов.

#### Сведения об авторах:

- Сыркашев Егор Михайлович кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; e-mail: e\_syrkashev@oparina4.ru; ORCID 0000–0003–4043–907X;
- Машинец Наталья Валерьевна кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник 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; 117997, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; e-mail: natashamashinets@yandex.ru; ORCID 0009–0026–2999;
- Дорофеева Юлия Игоревна кандидат медицинских наук, заведующий по клинической работе отделения хирургии новорожденных федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; e-mail: e\_dorofeeva@oparina4.ru; ORCID 0000–0003–2822–0462;
- Подуровская Юлия Леонидовна кандидат медицинских наук, заведующий отделением хирургии новорожденных федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; e-mail: y\_podurovskaya@oparina4.ru; ORCID 0000–0002–9928–6234;
- Гус Александр Иосифович доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики медицинского института факультета непрерывного медицинского образования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН); 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; главный научный сотрудник отделения ультразвуковой и функциональной диагностики отдела визуальной диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Академика Опарина, д. 4; e-mail: a\_gus@oparina4.ru; ORCID 0000–0003–1377–3128.

#### Information about authors:

- *Egor M. Syrkashev* Cand. of Sci. (Med.), Researcher of the Radiology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation; Russia, 117997, Moscow, Oparin str., 4; e-mail: e\_syrkashev@oparina4.ru; ORCID 0000–0003–4043–907X;
- Natalia V. Mashinets Cand. of Sci. (Med.), senior staff scientist of ultrasonic and functional diagnostics, Imaging department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation; Russia, 117997, Moscow, Oparin str., 4; e-mail: natashamashinets@yandex.ru; ORCID 0009–00226–2999;
- Yulia I. Dorofeeva Cand. of Sci. (Med.), head of clinical work, Neonatal surgery, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I.Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation; Russia, 117997, Moscow, Oparin str., 4; e-mail: e\_dorofeeva@oparina4.ru; ORCID 0000–0003–2822–0462;
- Yulia L. Podurovskaya Cand. of Sci. (Med.), Head of the neonatal surgery department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation; Russia, 117997, Moscow, Oparin str., 4; e-mail: y\_podurovskaya@oparina4.ru; ORCID 0000–0002–9928–6234;

Alexander I. Gus — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of ultrasound department of RUDN university, Chief Researcher of the Department of ultrasonic and functional diagnostics, Imaging department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation; Russia, 117997, Moscow, Oparin str., 4; e-mail: a\_gus@oparina4.ru; ORCID 0000–0003–1377–3128.

- 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.И.Гус*; сбор и анализ данных — *Е.М.Сыркашев, Н.В.Машинец, Е.И.Дорофеева, Ю.Л.Подуровская*; подготовка рукописи — *Е.М.Сыркашев, Н.В.Машинец.*
- Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: AIG aided in the concept and plan of the study; EMS, NVM, EID, YLP provided collection and analysis of data; EMS, NVM preparation of the manuscript.

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. **Adherence to ethical standards.** The approval of the ethics committee was not required.

> Поступила/Received: 06.02.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Farrugia M.K., Raza S.A., Gould S., Lakhoo K. Congenital lung lesions: classification and concordance of radiological appearance and surgical pathology // Pediatr. Surg. Int. 2008. Vol. 24, No. 9. P. 987–991. doi: 10.1007/s00383-008-2201-1.
- 2. Schittny J.C. Development of the lung // Cell Tissue Res. 2017. Mar; Vol. 367, No. 3. P. 427-444. doi: 10.1007/s00441-016-2545-0.
- Bulas D., Egloff A.M. Fetal chest ultrasound and magnetic resonance imaging: recent advances and current clinical applications // Radiol. Clin. North Am. Vol. 49, No. 5. P. 805–823, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.rcl.2011.06.005.
- Moshiri M., Mannelli L., Richardson M.L., Bhargava P., Dubinsky T.J. Fetal lung maturity assessment with MRI fetal lung-to-liver signal-intensity ratio // AJR.Am.J. Roentgenol. 2013. Vol. 201, No. 6. P. 1386–1390. doi: 10.2214/AJR.12.9679.
- Oka Y., Rahman M., Sasakura Ch., Waseda T., Watanabe Y., Fujii R., Makinoda S. Prenatal diagnosis of fetal respiratory function: Evaluation of fetal lung maturity using lung-to-liver signal intensity ratio at magnetic resonance imaging // Prenat. Diagn. 2014. Vol. 34, No. 13. P. 1289–1294, doi: 10.1002/pd.4469.
- Ogawa R., Kido T., Nakamura M., Kido T., Mochizuki T., Sugiyama T. Magnetic resonance assessment of fetal lung maturity: comparison between signal intensity and volume measurement // Jpn. J. Radiol. 2018. Vol. Jul; Vol. 36, No. 7. P. 444–449. doi: 10.1007/s11604-018-0745-0.
- 7. Langston C. New concepts in the pathology of congenital lung malformations // Semin. Pediatr. Surg. 2003. Vol. 12, No. 1. P. 17–37. doi: https://doi.org/10.1016/S1055-8586(03)70004-3.
- Stocker J.T., Madewell J.E., Drake R.M. Congenital cystic adenomatoid malformation of the lung. Classification and morphologic spectrum // Hum. Pathol. Vol. 8, No. 2. P. 155–171, Mar. 1977, doi: 10.1016/s0046-8177(77)80078-6.
- 9. Stocker J.T. Cystic lung disease in infants and children // Fetal Pediatr. Pathol. 2009. Vol. 28, No. 4. P. 155-184. doi: 10.1080/15513810902984095.
- Annunziata F., Bush A., Borgia F. et al. Congenital lung malformations: Unresolved issues and unanswered questions // Front. Pediatr. 2019. Vol. 7, No. Jun. P. 1– 10. doi: 10.3389/fped.2019.00239.
- Adzick N.S., Harrison M.R., Crombleholme T.M., Flake A.W., Howell L.J. Fetal lung lesions: management and outcome // Am.J. Obstet. Gynecol. 1998. Vol. 179, No. 4. P. 884–889. doi: 10.1016/s0002-9378(98)70183-8.
- Victoria T., Srinivasan A.S., Pogoriler J.et al. The rare solid fetal lung lesion with T2-hypointense components: prenatal imaging findings with postnatal pathological correlation // Pediatr. Radiol. 2018. Vol. 48, No. 11. P. 1556–1566. doi: 10.1007/s00247-018-4174-0.
- 13. Laje P., Liechty K.W. Postnatal management and outcome of prenatally diagnosed lung lesions // Prenat. Diagn. Vol. 28, No. 7. P. 612–618, Jul. 2008, doi: 10.1002/pd.1966.
- Gallardo M.A., Álvarez de la Rosa M.R., De Luis J.F.E, Mendoza L.R, Padilla A.I.P., Troyano J.L. Antenatal ultrasound diagnosis and neonatal results of the congenital cystic adenomatoid malformation of the lung // Rev. Chil. Pediatr. Vol. 89, No. 2. P. 224–230, Apr. 2018, doi: 10.4067/S0370-41062018000200224.
- Walker L., Cohen K., Rankin J., Crabbe D. Outcome of prenatally diagnosed congenital lung anomalies in the North of England: a review of 228 cases to aid in prenatal counselling // Prenat. Diagn. 2017. Vol. 37, No. 10. P. 1001–1007. doi: https://doi.org/10.1002/pd.5134.
- Rodríguez M.R., de Vega V.M., Alonso R.C., Arranz J.C., Ten P.M., Pedregosa J. P., MR imaging of thoracic abnormalities in the fetus // Radiographics. 2012. Vol. 32, No. 7. doi: 10.1148/rg.327125053.
- 17. Kunisaki S.M., Ehrenberg-Buchner S., Dillman J.R., Smith E.A., Mychaliska G. B., Treadwell M.C. Vanishing fetal lung malformations: Prenatal sonographic characteristics and postnatal outcomes // J. Pediatr. Surg. 2015. Vol. 50, No. 6. P. 978–982. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2015.03.025.
- Liu Y.P., Chen C.P., Shih S.L., Chen Y.F., Yang F.S., Chen S.C. Fetal cystic lung lesions: evaluation with magnetic resonance imaging // *Pediatr. Pulmonol.* 2010.
   Vol. 45, No. 6. P. 592–600. doi: 10.1002/ppul.21226.
- Kadyrberdieva K., Shmakov R.G., Bokeria B. Nonimmune hydrops fetalis: modern principles of diagnosis and treatment // Akush. Ginekol. (Sofiia). 2019. Vol. 10. P. 28–34. doi: 10.18565/aig.2019.10.28-34.

- 20. Vu L., Tsao K., Lee H. et al. Characteristics of congenital cystic adenomatoid malformations associated with nonimmune hydrops and outcome // J. Pediatr. Surg. 2007. Vol. 42, No. 8. P. 1351–1356. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2007.03.039.
- Kumar M., Jha V., Singh A. Nonimmune Hydrops Fetalis: Factors Which Predict Outcome // J. Obstet. Gynaecol. India. 2018. Vol. 68, No. 3. P. 197–203. doi: 10.1007/s13224-017-1011-6.
- Newman B. Congenital bronchopulmonary foregut malformations: Concepts and controversies // Pediatr. Radiol. 2006. Vol. 36, No. 8. P. 773–791. doi: 10.1007/s00247-006-0115-4.
- Gabelloni M., Faggioni L., Accogli S., Aringhieri G., Neri E. Pulmonary sequestration: What the radiologist should know // Clin. Imaging. 2021. Vol. 73. P. 61–72. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.11.040.
- Oliver E.R., DeBari S.E., Giannone M.M. et al. Going With the Flow: An Aid in Detecting and Differentiating Bronchopulmonary Sequestrations and Hybrid Lesions // J. Ultrasound Med. Off. J. Am. Inst. Ultrasound Med. 2018. Vol. 37, No. 2. P. 371–383. doi: 10.1002/jum.14346.
- Johnson A.M., Hubbard A.M. Congenital anomalies of the fetal/neonatal chest // Semin. Roentgenol. 2004. Vol. 39, No. 2. P. 197–214. doi: 10.1053/j.ro.2003.12.006.
- Meier A.H., Eggli K.D., Cilley R.E. Intradiaphragmatic extralobar sequestration-a rare pulmonary anomaly // J. Pediatr. Surg. 2009. Vol. 44, No. 12. P. e27–29. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2009.09.026.
- Di Prima F.A.F., Bellia A., Inclimona G., Grasso F., Teresa M., Cassaro M.N., Antenatally diagnosed congenital cystic adenomatoid malformations (CCAM): Research Review // J. Prenat. Med. 2012. Vol. 6, No. 2. P. 22–30.
- Cavoretto P., Molina F., Poggi S., Davenport M., Nicolaides K. H. Prenatal diagnosis and outcome of echogenic fetal lung lesions // Ultrasound Obstet. Gynecol. Off. J. Int. Soc. Ultrasound Obstet. Gynecol. 2008. Vol. 32, No. 6. P. 769–783. doi: 10.1002/uog.6218.
- 29. Langston C. New concepts in the pathology of congenital lung malformations // Semin. Pediatr. Surg. 2003. Vol. 12, No. 1. P. 17-37. doi: 10.1016/S1055-8586(03)70004-3.
- Oliver E.R., DeBari S.E., Horii S.C. et al. Congenital Lobar Overinflation: A Rare Enigmatic Lung Lesion on Prenatal Ultrasound and Magnetic Resonance Imaging // J. ultrasound Med. Off. J. Am. Inst. Ultrasound Med. 2019. Vol. 38, No. 5. P. 1229–1239. doi: 10.1002/jum.14801.
- Mani H., Suarez E., Stocker J.T. The morphologic spectrum of infantile lobar emphysema: a study of 33 case // Paediatr. Respir. Rev. 2004. Vol. 5, P. S313–20. doi: 10.1016/s1526-0542(04)90056-5.
- Johnston J.H., Kline-Fath B.M., Bitters C., Calvo-Garcia M.A., Lim F.Y.Y. Congenital overinflation: Prenatal MRI and US findings and outcomes // Prenat. Diagn. 2016. Vol. 36, No. 6. P. 568–575. doi: 10.1002/pd.4827.
- 33. Tsai P.S., Chen C.P., Lin D.C., Liu Y.P. Prenatal diagnosis of congenital lobar fluid overload // Taiwan. J. Obstet. Gynecol. 2017. Vol. 56, No. 4. P. 425–431. doi: https://doi.org/10.1016/j.tjog.2017.05.001.
- 34. Parikh D., Samuel M. Congenital cystic lung lesions: is surgical resection essential? // Pediatr. Pulmonol. 2005. Vol. 40, No. 6. P. 533–537. doi: 10.1002/ppul.20300.
- 35. Sarper A., Ayten A., Golbasi I., Demircan A., Isin E. Bronchogenic cyst // Texas Hear. Inst. J. 2003. Vol. 30, No. 2. P. 105–108.
- Levine D., Barnewolt C.E., Mehta T.S., Trop I., Estroff J., Wong G. Fetal thoracic abnormalities: MR imaging // Radiology. 2003. Vol. 228, No. 2. P. 379–388. doi: 10.1148/radiol.2282020604.
- Pacharn P. et al. Congenital lung lesions: Prenatal MRI and postnatal findings // Pediatr. Radiol. 2013. Vol. 43, No. 9. P. 1136–1143. doi: 10.1007/s00247-013-2668-3.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2025 года. Подписной индекс: «Урал Пресс» (Пресса России) **014023**  УДК 616.65-006.6-071.4-074-073.48-073.756.8(045) http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-19-31

## МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ВСЕГО ТЕЛА В ДИАГНОСТИКЕ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ МЕТАСТАТИЧЕСКОГО РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: СТАНДАРТЫ СИСТЕМЫ MET-RADS-P

<sup>1</sup>Т. П. Березовская<sup>®</sup>, <sup>1</sup>В. О. Рипп<sup>®</sup>, <sup>1</sup>А. В. Троянов<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>С. А. Иванов<sup>®</sup>, <sup>2,3,4</sup>А. Д. Каприн<sup>®</sup>

<sup>1</sup>Медицинский радиологический научный центр имени А. Ф. Цыба — филиал Национального медицинского

исследовательского центра радиологии, г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

<sup>3</sup>Национальный медицинский исследовательский центр радиологии, Обнинск, Россия

<sup>4</sup>Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П.А. Герцена — филиал Национального

медицинского исследовательского центра радиологии, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Магнитно-резонансная томография всего тела (MPT BT), включающая диффузионно-взвешенное изображения (ДВИ), все шире используется в клинической практике. Для метастатического рака предстательной железы была предложена система радиологической отчетности и данных Met-RADS-P (METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer), предназначенная для определения распространенности метастатического процесса и последующей оценки ответа на специфическое лечение на основе данных MPT BT.

**ЦЕЛЬ:** Представить обзор методических аспектов MPT BT у пациентов с метастатическим раком предстательной железы применительно к системе Met-RADS-P, изложить ее терминологию и принципы оценки результатов исследования, а также обсудить возможности ее клинического использования.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Проведен обзор публикаций за период с 1 января 2017 по 1 декабря 2023 г., на русском и английском языках, отобранных в электронных базах данных eLibrary, Medline, PubMed, по ключевым словам: «магнитнорезонансная томография всего тела», «диффузионно-взвешенная томография всего тела», «метастатический рак предстательной железы», «Met-RADS-P », «Whole Body MRI, WB MRI», «Whole Body DWI, WB DWI», «metastatic prostate cancer», дополненный изучением ссылок в найденных по этим ключевым словам статьях.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** На основании данных литературы и собственного опыта описаны протоколы МРТ ВТ у пациентов с метастатическим раком предстательной железы, алгоритм анализа МР изображений, критерии оценки ответа метастатических очагов в скелете, лимфатических узлах и внутренних органах, и категории ответа на проводимое лечения по шкале RAC (англ. response assessment categories), а также приведены результаты и обсуждены перспективы клинического использования Met-RADS-P. **ОБСУЖДЕНИЕ:** Имеющиеся в литературе немногочисленные публикации с использованием системы Met-RADS-P касаются, в первую очередь, оценки ее надежности (межэкспертного согласия). Авторы приходят к выводу о целесообразности ее использования в мониторинге метастазов у пациентов с кастрат-резистентным раком предстательной железы, подчеркивая клиническую важность выявления дискордантного (смешанного) ответа после терапии. Отмечаются также препятствия к широкому внедрению в клиническую практику MPT BT, включающие длительность процедуры исследования и большой объем диагностических данных, требующий значительного времени для анализа и составления отчета, преодолению которых будет способствовать автоматизация оценки MP-изображений с использованием искусственного интеллекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Система Met-RADS-P систематизирует подход к выполнению и описанию MPT BT у пациентов с кастрационно-резистентным раком предстательной железы, позволяя воспроизвести методику практически на любом современном MP-томографе, начиная с составления протокола сканирования, заканчивая стандартизированным отчетом о результатах исследования. Это делает метод MPT BT воспроизводимым в различных медицинских учреждениях, а следовательно, повышает его ценность. Тем не менее Met-RADS-P относительно новая система и нуждается в крупных многоцентровых клинических исследованиях для подтверждения ее эффективности и репрезентативности, а также нивелирования недостатков.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** магнитно-резонансная томография всего тела, диффузионно-взвешенная томография всего тела, метастатический рак предстательной железы, Met-RADS-P

\* Для корреспонденции: Березовская Татьяна Павловна, e-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

Для цитирования: Березовская Т.П., Рипп В.О., Троянов А.В., Иванов С.А., Каприн А.Д. Магнитно-резонансная томография всего тела в диагностике и оценке эффективности лечения метастатического рака предстательной железы: стандарты системы MET-RADS-P // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 19–31, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-19-31.

### WHOLE BODY MAGNETIC RESONANCE IMAGING (WB MRI) IN THE DIAGNOSIS AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT OF METASTATIC PROSTATE CANCER: MET-RADS-P SYSTEM STANDARDS

<sup>1</sup>Tatiana P. Berezovskaya<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Vladislav O. Ripp<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Aleksey V. Troyanov<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>Sergey A. Ivanov<sup>®</sup>, <sup>2,3,4</sup>Andrey D. Kaprin<sup>®</sup>

<sup>1</sup>A. Tsyb Medical Radiological Research Centre — branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russia <sup>2</sup>Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

<sup>3</sup>National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian FederationObninsk, Russia <sup>4</sup>P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute — branch of the National Medical Research Radiological Centre Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** Whole-body magnetic resonance imaging (WB MRI) including diffusion-weighted imaging (DWI) is increasingly used in clinical practice. For metastatic prostate cancer, the radiologic reporting and data system Met-RADS-P (METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer) has been proposed to determine the prevalence of the metastatic process and subsequently evaluate the response to specific treatment based on WB MRI data.

**OBJECTIVE:** To present an overview of the methodological aspects of WB MRI in patients with metastatic prostate cancer in relation to the Met-RADS-P system, to outline its terminology and principles for assessing study results, and to discuss the possibilities of its clinical use.

**MATERIALS AND METHODS:** A search was conducted for publications for the period from January 1, 2017 to December 1, 2023 in Russian and English in the electronic databases eLibrary, Medline, PubMed, using the keywords: «диффузионно-взвешенная томография всего тела», «метастатический рак предстательной железы», «Met-RADS-P», «Whole Body MRI, WB MRI», «Whole Body DWI, WB DWI», «metastatic prostate cancer», supplemented by examination of references in the retrieved articles. **RESULTS:** Based on the literature data and our own experience, WB MRI protocols in patients with metastatic prostate cancer are described, the algorithm of MR image analysis, the criteria for evaluating the response of metastatic foci in the skeleton, lymph nodes, and internal organs, and the response assessment categories according to the RAC (response assessment categories) scale, as well as summarize the results and discuss the prospects for the clinical use of Met-RADS-P.

**DISCUSSION:** The few publications in the literature using the Met-RADS-P system primarily concern the assessment of its reliability (inter-reader agreement). The authors conclude that it is appropriate to use it in monitoring metastases in patients with castration-resistant prostate cancer, emphasizing the clinical importance of identifying discordant responses after therapy. They also note the obstacles to the widespread introduction of WB MRI imaging into clinical practice, including the duration of the examination procedure and the large volume of diagnostic data that requires significant time for analysis and reporting, which can be overcome by automating the assessment of MR images using artificial intelligence.

**CONCLUSION:** The Met-RADS-P system systematizes the approach to performing and describing WB MRI in patients with advanced prostate cancer, allowing the technique to be reproduced on virtually any modern scanner, from the scan protocol to a standardized report of findings. This makes the WB MRI technique reproducible in a variety of medical settings, and therefore increases its value. Nevertheless, Met-RADS-P is a relatively new system and requires large multicenter clinical trials to confirm its efficacy and representativeness, as well as to level out its shortcomings.

**KEYWORDS:** whole-body magnetic resonance imaging, diffusion-weighted whole-body imaging, metastatic prostate cancer, Met-RADS-P

#### \* For correspondence: Tatiana P. Berezovskaya, e-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

**For citation:** Berezovskaya T.P., Ripp V.O., Troyanov A.V., Ivanov S.A., Kaprin A.D. Whole body magnetic resonance imaging (WB MRI) in the diagnosis and evaluation of the effectiveness of treatment of metastatic prostate cancer: MET-RADS-P system standards // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 19–31, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-19-31.

**Введение.** Возможности клинического использования магнитно-резонансной томографии всего тела (МРТ ВТ) были расширены в результате добавления к анатомическим последовательностям диффузионновзвешенного изображения (ДВИ). На первом консенсусном совещании экспертов в 2009 г. были обоб-

щены доказательства высокой диагностической эффективности ДВИ при обнаружении, характеристике и мониторинге терапии многих локализаций рака [1], в связи с чем ДВИ заняло центральное место в МРТ ВТ. Современные международные рекомендации включают МРТ ВТ в обследование пациентов с множественной миеломой, раком предстательной железы, меланомой и лиц с наследственными синдромами предрасположенности к раку [2–5].

Стремление к стандартизации терминологии в протоколах диагностических исследований привело к появлению систем радиологической отчетности и данных - RADS (англ. Reporting and Data System), содержащих рекомендации по составлению диагностических описаний и заключений на основе единой терминологии с оценкой вероятности наличия заболевания. Предложенная в 2017 г. Padhani и соавт. для метастатического рака предстательной железы система Met-RADS-P (англ. METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer) [5], предназначена не только для определения распространенности метастатического процесса, но и для последующей оценки ответа на лечение на основе данных контрольной MPT BT. Эта система оценки пока не получила широкого распространения в мировой практике и мало известна в нашей стране.

Цель. Представить обзор методических аспектов МРТ ВТ у пациентов с метастатическим раком предстательной железы применительно к системе Met-RADS-P, изложить ее терминологию и принципы оценки результатов исследования, а также обсудить возможности ее клинического использования.

DWI, WB DWI», «metastatic prostate cancer», дополненный изучением ссылок в найденных статьях.

Результаты. Оборудование и процедура исследования. МРТ ВТ с ДВИ можно проводить как на 1,5 Тл, так и на 3 Тл сканерах. 3Тл-сканеры имеют преимущество в скорости исследования и пространственном разрешении, однако сканирование при 1,5Тл может быть предпочтительнее при наличии у пациентов несъемных металлических протезов, и снижает риск артефактов для метода Диксона [2].

Для получения изображения всего тела необходимо использовать несколько приемных катушек, чтобы обеспечить высокое отношение сигнал/шум (SNR) во всех анатомических областях. Обычно пациент располагается в катушке для головы и шеи, кроме того, используют катушки для позвоночника и две катушки для тела, чтобы охватить грудную клетку, живот и таз до середины бедра [6]. Чтобы избежать потери времени на замену катушек, все они должны быть установлены и подключены до начала процедуры сканирования. Перед началом исследования важно предупредить пациента о перемещении стола в процессе исследования и убедиться, что он чувствует себя комфортно и способен оставаться неподвижным на протяжении всего обследования. Подготовка к исследованию должна

Таблица 1 Стандартный и расширенный протоколы сканирования для МРТ ВТ на основе рекомендаций Met-RADS-P

Table 1

	01				
	Импульсная	Плоскость	Толщина	Протокол	
Область исследования	последовательность	сканирования	среза, мм	стандартный	расширенный
Весь позвоночник	T1 TSE	Сагиттальная	4-5	Да	_
	STIR	Сагиттальная		Да	-
Все тело (от макушки до се-	Т1-ВИ Dixon с обяза-	Коронарная	2	Одна плоскость	Две плоскости
редины бедра)	тельной реконструкци- ей изображения «fat only»	Аксиальная, совпадающая с ДВИ	5		
	ДВИ с МІР-реконструк- цией + ИКД карта	Аксиальная	5-7	2 b–фактора (50–100 и 800–1000 с/мм <sup>2</sup> )	3 b–фактора (доп. значение 500–600 с/мм <sup>2</sup> )
	Т2-ВИ, TSE	Аксиальная, совпадающая с ДВИ	5	+	+
Отдельная область с неболь- шим FOV (для предстатель- ной железы, отдела позво- ночника, головного мозга, контрастирование)				_	+

Standard and extended scanning	protocols for WR MRI based on Met-RAUN-P recommendations	
Standard and CARCINGCO Scanning	DIO(O(O)) = I = I = I = I = I = I = I = I = I =	

**Материалы и методы.** Проведен поиск публикаций за период с 1 января 2017 по 1 декабря 2023 г. на русском и английском языках в электронных базах данных eLibrary, Medline, PubMed, по ключевым словам: «магнитно-резонансная томография всего тела», «диффузионно взвешенная томография всего тела», «метастатический рак предстательной железы», «Met-RADS-P», «Whole Body MRI, WB MRI», «Whole Body включать предоставление точной информации о длительности процедуры, переодевание пациента в одноразовый халат, чтобы избежать скрытых металлических предметов, а также опорожнение мочевого пузыря перед исследованием.

**Протокол МРТ ВТ.** Было предложено два варианта протокола, каждый из которых включает морфологические Т1-ВИ и Т2-ВИ, а также ДВИ (табл. 1). Стандартный протокол рекомендуется для поиска отдаленных метастазов при первичном стадировании, биохимическом рецидиве на фоне проводимой терапии, у пациентов с кастрационно-резистентным раком предстательной железы (КРРПЖ).

Расширенный протокол сканирования показан для оценки ответа на системное лечение или при наличии конкретных зон повышенного интереса. Длительность расширенного протокола сканирования увеличивается за счет дополнительной плоскости для получения изображения всего тела (например, коронарная + аксиальная) для T1-BИ Dixon или T2-BИ, и получения ДВИ на основе трех b-факторов. Кроме того, расширенный протокол предполагает детальную оценку определенного региона (предстательной железы, головного мозга или позвоночника) с малым полем обзора и контрастированием.

Сагиттальные изображения позвоночника в режимах T1 и STIR (англ. Short tau inversion recovery) предназначены для обнаружения метастазов в позвонках, переломов и компрессии спинного мозга [3, 5].

Для получения T1-BИ всего тела оптимальным считается метод Диксона в импульсной последовательности (ИП) градиентного эха (GRE) [7], позволяющий разделять сигналы от протонов воды и жира и получать синфазные и противофазные изображения, а также изображения с сигналом только воды или только жира. Это дает возможность рассчитать относительное содержание жира — FF% (англ. fat fraction) и получить карты FF%, помогающие в обнаружении метастазов в кости, дифференциальной диагностике их с доброкачественными очагами при первичном исследовании, а также для оценки их реакции на терапию [8, 9].

Если отсутствует возможность использовать метод Диксона, возможна его замена комбинацией T1-ВИ и STIR (рис. 1). Однако метод Диксона имеет ряд преимуществ: более высокую контрастность очагов; значительно меньшее время сканирования; однородное подавление жира; уменьшение артефактов магнитной восприимчивости; возможность использования при внутривенном контрастировании; количественную оценку фракции жира [10–12].

Получение Т2-ВИ без подавления жира полезно для выявления висцеральных поражений.

Все анатомические последовательности на уровне грудной клетки и брюшной полости проводят на задержке дыхания.

ДВИ ВТ предпочтительнее получать с помощью методики диффузионно-взвешенной визуализации с подавлением сигнала от фоновых тканей (DWIBS, англ. diffusion weighted imaging with background suppression), которая не требует задержки дыхания пациента, и позволяет увеличить контрастность очагов за счет подавления сигнала от жира [13–15]. Сканирование проводят в аксиальной плоскости, в которой менее выражены артефакты, используя то же поле зрения (FOV), количество и толщину срезов, что и для T2-BИ, чтобы обеспечить оптимальное сравнение изображений. На основе ДВИ с высоким b-фактором всех анатомических областей, реконструированных методом проекции максимальной интенсивности (MIP, англ. maximum intensity projection), получают 3D-изображение, вращающееся вокруг краниокаудальной оси. Это позволяет визуально определить участки ограничения диффузии на ДВИ ВТ, отображающиеся в инвертированной шкале серого для аналогии с ПЭТ (рис. 1).

Длительность выполнения стандартного протокола на томографе ЗТл составляет 35–45 минут. При выполнении модифицированного стандартного протокола на МР-томографе 1.5 Тл с заменой Т1-ВИ Dixon на T1-ВИ SE + STIR в коронарной плоскости время исследования у нас составило 70 мин.

#### Клинические данные

Клиническая информация о пациенте, необходимая для анализа изображений, включает:

— гистологическое строение опухоли и сумму баллов по Глисону, которые прямо коррелируют с визуализацией опухоли на ДВИ и значением ИКД. Так, например, при сумме баллов Глисон 6 как для первичной опухоли, так и для редких в данном случае отдаленных метастазов характерно слабо выраженное повышение интенсивности сигнала на ДВИ и достаточно высокие значения ИКД. Наоборот, для низкодифференцированных или достаточно крупных опухолей с высокой суммой баллов по Глисону характерна высокая интенсивность сигнала на ДВИ и низкие значения ИКД [16, 17];

— уровень ПСА, время удвоения ПСА, наличие КРРПЖ, так как они коррелируют с вероятностью отдаленного метастазирования;

— ранее проводимое лечение, поскольку MPхарактеристики первичного очага в предстательной железе и очагов вторичного поражения значительно изменяются на фоне проводимой терапии; кроме того, может меняться характеристика окружающих тканей, например, на фоне химиотерапии с использованием стероидов, препаратов железа или колониестимулирующих факторов у пациентов может меняться содержание жира, железа и клеточность в костном мозге.

**Алгоритм анализа МРТ всего тела.** Большой объем информации, получаемой при МРТ ВТ, делает ее оценку сложной и трудоемкой задачей, для решения которой необходимо придерживаться определенного алгоритма.

Анализ МРТ ВТ как при первичном, так и при повторном исследовании, целесообразно начинать с МІР реконструкции ДВИ с высоким b-фактором, формирующей общее впечатление о распространенности метастатического процесса и локализации патологических очагов. Эти очаги требуют последующего детального изучения для исключения доброкачественных изменений, к которым относятся переломы, остеоартрит, инфекционные очаги,



**Рис. 1.** Стандартный протокол сканирования пациента с КРРПЖ в соответствии с рекомендациями Met-RADS-P: *a*, *б* — томограммы всего позвоночника в ИП STIR (сагиттальная плоскость), аналогичные изображения в режиме T1-ВИ не представлены; *в* — ДВИ с b-фактом 800 с/мм<sup>2</sup> в аксиальной плоскости; *е* — карта ИКД; *д* — инвертиро-

ванная МІР-реконструкция ДВИ всего тела с b-фактом 800 с/мм<sup>2</sup> в двух проекциях; *е* — реконструкция T1-ВИ всего тела в коронарной плоскости; *ж* — реконструкция изображения всего тела в ИП STIR в коронарной плоскости; *з* — T2-ВИ в аксиальной плоскости на двух уровнях

**Fig. 1.** Standard scan protocol for a patient with metastatic prostate cancer according to Met-RADS-P guidelines:  $a, \delta$  – tomograms of the entire spine in STIR (sagittal plane), similar images in T1WI are not presented; a – DWI with b-value 800 s/mm<sup>2</sup> in the axial plane; a – ADC map; d – inverted MIP reconstruction of DWI of the whole body with a b-value of 800 s/mm<sup>2</sup> in two projections; e – econstruction T1WI of the whole body in the coronal plane;  $\pi$  – reconstruction of the whole body in STIR in the coronal plane; a – T2WI in the axial plane at two levels

остеонекроз, гемангиомы и изолированные гемопоэтические островки [18, 19].

Дальнейший анализ МРТ ВТ проводится по отдельным анатомическим областям, начиная с очагов в костях. Для того, чтобы избежать ложноположительных результатов, каждый подозрительный очаг оценивают на рабочей станции, сопоставляя ДВИ, карту ИКД и анатомические ИП (T1 Dixon/(T1 SE+ STIR) и T2). Оценка ДВИ со значением b 800–1000 основана на сравнении интенсивности сигнала патологического очага с интенсивностью сигнала соседних мышц, а оценка карт ИКД является количественной. Значения ИКД неизмененного костного мозга обычно ниже 0,6–0,7×10<sup>-3</sup> мм<sup>2</sup>/с; жизнеспособная опухоль находится в диапазоне от  $0,7 \times 10^{-3}$  мм<sup>2</sup>/с до  $1,4 \times 10^{-3}$  мм<sup>2</sup>/с; значения ИКД в метастатических очагах  $\ge 1,4 \times 10^{-3}$  мм<sup>2</sup>/с обычно наблюдаются после лечения и при некрозе. Измерение ИКД проводят в участках с высоким сигналом на ДВИ (b 800–1000 с/мм<sup>2</sup>), однако отсутствие высокого сигнала не исключает возможности измерения ИКД в очагах с высоким сигналом на изображениях с промежуточными значениями b-фактора (b 500–600 с/мм<sup>2</sup>).

На Т1-ВИ Диксон для метастазов характерна инфильтрация костного мозга с выраженным сокращением жирового компонента, которое может быть оценено количественно с помощью карты FF% [12, 20]. На изображениях в режимах T1SE и STIR интенсивность сигнала очагов оценивается только качественно или полуколичественно, путем сравнения с сигналом от скелетных мышц [9, 21].

Распространенность поражения костей оценивается по семи областям скелета: череп; шейный, грудной и поясничный отделы позвоночника; кости таза; кости грудной стенки; конечности.

Оценку лимфатических узлов проводят по трем областям: тазовые; забрюшинные; другие группы лимфатических узлов. Лимфатические узлы хорошо визуализируются на ДВИ, так как они в норме ограничивают диффузию, однако все измерения следует выполнять на Т1-ВИ или Т2-ВИ, начиная с регионарных, заканчивая отдаленными (лимфоузлы средостения, подмышечные, шейные и др.). Возможно изолированное поражение отдаленных лимфатических узлов, как у первичных больных, так и пациентов на фоне терапии, особенно после дистанционной лучевой терапии на область малого таза.

Висцеральное поражение оценивают также по трем областям: печень; легкие; другие органы.

Выявление висцеральных метастазов проводят с помощью ДВИ и карт ИКД, Т2-ВИ, Т1-ВИ. Помимо легких и печени, где наиболее часто встречаются висцеральные метастазы рака предстательной железы, они могут быть обнаружены в головном мозге, надпочечниках, селезенке, поджелудочной железе, молочных железах, почках, мышцах и мягких тканях и, слюнных железах [22].

Таким образом, при первичном МРТ ВТ оценивают распространенность поражения по 14 зонам интереса, включая первичный очаг (предстательную железу) при использовании расширенного протокола, семь областей скелета (череп; шейный; грудной и поясничный отделы позвоночника, кости таза; кости грудной стенки; конечности), три области лимфатических узлов (тазовые; забрюшинные; другие группы) и три области висцерального поражения (печень, легкие, другие органы).

Для Met-RADS-P специфическая визуализация предстательной железы или ее ложа после простатэктомии не является обязательной. При подозрении на наличие персистирующего или рецидивирующего местного заболевания можно выполнить стандартное MPT малого таза. Рутинные исследования головного мозга у пациентов с опухолями, имеющими гистологию аденокарциномы, не требуются. Обследование мозга показано всем пациентам с мелкоклеточными/нейроэндокринными опухолями.

#### Терминология Met-RADS-P.

**Диффузное поражение** — наличие более 10 очагов в какой-либо анатомической области или диффузный характер инфильтрации костного мозга.

Измеряемые очаги для костей и висцерального поражения — очаги более 1,5 см в наибольшем диаметре; для лимфатических узлов — более 1,5 см по короткой оси. Порог в 1,5 см установлен, учитывая относительно низкое пространственное разрешение МРТ всего тела. Висцеральные очаги менее 1,5 см считаются неизмеряемыми. Очаги в предстательной железе оценивается по возможности, в зависимости от пространственного разрешения, и считаются измеряемыми и поддающимися оценке при размерах более 1,5 см, и неизмеряемыми при размерах 1-1,5 см. При дополнительном получении изображений с высоким пространственным разрешением и маленьким FOV патологические очаги с MP-характеристиками ЗНО можно считать измеряемыми при размерах более 1 см. Лимфатические узлы менее 1,5 см и более 1 см считаются патологическими, но неизмеряемыми.

**Целевые очаги** — очаги, выбранные для последующей оценки динамики и характера ответа на лечение. Нецелевые поражения следует фиксировать, но не измерять. Необходимо регистрировать наличие неизмеряемого поражения.

**Выбор и измерение целевых очагов.** Для костей, лимфатических узлов и висцеральных очагов необходимо выбрать до пяти наиболее репрезентативных целевых измеряемых очагов и детально охарактеризовать их.

В костях рекомендовано измерять максимальный размер целевых очагов на Т1-ВИ (при переходе измеряемого очага в диффузную форму необходимо измерить все диффузное поражение от края до края). Желательно, при возможности, чтобы хотя бы один из 5 целевых очагов располагался в добавочном скелете (конечности, кости таза, грудная стенка). Следует выбирать не более 2 очагов на одну анатомическую область, при этом, каждая половина таза учитывается отдельно. Интенсивность сигнала на ДВИ оценивается качественно, количественная оценка ИКД необходима при динамическом наблюдении. При диффузном поражении костей рекомендуется измерять ИКД в двух пораженных костях, например, в одном из нижних поясничных позвонков и задних отделах подвздошных костей (при наличии поражения указанных областей).

При поражении лимфатических узлов и висцеральном поражении в качестве целевых выбирают только измеряемые очаги. Для висцеральных очагов рекомендуется выбирать не более двух на один орган. **Оценка посттерапевтического МРТ ВТ.** Повторное исследование рекомендуется проводить не ранее чем через 12 нед после первичного сканирования. Для пациентов с КРРПЖ без метастатического поражения, с целью раннего выявления отдаленных метастазов, рекомендовано проведение МРТ ВТ с промежутками в 16 нед.

Чтобы свести к минимуму неэффективное лечение, особенно в тех случаях, когда оптимальная продолжительность лечения не известна (в клинических исследованиях), рекомендуется проводить оценку с периодичностью 8–9 нед в течение 6 мес, а затем каждые 12 нед (рекомендации PGWG [23]).

Для пациентов, получающих клинически одобренное лечение, достаточно обследования с интервалом 12 нед, если нет клинических показаний для более раннего повторного обследования, согласно европейским и международным консенсусным соглашениям по мониторингу прогресса распространенного РПЖ [24].

Оценка ответа по системе Met-RADS-P проводится как по анатомическим областям, так и в целом по пациенту при каждом последующем обследовании.

При повторном исследовании оценку ответа на лечение для каждой анатомической области и каждого целевого очага проводят по шкале RAC (англ. response assessment categories), которая включает 5 категорий: RAC 1 — наиболее вероятный ответ на лечение (рис. 2); RAC 2 — вероятный ответ на лечение; RAC 3 — стабилизация; RAC 4 — вероятное прогрессирование; RAC 5 наиболее вероятное прогрессирование (рис. 3).

Данная шкала включает критерии ответа/прогрессирования для очагов в костях, в том числе MPспецифичные, и критерии RECIST 1.1 [25] для лимфатических узлов и висцеральных очагов (табл. 2).

Для каждой анатомической области определяется первичная, вторичная и третичная категории RAC. Первичной категорией считается наиболее частый (доминантный) паттерн в исследуемой области, вторичной категорией — второй по частоте паттерн в регионе (например, при наличии в костях таза 6 метастатических очагов, 4 из которых соответствуют наиболее вероятному ответу (RAC 1), а два — стабилизации (RAC 3), первичная категория RAC для костей таза будет соответствовать 1, а вторичная категория — 3)). Третичная категория ответа присваивается при дискордантном ответе для обозначения прогрессирования, если оно не является ни первичным, ни вторичным паттерном (например, в поясничном отделе позвоночника все 6 ранее определявшихся очагов регрессировали в размерах и соответствуют ответу на лечение или стабилизации, однако отмечается появление одного нового очага, который обозначается как третичная категория).

Важно подчеркнуть, что любое измерение размеров очага для оценки динамики должно сравниваться либо с данными первичного исследования, если размеры очага уменьшаются, либо с надиром на фоне проводимой терапии, если размеры начали увеличиваться.

Статус основного заболевания, лимфатических узлов, внутренних органов и скелета фиксируется отдельно. Общая оценка базируется на региональных оценках.

При оценке общего ответа метастатического поражения скелета используется шкала вероятностных оценок: высокая вероятность ответа; вероятный ответ; стабилизация; вероятное прогрессирование; высокая вероятность прогрессирования; дискордантный ответ.

Общий ответ пораженных лимфатических узлов и висцеральных метастазов на проводимое лечение оценивается категориями, установленными рекомендациями (модификации PCWG RECISTv1.1)[23] как: полный ответ; частичный ответ; стабилизация; прогрессирование и дискордантный ответ.

Если проводится оценка ответа на терапию поражения предстательной железы, рекомендуется использовать критерии RECIST 1.1. Однако изменение размеров очага может не в полной мере характеризовать ответ опухоли.

Дискордантный (смешанный) ответ — соответствует разнонаправленной динамике, при которой имеются признаки прогрессирования отдельных костных или мягкотканных поражений при стабилизации или ответе на лечение со стороны большинства очагов. Дискордантный ответ для костей, лимфатических узлов и висцеральных поражений указывают на основе оценок всех исследуемых анатомических областей. Также важно отметить, является ли прогрессирование вторичным (серьезная степень несоответствия) или третичным паттерном (незначительное несоответствие).

Клиническое применение системы Met-**RADS-P.** Авторы системы Met-RADS-P считают, что она позволяет стратифицировать пациентов в зависимости от локализации метастазов (костные, в лимфатических узлах, висцеральные и местное прогрессирование) в соответствии с рекомендациями Рабочей группы по клиническим исследованиям рака простаты (PCWG) [8]. Met-RADS-Р обеспечивает информацию о клинически значимых целях терапии, контроле опухолевого процесса с документацией прогрессирования существующих поражений и развития новых очагов, документирует отсрочку прогрессирования заболевания, включая время до развития первых метастазов и время до прогрессирования КРРПЖ [23]. Met-RADS-Р также позволяет фиксировать дискордантные ответы, предоставляя возможность для оценки изменения биологии опухоли посредством молекулярной характеристики образцов биопсийной ткани, которые могут быть получены из анатомических участков на основе визуализации неоднородности ответа.

Обсуждение. В литературе пока представлены немногочисленные исследования с использованием



**Рис. 2.** Изображения МРТ всего тела 67-летнего мужчины с метастатическим РПЖ до начала терапии (изображения *a*, *b*, *d*, *ж*) и через 3 мес после начала химиогормонотерапии (изображения *б*, *c*, *e*, *s*). Исходный уровень ПСА до начала терапии — 800 нг/мл, на фоне лечения — 0,7 нг/мл. Отмечается значительный регресс участков с высоким сигналом на MIP-проекции (изображения *a*, *б*). При прицельной оценке на T1-BИ отмечается сокращение размеров очага в левой седалищной кости, а также повышение интенсивности сигнала от него, что может свидетельствовать о появлении интратуморального жира в очаге (изображения *ж*, *s*). На ДВИ отмечается утрата высокого сигнала от указанного очага (изображения *b*, *c*), а также значительное повышение интенсивности сигнала на картах ИКД с 0,75 до  $1,56 \times 10^{-3}$  мм<sup>2</sup>/с (изображения *д*, *e*). Совокупность указанных признаков соответствует категории RAC 1 — наиболее вероятный ответ на лечение для указанного целевого очага. Также отмечается си регрессия ранее увеличенных конгломератов лимфатических узлов (изображения *u*, *k*), что соответствует категории RAC1 — наиболее вероятный ответ на лечение вероятный ответ на лечение

**Fig. 2.** Whole-body MRI images of a 67-year-old man with metastatic prostate cancer before initiation of therapy (images a, b,  $\partial$ ,  $\infty$ ) and 3 months after initiation of chemohormonal therapy (images  $\delta$ , e, e, 3). The initial PSA level before the start of therapy was 800 ng/ml, during treatment — 0.7 ng/ml. There is a significant regression of areas with high signal on the MIP projection (images a,  $\delta$ ). A targeted assessment on T1-weighted image shows a reduction in the size of the lesion in the left ischium, as well as an increase in the intensity of the signal from it, which may indicate the appearance of intratumoral fat in the lesion (images  $\infty$ , 3). On DWI, there is a loss of high signal from the

indicated lesion (images  $\theta$ , e), as well as a significant increase in signal intensity on ADC maps from 0.75 to  $1.56 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  (images  $\partial$ , e). The combination of these signs corresponds to RAC1 category — the most likely response to treatment for the specified target lesion. Also, regression of previously enlarged lymph node conglomerates is noted (images u,  $\kappa$ ), which corresponds to the RAC1 category — the most likely response to treatment



Рис. 3. Изображения МРТ всего тела 73-летнего мужчины с метастатическим РПЖ до начала терапии (изображения *a*, *b*, *d*, *ж*) и через 4 мес после начала химиогормонотерапии (изображения *б*, *c*, *e*, *s*). Исходный уровень ПСА до начала терапии — 12 нг/мл, на фоне лечения — 18 нг/мл. На МІР-изображениях (*a*, *б*) отмечается увеличение интенсивности сигнала и размеров очагов в костях позвоночника и таза (красная стрелка). При прицельной оценке на T1-ВИ отмечается значительное увеличение размеров очага (красная стрелка) в правой седалищной кости (изображения *b*, *c*). На ДВИ отмечается отсутствие динамики интенсивности сигнала и значений ИКД (*d*, *e*, *ж*, *s*). Совокупность указанных признаков соответствует категории RAC 5 — наиболее вероятное прогрессирование Fig. 3. Whole-body MRI images of a 73-year-old man with metastatic prostate cancer before initiation of therapy (images *a*, *b*, *d*, *w*) and 4 months after initiation of chemohormonal therapy (images *б*, *c*, *e*, *s*). The initial PSA level before the start of therapy was 12 ng/ml, during treatment — 18 ng/ml. MIP images (*a*, *б*) show an increase in signal intensity and size of lesions in the bones of the spine and pelvis (red arrow). A targeted assessment on T1-weighter is a lack of dynamics in signal intensity and ADC values (*d*, *e*, *ж*, *s*). The combination of these signs corresponds to RAC5 category — the most likely progression

системы Met-RADS-P. Оценка надежности системы Met-RADS-Р проведена Pricolo и соавт. [26]. Они установили, что для первичного (доминантного) паттерна RAC согласие между экспертами было отличным для метастатического поражения в шейном, грудном и пояснично-крестцовом отделах позвоночника, тазу, конечностях, легких (К: 0,81-1,0); существенным — для поражения грудной клетки, забрюшинных лимфатических узлов, лимфатических узлов других групп и печени (К: 0,61–0,80); умеренным — для тазовых лимфатических узлов (К: 0,56), удовлетворительным — для первичного очага. Что касается вторичного паттерна RAC, согласие между экспертами было отличным для метастатических очагов в шейном отделе позвоночника (К: 0,93) и забрюшинных лимфатических узлах (К: 0,89), существенным — для метастатического поражения грудного отдела позвоночника, таза, грудной клетки, конечностей и тазовых лимфатических узлов (К: 0,61-0,80) и умеренный для пояснично-крестцового отдела позвоночника (К: 0,44). В целом на основе полученных результатов авторы делают вывод о целесообразности использования Met-RADS-P

в ответ на растущую клиническую потребность в мониторинге метастазов у пациентов с КРРПЖ, подчеркивая, что оценка костных метастазов с использованием критериев Met-RADS-P, основанных на значениях ИКД и морфологических особенностях, была почти нечувствительна к опыту врача-рентгенолога. Вместе с тем они отметили, что оценка вторичного паттерна RAC, включающего меньшинство метастазов (менее 50% поражений по определению) в отдельной анатомической области, зависит от способности врача-рентгенолога идентифицировать отличающийся от остальных ответ отдельных очагов. Оценка вторичного паттерна RAC направлена на выявление дискордантного (смешанного) ответа после терапии и может быть клинически важной. Недооценка прогрессирования заболевания на уровне вторичного паттерна RAC может отсрочить переход к следующему варианту лечения, причем пациенту в это время будет проводиться неэффективное (и дорогостоящее) лечение.

Результаты, полученные Liu и соавт. [27], выполнявшими исследования малого таза на 3 Тл томографе, также показали, что воспроизводимость оценки

		Категории системы MET-RADS-Р для оценки ответа на леч	ение
		MET-RADS-P categories for assessing response to treatm	Table 2 nt
RAC	Классификация	Критерии оценки ответа на терапию для метастатического поражения скелета	Критерии оценки ответа на терапию для пораженных лимфатических излов и метастазов в паренхиматозных органах (критерии RECIST 1.1)
-	Наиболее вероятный ответ на лечение	<ul> <li>Замещение нормальным костным мозгом областей очаговой или диффузной метастатической инфильтрации.</li> <li>Уменьшение количества или размера очаговых поражений, соответствующее наиболее вероятному ответу на лечение.</li> <li>Трансформация диффузного неопластического процесса в очаговое поражение.</li> <li>Регрессия мяткотканого компонента в костных метастазах.</li> <li>Регрессия мяткотканого компонента в костных метастазах.</li> <li>Появление интра- или перитуморального жира внутри/ вокруг очагов поражения (жировые типеринтенсивного ободка на T2-BИ с подавлением жира.</li> <li>Появление интра- или перитуморального жира внутри/ вокруг очагов поражения (жировые точки/признаки ореола).</li> <li>Изменение ИКД с ≤1400 мкм<sup>2</sup>/с на &gt;1400 мкм<sup>2</sup>/с.</li> <li>Увеличение в сравнении с исходным уровнем ИКД на 40% и более с соответствующим снижением сигнала на ДВИ с высоким b-фактором и морфологические данные, соответствующие стабилизации и ответу на лечение</li> </ul>	<ul> <li>Полная регрессия ранее увеличенных лимфатических узлов (все узлы должны быть менее 10мм) или висцеральных очагов.</li> <li>Уменьшение суммы наибольшего диаметра целевых поражений как минимум на 30%, в сравнении с начальными данными</li> </ul>
5	Вероятный ответ на лечение	Видимое улучшение, но недостаточное для RAC 1: — повышение ИКД в ранее выявленных очагах с ≤1000 мкм²/с до <1400 мкм²/с; — увеличение ИКД >25% но <40% в сравнении с исходным уровнем, с соответствующим сни- жением сигнала на ДВИ с высоким b фактором; и признаки стабилизации или ответа на лече- ние в очагах на морфологических изображениях	Зсе изменения, соответствующие ответу опухоли, не подходящие под критерии RECIST 1.1 для полного/частичного ответа: – Уменьшение суммы наибольшего диаметра целевых пораже- ний менее чем на 30%, в сравнении с начальными данными
3	Стабилизация	Без существенных изменений	оез существенных изменений
4	Вероятное прогрессиро- вание	Видимое ухудшение, но недостаточное для постановки RAC 5: — неоднозначное выявление нового(-ых) очага(-ов); — очаг без изменения размера, но с увеличением интенсивности сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора (со значениями ИКД <1400 мкм <sup>2</sup> /с) в соответствии с возможным про- грессиюванием заболевания:	Зсе изменения, соответствующие прогрессированию, не подхо- дящие под критерии RECIST 1.1 для прогрессирования: — Увеличение суммы наибольшего диаметра целевых поражений менее чем на 20% в сравнении с данными до начала лечения
		<ul> <li>рецидив: повторное появление очагов, которые ранее исчезли, или увеличение очагов (поражений), которые частично регрессировали / стабилизировались после проведенного лечения; наличие очагов, которые могут быть клинически значимыми (за исключением бессимптомных переломов);</li> <li>стеноз позвоночного канала за счет экстраоссального компонента очага, не сопровождаю- щийся неврологическими симптомами и не требующий лучевой терапии</li> </ul>	
ົບ	Наиболее вероятное прогрессиро- вание	<ul> <li>новые компрессионные переломы/компрессия спинного мозга, требующие лучевой тера- пии/хирургического вмешательства в случае элокачественного характера по сигнальным ха- рактеристикам на МРТ;</li> <li>однозначные новые очаговые/диффузные области метастатической инфильтрации в ранее нормальном костном мозге;</li> <li>однозначное увеличение количества/размера очаговых поражений;</li> <li>переход очаговых поражений в диффузный паттерн;</li> <li>появление/увеличение мягкотканого компонента в костных метастазах;</li> <li>новые поражения/области с высокой интенсивностью сигнала на изображениях с высоким b-фактором и значение МКД от 600 мкм<sup>2</sup>/с до 1000 мкм<sup>2</sup>/с</li> </ul>	<ul> <li>Увеличение суммы наибольшего диаметра целевых поражений как минимум на 20% в сравнении с данными до начала лечения.</li> <li>Появления одного или нескольких новых поражений. Цля нецелевых очагов:</li> <li>для лимфатических узлов менее 1 см прогрессированием считается увеличение по меньшей мере на 5 мм с итоговым размером более 1 см по короткой оси;</li> <li>для лимфатических узлов с исходными размерами 1–1,5 см прогрессированием считается увелических узлов с исходными размерами 1–1,5 см прогрессированием ситоговым размером более 1 см по короткой оси;</li> </ul>

Таблица 2

для доминантного паттерна RAC была выше, чем для вторичного, и зависела от опыта врача-рентгенолога.

Исследование Yoshida и соавт. [28] было направлено на оценку распространенности метастазов и прогностического влияния шкалы Met-RADS-P у 70 пациентов с КРРПЖ. МРТ ВТ выявило, что 40% пациентов с КРРПЖ имели олигометастатический процесс и были кандидатами на местную терапию. Кроме того, впервые было показано прогностическое значение шкалы Met-RADS-P у пациентов с КРРПЖ, поскольку была установлена связь объема костных метастазов и наличия висцерального поражения с общей выживаемостью.

Основным препятствием к широкому внедрению в клиническую практику МРТ ВТ является длительность процедуры исследования и большой объем диагностических данных, требующий значительного времени для анализа и составления отчета. С целью оптимизации извлечения количественной информации из карт FF% и ИКД было разработано несколько методов полуавтоматической сегментации для разграничения пораженных и здоровых тканей и доброкачественных образований. Так, предложен инструмент для сегментации изображений МРТ ВТ, сочетающий применение пороговых значений и ручное редактирование, чтобы обеспечить более эффективную сегментацию опухолевой нагрузки. При оценке костного мозга и костных метастазов он показал очень хорошую воспроизводимость [2]. Однако на данный момент сегментация не является частью стандартов Met-RADS и для ее валидации необходимы дальнейшие клинические испытания.

Заключение. Система Met-RADS-P систематизирует подход к выполнению и описанию MPT BT у пациентов с КРРПЖ, позволяя воспроизвести методику практически на любом современном томографе, начиная с составления протокола сканирования, заканчивая стандартизированным отчетом о результатах исследования. Это делает метод MPT BT воспроизводимым в различных медицинских учреждениях, а следовательно, повышает его ценность. Тем не менее Met-RADS-P относительно новая система и нуждается в крупных многоцентровых клинических исследованиях для подтверждения ее эффективности и репрезентативности, а также нивелирования недостатков.

#### Информация об авторах:

- Березовская Татьяна Павловна доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отделения лучевой диагностики Медицинского радиологического научного центра имени А.Ф.Цыба — филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; e-mail: berez@mrrc.obninsk.ru; ORCID 0000–0002–3549–4499;
- Рипп Владислав Олегович врач-рентгенолог, аспирант отделения лучевой диагностики Медицинского радиологического научного центра имени А. Ф. Цыба филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; ORCID 0000–0001–8970–4212;
- Троянов Алексей Владимирович врач-онколог отделения лучевого и хирургического лечения урологических заболеваний с группой брахитерапии рака предстательной железы Медицинского радиологического научного центра имени А.Ф. Цыба — филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; ORCID 0000–0001–7025–5365;
- Иванов Сергей Анатольевич доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор кафедры онкологии и рентгенорадиологии имени В. П. Харченко медицинского института РУДН, директор Медицинского радиологического научного центра имени А. Ф. Цыба филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; ORCID 0000–0001–7689–6032;
- Каприн Андрей Дмитриевич доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, генеральный директор федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; директор федерального государственного бюджетного учреждения «Московский научноисследовательский онкологический институт имени П.А. Герцена» Министерства здравоохранения Российской Федерации; главный внештатный онколог Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой онкологии и рентгенорадиологии имени В. П. Харченко медицинского института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН); 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, ORCID 0000–0001–8784–8415.

#### Information about authors:

- Tatiana P. Berezovskaya Dr. of Sci. (med.), professor, chief researcher of the Department of Radiology of the A. Tsyb Medical Radiological Research Centre branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation «Medical Radiological Research Center», Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000–0002–3549–4499;
- Vladislav O. Ripp radiologist, graduate student of the Department of Radiology of the A. Tsyb Medical Radiological Research Centre branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation «Medical Radiological Research Center», Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000–0001–8970–4212;
- Aleksey V. Troyanov oncologist of the Department of Radiation and Surgical Treatment of Urological Diseases with a group of brachytherapy for prostate cancer of the A. Tsyb Medical Radiological Research Centre branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation «Medical Radiological Research Center», Russian Federation, 249036, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000–0001–7025–5365;

Sergey A. Ivanov — Dr. of Sci. (med.), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, director A. Tsyb MRRC, professor of Chair of Oncology and Radiology named after Kharchenko V.P. RUDN University; Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000–0001–7689–6032;

- Andrey D. Kaprin Dr. of Sci. (med.), professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, honored doctor of the Russian Federation, general director, Head of Chair of Oncology and Radiology named after Kharchenko V.P. RUDN University; Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000– 0001–8784–8415.
- Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования *Т.П. Березовская*; сбор и анализ данных *Т.П. Березовская, В. О. Рипп, А. В. Троянов*; подготовка рукописи *Т.П. Березовская, В. О. Рипп, С. А. Иванов, А. В. Троянов*, *А. Д. Каприн*.
- Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *TPB*, aided in the concept and plan of the study; *TPB*, *VOR*, *AVT* provided collection and mathematical analysis of data; *TPB*, *VOR*, *SAI*, *AVT*, *ADK* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интереса, связанных с публикацией настоящей статьи. Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Соответствие принципам этики.** Одобрения этического комитета не требовалось. **Adherence to ethical standards.** The approval of the ethics committee was not required.

> Поступила/Received: 04.03.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Padhani A.R., Liu G., Koh D.M. et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging as a cancer biomarker: consensus and recommendations // Neoplasia. 2009. Vol. 11, No. 2. P. 102–125. doi: 10.1593/neo.81328.
- Summers P. Saia G., Colombo A. et al. Whole-body magnetic resonance imaging: technique, guidelines and key applications // *Ecancer medical science*. 2021.
   Vol. 15. P. 1164. doi: 10.3332/ecancer.2021.1164.
- Messiou C., Hillengass J., Delorme S. et al. Guidelines for acquisition, interpretation, and reporting of whole-body MRI in myeloma: myeloma response assessment and diagnosis system (MY-RADS) // Radiology. 2019. Vol. 291. P. 5–13. doi: 10.1148/radiol.2019181949.
- 4. Petralia G., Koh D.M., Attariwala R. et al. Oncologically Relevant Findings Reporting and Data System (ONCO-RADS): Guidelines for the Acquisition, Interpretation, and Reporting of Whole-Body MRI for Cancer Screening // Radiology. 2021. Vol. 299, No. 3. P. 494–507. doi: 10.1148/radiol.2021201740.
- Padhani A.R., Lecouvet F.E., Tunariu N. et al. METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer: Practical Guidelines for Acquisition, Interpretation, and Reporting of Whole-body Magnetic Resonance Imaging-based Evaluations of Multiorgan Involvement in Advanced Prostate Cancer // Eur. Urol. 2017. Vol. 71, No. 1. P. 81–92. doi: 10.1016/j.eururo.2016.05.033.
- 6. Schmidt G.P., Schoenberg S.O., Reiser M.F. et al. Whole-body MR imaging of bone marrow // Eur. J. Radiol. 2005. Vol. 55. P. 33-40. doi: 10.1016/j.ejrad.2005.01.019.
- 7. Dixon WT. Simple proton spectroscopic imaging // Radiology. 1984. Vol. 153, No. 1. P. 189–194. doi:10.1148/radiology.153.1.6089263.
- Bray T.J., Chouhan M.D., Punwani S., Bainbridge A., Hall-Craggs M.A. Fat fraction mapping using magnetic resonance imaging: insight into pathophysiology // Br. J. Radiol. 2018 Sep. Vol. 91, No. 1089. P. 20170344. doi: 10.1259/bjr.20170344.
- 9. Gee C.S., Nguyen J.T., Marquez C.J., Heunis J., Lai A., Wyatt C., Han M., Kazakia G., Burghardt A.J., Karampinos D.C., Carballido-Gamio J., Krug R. Validation of bone marrow fat quantification in the presence of trabecular bone using MRI // J. Magn. Reson. Imaging. 2015. Vol. 42, No. 2. P. 539–544. doi: 10.1002/jmri.24795.
- Guerini H., Omoumi P., Guichoux F. et al. Fat suppression with Dixon techniques in musculoskeletal magnetic resonance imaging: a pictorial review // Semin Musculoskeletal Radiol. 2015. Vol. 19. P. 335–347.
- Lins C.F., Salmon C.E.G., Nogueira-Barbosa M.H. Applications of the Dixon technique in the evaluation of the musculoskeletal system // Radiol. Bras. 2021. Vol. 54, No. 1. P. 33–42. doi:10.1590/0100-3984.2019.0086.
- Lecouvet F.E., Pasoglou V., Van Nieuwenhove S., Van Haver T., de Broqueville Q., Denolin V. et al. Shortening the acquisition time of whole-body MRI: 3D T1 gradient echo Dixon vs fast spin echo for metastatic screening in prostate cancer // Eur. Radiol. 2020. Vol. 30, No. 6. P. 3083–3093.
- Михайлов А.И., Панов В.О., Мещерякова Н.А., Пронин А.И., Вихрова Н.Б., Долгушин М.Б. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография всего тела с оценкой измеряемого коэффициента диффузии при лимфоме Ходжкина // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2018. Vol. 1, № 3. С. 44–48. [Mikhaylov A.I., Panov V.O., Meshcheryakova N.A., Pronin A.I., Vikhrova N.B., Dolgushin M.B. Whole-body diffusion-weighted magnetic resonance imaging with measured diffusion coefficient assessment in Hodgkin's lymphoma. Oncological journal: radiation diagnostics, radiation therapy, 2018, Vol. 1, No. 3, pp. 44–48 (In Russ.)] doi:10.37174/2587-7593-2018-1-3-44-48
- Kwee T.C., Takahara T., Ochiai R., Nievelstein R.A., Luijten P.R. Diffusion-weighted whole-body imaging with background body signal suppression (DWIBS): features and potential applications in oncology // Eur. Radiol. 2008. Vol. 18, No. 9. P. 1937–1952. doi: 10.1007/s00330-008-0968-z.
- 15. Takahara et al. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): Technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display // Radiation medicine. 2003. Vol. 22. P. 275–282.

- Nagarajan R., Margolis D., Raman S., Sheng K., King Ch., Reiter R., Thomas M.A. Correlation of Gleason Scores with Diffusion-Weighted Imaging Findings of Prostate Cancer // Advances in Urology. 2012. Vol. 2012, 5 p. https://doi.org/10.1155/2012/374805.
- 17. Manetta R., Palumbo P., Gianneramo C. et al. Correlation between ADC values and Gleason score in evaluation of prostate cancer: multicentre experience and review of the literature // Gland Surg. 2019. Vol. 8, Suppl. 3. P. S216-S222. doi: 10.21037/gs.2019.05.02.
- Shi Y.J., Li X.T., Zhang X.Y., Liu Y.L., Tang L., Sun Y.S. Differential diagnosis of hemangiomas from spinal osteolytic metastases using 3.0 T MRI: comparison of T1-weighted imaging, chemical-shift imaging, diffusion-weighted and contrast-enhanced imaging // Oncotarget. 2017. Vol. 8, No. 41. P. 71095–71104. doi: 10.18632/oncotarget.20533.
- Koh D.M., Blackledge M., Padhani A.R. et al. Whole-body diffusion-weighted MRI: tips, tricks, and pitfalls // AJR Am. J. Roentgenol. 2012. Vol. 199, No. 2. P. 252–262. doi: 10.2214/AJR.11.7866.
- Van Nieuwenhove S., Van Damme J., Padhani A.R., Vandecaveye V., Tombal B., Wuts J., Pasoglou V., Lecouvet F.E. Whole-body magnetic resonance imaging for prostate cancer assessment: Current status and future directions // J. Magn. Reson. Imaging. 2022. 55: 653–80. https://doi.org/10.1002/jmri.27485.
- 21. Grimm A., Meyer H., Nickel M.D. et al. Evaluation of 2-point, 3-point, and 6-point Dixon magnetic resonance imaging with flexible echo timing for muscle fat quantification // Eur. J. Radiol. 2018. Vol. 103. P. 57–64.
- 22. Gandaglia G., Abdollah F., Schiffmann J., Trudeau V., Shariat SF., Kim SP., Perrotte P., Montorsi F., Briganti A., Trinh QD., Karakiewicz PI., Sun M. Distribution of metastatic sites in patients with prostate cancer: A population-based analysis // Prostate. 2014. Feb. Vol. 74, No. 2. P. 210–216. doi: 10.1002/pros.22742.
- Scher H.I., Morris M.J., Stadler W.M. et al. Trial Design and Objectives for Castration-Resistant Prostate Cancer: Updated Recommendations From the Prostate Cancer Clinical Trials Working Group 3 // J. Clin. Oncol. 2016. Vol. 34, No. 12. P. 1402–1418. doi:10.1200/JCO.2015.64.2702.
- Lapini A., Caffo O., Pappagallo G., Iacovelli R., D'Angelillo R.M., Vavassori V., Ceccarelli R., Bracarda S., Jereczek-Fossa B.A., Da Pozzo L., Conti G.N. Monitoring Patients with Metastatic Hormone-Sensitive and Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: A Multidisciplinary Consensus Document // Cancers (Basel). 2019 Dec 1. Vol. 11, No. 12. P. 1908. doi: 10.3390/cancers11121908.
- Eisenhauer E.A., Therasse P., Bogaerts J. New response evaluation criteria in solid tumours: revised RECIST guideline (version 1.1) // Eur. J. Cancer. 2009. Vol. 45. P. 228–247.
- Pricolo P., Ancona E., Summers P. et al. Whole-body magnetic resonance imaging (WB-MRI) reporting with the METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer (MET-RADS-P): inter-observer agreement between readers of different expertise levels // Cancer Imaging. 2020. Vol. 20, No. 1. P. 77. doi: 10.1186/s40644-020-00350-x.
- Liu X., Xie T., Sun Z., Guo Y., Zhang X., Wang X. Analysis of interreader agreement in structured reports of pelvic multiparametric magnetic resonance imaging using the METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer guidelines // Diagn. Interv. Radiol. 2023. Jan 31. Vol. 29, No. 1. P. 29–39. doi: 10.5152/dir.2022.211232.
- Yoshida S., Takahara T., Ishii C. et al. METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer as a Prognostic Imaging Marker in Castration-resistant Prostate Cancer // Clin. Genitourin Cancer. 2020. Vol. 18, No. 4. P. e391-e396. doi: 10.1016/j.clgc.2019.12.010.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2025 года. Подписной индекс: «Урал Пресс» (Пресса России) **014023** 

# ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL RESEARCH

УДК 616-073.756.8:611.81 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-32-38

# РАДИОМИКА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОЧАГОВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

<sup>1,2,3</sup>Н. В. Нуднов**Ф**, <sup>1</sup>Е. В. Бит-Юнан**Ф**<sup>\*</sup>, <sup>1</sup>Э. С.-А. Шахвалиева**Ф**, <sup>1</sup>А. А. Борисов**Ф**, <sup>1</sup>П. Н. Султанова**Ф**, <sup>1</sup>М. Е. Иванников**Ф**, <sup>1</sup>Д. Г. Карелидзе**Ф**, <sup>1</sup>П. И. Бочкова**Ф** 

<sup>1</sup>Российский научный центр рентгенорадиологии, Москва, Россия <sup>2</sup>Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия <sup>3</sup>Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Глиобластомы и солитарные метастазы являются наиболее распространенными злокачественными новообразованиями головного мозга, характеризуются высокой смертностью и тяжелым инвалидизирующим действием на пациентов. Методом выбора при нейровизуализации глиобластом и метастазов является магнитно-резонансная томография с контрастным усилением. Однако дифференцировать их часто бывает сложно из-за близких рентгенологических характеристик на МРТ. Радиомика и машинное обучение могут дифференцировать первичное происхождение метастазов в головном мозге, идентифицировать патологические типы опухолей неинвазивно на диагностическом этапе.

**ЦЕЛЬ:** Применение текстурного анализа для дифференциальной диагностики глиобластом и метастазов различной этиологии. **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В исследовании использовались 169 МРТ-исследований из базы данных РНЦЦР, 11 из которых с визуализацией морфологически верифицированных глиобластом головного мозга, 55 метастазов рака легкого и 103 метастаза рака молочной железы. Сегментация областей интереса проводилась полуавтоматически в бесплатном программном обеспечении 3D-Slicer с функцией выгрузки показателей радиомики из областей интереса. Для каждого образования было рассчитано по 107 радиомических показателей из T1- и T2-последовательностей.

Статистика: Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23. При статистической обработке данных для сокращения признакового пространства использовались статистический критерий Манна–Уитни для количественных показателей и корреляционный анализ с применением критерия Пирсона. Проведено сокращение признакового пространства и выбор предикторов мерой feature\_importances на основе лесов решений. Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т1-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес — ROC-AUC=0,815 [0,749; 0,874]. Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T2-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес — ROC-AUC=0,817 [0,743; 0,873]. Для комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1-и T2-последовательности, наиболее эффективный лес — ROC-AUC=0,817 [0,743; 0,873]. Для комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1-и T2-последовательностей, наиболее эффективный результат показал случайный лес — ROC-AUC=0,815 [0,789; 0,906]. ОБСУЖДЕНИЕ: Полученные нами классификационные модели и их метрики свидетельствуют о том, что радиомические признаки, извлеченные из T2-взвешенных MP-изображений, позволяют с более высокой чувствительностью дифференцировать метастазы рака молочной железы от метастазов рака легкого, чем признаки, извлеченные из T1-взвешенных MP-изображений. Также нами выявлено большое количество значимо отличающихся показателей при построении моделей для дифференциации глиобластом от метастазов, что демонстрирует перспективность данного направления. Планируется продолжить исследование с расширением выборок. Наши выводы также подтверждаются результатами исследований зарубежных коллег. ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Полученные нами модели обладают высокой точностью и чувствительностью к дифференциации метастазов различной этиологии и демонстрируют значительный потенциал в продолжении данного исследования с расширением выборок.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиомика, МРТ, метастазы мозга, глиобластомы мозга, дифференциальная диагностика, контрастное усиление

\* Для корреспонденции: Бит-Юнан Елизавета Владимировна, e-mail: lizamur69@mail.ru

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

Для цитирования: Нуднов Н.В., Бит-Юнан Е.В., Шахвалиева Э.С.-А., Борисов А.А., Султанова П.Н., Иванников М.Е., Карелидзе Д.Г., Бочкова П.И. Радиомика в дифференциальной диагностике очаговых поражений головного мозга: ретроспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия.* 2024. Т. 15, № 3. С. 32–38, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-32-38.

## RADIOMICS IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF FOCAL BRAIN LESIONS: A RETROSPECTIVE STUDY

<sup>1,2,3</sup>Nikolai V. Nudnov<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Elizaveta V. Bit-Yunan<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Elina S.-A. Shakhvalieva<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Aleksander A. Borisov<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Peri N. Sultanova<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Mikhail E. Ivannikov<sup>®</sup>, <sup>1</sup>David G. Karelidze<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Polina I. Bochkova<sup>®</sup> <sup>1</sup>Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow, Russia <sup>2</sup>Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia <sup>3</sup>Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** Glioblastoma and solitary metastases are the most common malignant neoplasms of the brain, characterized by high mortality and severe disability in patients. The method of choice for neuroimaging glioblastomas and metastases is contrast-enhanced magnetic resonance imaging. However, differentiation between the two is often difficult due to similar radiological features on MRI. Radiomics and machine learning can differentiate the primary origin of brain metastases and identify pathological tumor types noninvasively.

OBJECTIVE: Application of texture analysis for differential diagnosis of glioblastomas and metastases of different etiologies.

**MATERIALS AND METHODS:** 169 MRI studies from the RSCRR database were used in the study, 11 of which visualized morphologically differentiated glioblastoma of the brain, 55 lung cancer metastases and 103 breast cancer metastases. Segmentation of the regions of interest was performed semi-automatically in the free 3D-Slicer software with the ability to upload radiomic features from the regions of interest. For each lesion, 107 radiomic features were calculated from T1 and T2 sequences.

*Statistics*: The calculation of statistical indicators was performed in a computer program for statistical data processing IBM SPSS Statistics 23. In statistical data processing, the Mann-Whitney statistical criterion for quantitative indicators and correlation analysis using the Pearson criterion were used to reduce the feature space. The reduction of the feature space and the selection of predictors by the feature\_importances measure based on decision forests were carried out. Machine learning models were built in Python 3.10 using specialized libraries.

**RESULTS:** For the model based on radiomic features extracted from T1 sequence, random forest showed the most efficient result, ROC-AUC=0.815[0.749; 0.874]. For the model based on the radiomic features extracted from the T2 sequence, random forest showed the most effective result, ROC-AUC=0.817[0.743; 0.873]. For the complex model based on radiomic features extracted from T1 and T2 sequences, random forest showed the most efficient result, ROC-AUC=0.855[0.789; 0.906].

**DISCUSSION:** The classification models and their metrics obtained by us indicate that the radiomic features extracted from T2 weighted MR images make it possible to differentiate breast cancer metastases from lung cancer metastases with higher sensitivity than the features extracted from T1 weighted MR images. We also identified a large number of significantly different indicators in the construction of models for the differentiation of glioblastomas from metastases, which demonstrates the prospects of this direction. It is planned to continue the study with the expansion of samples. Our conclusions are also confirmed by the research results of our foreign colleagues.

**CONCLUSION:** The models we have obtained are highly accurate and sensitive to the differentiation of metastases of various etiologies and demonstrate significant potential in continuing this study with an expansion of samples.

KEYWORDS: radiomics, MRI, brain metastases, glioblastoma, differential diagnosis, contrast enhancement

#### \* For correspondence: Elizaveta V. Bit-Yunan, e-mail: lizamur69@mail.ru

For citation: Nudnov N.V., Bit-Yunan E.V., Shakhvalieva E.S.-A., Borisov A.A., Sultanova P.N., Ivannikov M.E., Karelidze D.G., Bochkova P.I. Radiomics in the differential diagnosis of focal brain lesions: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 32–38, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-32-38.

**Введение.** Глиобластомы и солитарные метастазы являются наиболее распространенными злокачественными новообразованиями головного мозга. Очаговые поражения головного мозга, как первичные, так и вторичные, характеризуются высокой смертностью и тяжелым инвалидизирующим действием.

По данным Министерства здравоохранения наиболее распространенной в России первичной опухолью головного мозга является глиома, которая встречается с частотой 10–13 случаев на 100000 населения в год. Наиболее злокачественная и агрессивная ее форма — глиобластома — регистрируется с частотой 3,5 случая на 100000 населения в год [1]. Из приведенных данных можно сделать вывод, что глиобластома — самая распространенная глиальная опухоль, составляет почти половину (45–50%) в структуре всех первичных злокачественных опухолей головного мозга. Что касается метастазов, они составляют около 14 случаев на 100 000 населения в год и превосходят заболеваемость первичными опухолями мозга [2, 3].

Прогноз пациентов с этими поражениями крайне неблагоприятен: их медиана выживаемости ограничена месяцами даже для тех, кто находится на постоянной терапии [1].

Первичными опухолями, которые чаще метастазируют в головной мозг, являются опухоли легких (≥50%), молочной железы (15-25%) и кожи (меланома) (5-20%) [1, 2, 4]. По статистике, метастазы в головном мозге обнаруживаются впервые на аутопсии у 25% онкологических больных при известном первичном очаге. Однако существует процент пациентов (2-14%), у которых, напротив, метастазы являются первым проявлением неизвестной первичной опухоли [2]. Эти пациенты подвергаются инвазивным процедурам и визуализационным исследованиям, но даже в таком случае не всегда первичный очаг может быть идентифицирован и происхождение метастазов остается недиагностированным вплоть до летального исхода [2, 3]. Методом выбора при нейровизуализации глиобластом и метастазов является магнитно-резонансная томография с контрастным усилением. Однако дифференцировать их часто бывает сложно из-за близких рентгенологических характеристик на МРТ, таких как центральный некроз, выраженный перитуморальный отек и схожий характер контрастирования.

Дифференциация глиобластом от метастазов, а также метастазов по их происхождению имеет большое клиническое значение для успешного ведения пациентов, поскольку тактика лечения и прогноз зависят от молекулярных характеристик первичных опухолей, особенно для таргетной и иммунотерапии [1, 3]. Гистопатологическое исследование по-прежнему остается стандартом верификации новообразований головного мозга, но имеет ряд противопоказаний и осложнений [1, 5]. К группе высокого риска при оперативном вмешательстве относятся пациенты с выраженным неврологическим дефицитом (гемиплегия, афатические расстройства), признаками повышенного внутричерепного давления, дислокацией структур головного мозга, а также нарушениями свертываемости крови. Кроме того, проведение вмешательства неприемлемо при локализации образования в одной из функциональных областей мозга, где любое, даже незначительное повреждение тканей, может иметь необратимые последствия для пациента.

Приведенные риски, а также гетерогенность и биологическое разнообразие образований головного мозга обозначили очевидную необходимость обнаружения первичной опухоли быстрым, надежным, а главное — неинвазивным способом, стимулировало развитие методов дифференциации с использованием визуализации и радиомики. Этот подход стал многообещающим методом не только в дифференциальном анализе различных типов опухолей и метастазов, но и в прогнозировании течения заболевания, а также ответа на терапию [1, 2].

Развитие радиомики и накопление опыта в использовании этого метода показало, что применение его в комбинации с традиционной МРТ является ценным методом повышения эффективности диагностики и прогнозирования ответа на лечение в онкологии [3]. Методы радиомики включают в себя многоуровневый рабочий процесс, направленный на получение, обработку и сегментацию изображений [2]. Однако ключевым этапом исследования является текстурный анализ — метод, который позволяет провести тонкую оценку распределения и взаимосвязей интенсивности уровней серого пикселей и/или вокселей. Вследствие этого текстурный анализ служит отличным инструментом для извлечения биомаркеров (количественных характеристик) визуализации из обычных медицинских изображений и может предоставить гораздо больше данных о гетерогенности образования, которые незаметны для человеческого глаза [2, 6, 7].

Методы текстурного анализа успешно применяются в исследованиях новообразований головного мозга с использованием МРТ в качестве основного метода визуализации [2, 8–10]. В частности, Т1-взвешенная МРТ с контрастным усилением — основная последовательность в этих исследованиях, поскольку она используется для первоначального выявления новообразований головного мозга и содержит обширную диагностическую информацию.

В области нейроонкологии новые данные подтвердили, что радиомика и машинное обучение могут дифференцировать первичное происхождение метастазов в головном мозге, идентифицировать патологические типы опухолей, отличать псевдопрогрессию от истинной прогрессии и предсказывать рецидив, выживаемость и даже экспрессию генов лучше, чем методы, используемые в повседневной клинической практике [4, 11].

**Цель.** Применение текстурного анализа для дифференциальной диагностики глиобластом и метастазов различной этиологии.

**Материалы и методы.** Одобрение этического комитета не требовалось. Исследование является ретроспективным.

В исследовании использовались 169 МРТ-исследований из базы данных РНЦЦР, 11 из которых с визуализацией морфологически верифицированных глиобластом головного мозга, 55 метастазов рака легкого и 103 метастаза рака молочной железы. Сегментация областей интереса проводилась полуавтоматически врачами-рентгенологами на T1последовательности с контрастным усилением и T2последовательности в бесплатном программном обеспечении 3D-Slicer с функцией выгрузки показателей радиомики из областей интереса.

Для каждого образования было рассчитано по 107 радиомических показателей из T1- и T2- последовательностей (всего 214).

Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки с процентным соотношением 70%:30%. Для сокращения признакового пространства использовались статистический критерий Манна-Уитни, корреляционный анализ с применением критерия Пирсона, а также проводилась оцензначимости каждого признака ка мерой feature importances на основе лесов решений. Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек. Подбор гиперпараметров модели производился с помощью кроссвалидации с количеством фолдов 5. Для выбора наиболее эффективных моделей использовались стандартные метрики машинного обучения: precision, recall, accuracy, f1-мера и площадь под характеристической кривой ROC-AUC. Для расчета 95% доверительных интервалов метрик классификации применялся метод Клоппера-Пирсона. Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23.

**Результаты.** Для анализа выборка была разделена следующим образом: 11 глиобластом и 158 метастазов (рака легкого и рака молочной железы в сумме) и 55 метастазов рака легкого и 103 метастаза рака молочной железы.

Количество статистически значимо отличающихся показателей в анализируемых группах представлено в таблице.

Такое большое количество показателей может указывать на сильные различия в текстуре ткани разных видов образований на МРТ, которые могут быть не видны глазу врача-рентгенолога.

ľ

 радиомические признаки, извлеченные с Т2последовательности;

 радиомические признаки, извлеченные с Т1и Т2-последовательностей.

Для каждой из выборок был произведен отбор наиболее значимых признаков и построены различные модели машинного обучения с выбором наиболее эффективных алгоритмов и их гиперпараметров.

Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т1-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес, включающий три прогностических признака: firstorder 10Percentile, ngtdm Contrast, firstorder Entropy. Метрики, полученные для лучшей модели: precision — 0,867 [0,805; 0,916], recall - 0,839 [0,770; 0,890], accuracy - 0,813 [0,742; 0,869], f1-score - 0,852 [0,783; 0,901], ROC-AUC - 0,815 [0,749; 0,874]. Показатели 10Percentile и firstorder Entropy говорят о том, что для метастазов рака молочной железы характерны в среднем более интенсивные (светлые) значения уровня серого и более высокий разброс интенсивностей пикселей внутри одного метастаза. Характеристика ngtdm Contrast также указывает на то, что для метастазов молочной железы на T1последовательности характерен более широкий диапазон значений пикселей, а также более резкие изменения значений уровня серого между соседними вокселями.

ROC-кривая для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т1-последовательности, представлена на рис. 1.

Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т2-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес,

Таблица

Table

Количество статистически значимо отличающихся показателей в анализируемых группах пациентов

Jumboro	of statistically	cignificant	foaturos in	the analyzed	groups of patients
NUIIIDEI U	η διατιδτισαιίν	Significant	icatures m	the analyzeu	$\gamma$

Анализируемая группа	Количество показателей (p<0,05)
Глиобластомы/метастазы	T1+контраст — 67
	T2 — 70
Метастазы рака легкого/метастазы рака молочной железы	T1+контраст — 62
	T2 - 56

На следующем этапе нами были построены модели машинного обучения для дифференциальной диагностики метастазов рака молочной железы и рака легких. Построение моделей для дифференциации глиобластом невозможно на данном этапе исследования ввиду малого количества пациентов, однако выявленные различающиеся признаки свидетельствуют о перспективности данного направления. Для дифференциации метастазов рака легкого и молочной железы данные были разделены на три группы:

 радиомические признаки, извлеченные с Т1последовательности; включающий три прогностических признака: gldm\_LowGrayLevelEmphasis, firstorder\_Skewness, gldm\_LargeDependenceLowGrayLevelEmphasis. Метрики, полученные для лучшей модели: precision — 0,848 [0,780; 0,901], recall — 0,933 [0,882; 0,968], accuracy — 0,848 [0,780; 0,901], f1-score — 0,889 [0,826; 0,933], ROC-AUC — 0,817 [0,743; 0,873]. Показатели gldm\_LowGrayLevelEmphasis и firstorder\_Skewness говорят о том, что для метастазов рака легкого на T2-взвешенном изображении характерна большая концентрация пикселей с низким уровнем серого в изображении, а пиксели в метастазах рака
молочной железы, напротив ассиметрично распределены в сторону более интенсивных значений. При этом при наличии внутри метастазов рака молочной железы участков низкой интенсивности они лежат близко друг к другу, о чем говорят более высокие значения показателя gldm LargeDependenceLow-GrayLevelEmphasis.



Рис. 1. ROC-кривая модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т1-последовательности Fig. 1. ROC-curve of the model based on radiomic features extracted from T1 sequences

ROC-кривая для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т2-последовательности, представлена на рис. 2.



Рис. 2. ROC-кривая модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т2-последовательности Fig. 2. ROC-curve of the model based on radiomic features extracted from T2 sequence

Для комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т1- и Т2-последовательностей, наиболее эффективный результат показал случайный лес, включающий 6 прогностических признаков: T2 gldm LowGrayLevelEmphasis, T2 firstorder Skewness, T2 gldm LargeDependenceLowGrayLevelEmphasis, T2 firstorder 10Percentile, T1\_shape\_SurfaceVolumeRatio, T1\_ngtdm\_ Contrast. Метрики, полученные для лучшей модели: precision - 0,853 [0,788; 0,906], recall - 0,967

[0.924; 0.989], accuracy -0.870[0.803; 0.917], f1score - 0,906 [0,847; 0,947], ROC-AUC - 0,855 [0,789; 0,906]. Помимо показателей, описанных при радиомических исследовании показателей на отдельных МР-последовательностях, для итогомодели значимым оказался показатель вой T1 shape SurfaceVolumeRatio. Его значения говорят о том, что метастазы рака легкого на Т1-последовательности выглядят более сферообразно, чем метастазы рака молочной железы.

ROC-кривая комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т1и Т2-последовательностей, представлена на рис. 3.



Рис. 3. ROC-кривая комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с Т1- и Т2последовательностей

Fig. 3. ROC-curve of the complex model based on radiomic features extracted from T1 and T2 sequences

Полученные нами модели обладают высокой точностью и чувствительностью к дифференциации метастазов различного происхождения.

Обсуждение. Выявленные нами признаки демонстрируют значительный потенциал и перспективы применения радиомических признаков для дифференциации глиобластом от метастазов в головной мозг, которые подтверждаются результатами исследований зарубежных коллег. Так, в исследовании J. Bai и соавт., модель на основе показателей радиомики дифференцировала пациентов с глиобластомой от солитарного метастаза в мозг с площадью под ROC-кривой (AUC) 0,918 и 0,882 в обучающей и тестовой выборке соответственно [12]. Большинство исследований указывают на то, что модели, объединяющие несколько групп показателей, обладают большим потенциалом для отличия глиобластом от метастазов. Так, в работе Y. Zhang и соавт., посвященной дифференциации глиобластом от солитарного метастаза в головной мозг, комбинированная модель, основанная на демографических факторах и показателях радиомики, показала большую эффективность, чем модель, основанная только на радиомических показателях [13].

Также большое количество исследований посвящено попытке дифференциации метастазов головного мозга в зависимости от локализации первичной опухоли. В исследовании J. B. S. Shi и соавт. модель, основанная на показателях радиомики, дифференцировала пациентов с метастазами в головной мозг, возникшими вследствие рака легкого и рака молочной железы, с дальнейшим прогнозированием мутаций рецептора эпидермального фактора роста (EGFR) и статуса рецептора эпидермального фактора роста человека 2 (HER2) [14].

Еще одна работа R. Ortiz-Ramón и соавт. показала отличный результат в дифференцировке первичного очага возникновения метастазов в мозг посредством радиомического подхода с площадью под характеристической кривой, равной 0,963 [2].

М. А. Gultekin и соавт. также применили радиомику для дифференциации метастазов рака легкого и рака молочной железы. Наилучший результат показала сверточная нейронная сеть — значение AUC составило 0,84 [11].

Результаты зарубежных коллег подтверждают наши данные, демонстрируя возможность создания алгоритмов для верификации первичного опухолевого очага при оценке метастазов, а также их дифференцировки от глиобластом.

Заключение. Полученные нами классификационные модели и их метрики говорят о том, что радиомические признаки, извлеченные из T2-взвешенных МР-изображений, позволяют с более высокой чувствительностью отделять метастазы рака молочной железы от метастазов рака легкого, чем признаки, извлеченные из T1-взвешенных MPизображений. Однако добавление к выявленным признакам нескольких характеристик, извлеченных из T1-взвешенных изображений, позволяет повысить классификационные возможности модели. Построение моделей для дифференциации глиобластом стало затруднительным на данном этапе исследования ввиду малого количества пациентов, однако нами выявлено большое количество значимо отличающихся показателей, что свидетельствует о перспективности данного направления. Мы планируем расширить выборку, добавив метастазы и новообразования иных локализаций, а также расширить выборку с глиобластомами.

#### Сведения об авторах:

- Нуднов Николай Васильевич заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики и радиотерапии федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; профессор кафедры рентгенологии и радиологии федерального государственного бюджетного образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образовавовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125993, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1; профессор кафедры онкологии и рентгенорадиологии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»; 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: nudnov@rncrr.ru; ORCID 0000–0001–5994–0468;
- Бит-Юнан Елизавета Владимировна клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: lizamur69@mail.ru; ORCID 0009–0005–4313–9031;
- Шахвалиева Элина Саид-Аминовна клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: Shelina9558@gmail.com; ORCID 0009–0000–7535–8523;
- Борисов Александр Александрович клинический ординатор по специальности «радиология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: aleksandrborisov10650@gmail.com; ORCID 0000-0003-4036-5883;
- Султанова Пери Назимовна клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: sulperi14@mail.ru; ORCID 0009–0009–3006–8210;
- Иванников Михаил Евгеньевич клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: ivannikovmichail@gmail.com; ORCID 0009–0007–0407–0953;
- Карелидзе Давид Георгиевич клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: David\_ka@mail.ru; ORCID 0009–0002–0375–1291;
- Бочкова Полина Игоревна клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: Polina97@mail.ru; ORCID 0009–0000–5736–4057.

#### Information about the authors:

Nikolai V. Nudnov — deputy director for research, head of the research department of complex diagnostics and radiotherapy of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; professor of the department of roentgenology and radiology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 125993, Moscow, Barrikadnaya st., 2/1, bld.1; professor of the department of oncology and radiology of the Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia; 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6; e-mail: nudnov@rncrr.ru; ORCID 0000-0001-5994-0468;

- *Elizaveta V. Bit-Yunan* clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: lizamur69@mail.ru; ORCID 0009–0005–4313–9031;
- Elina S.-A. Shakhvalieva clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: Shelina9558@gmail.com; ORCID 0009–0000–7535–8523;

Aleksander A. Borisov — clinical resident in «radiology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: aleksandrborisov10650@gmail.com; ORCID 0000-0003-4036-5883;

Peri N. Sultanova — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: sulperi14@mail.ru; ORCID 0009–0009–3006–8210;

Mikhail E. Ivannikov — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: ivannikovmichail@gmail.com; ORCID 0009–0007–0407–0953; David G. Karelidze — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the

Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: David\_ka@mail.ru; ORCID 0009–0002–0375–1291;

Polina I. Bochkova — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: Polina97@mail.ru; ORCID 0009–0000–5736–4057.

- 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.Нуднов*; сбор и математический анализ данных — *Е.В.Бит-Юнан, Э.С.-А.Шахвалиева, А.А.Борисов, П.Н.Султанова, М.Е.Иванников, Д.Г.Карелидзе, П.И.Бочкова*; подготовка рукописи — *Н.В.Нуднов, Е.В.Бит-Юнан, Э.С.-А.Шахвалиева, А.А.Борисов, П.Н.Султанова, М.Е.Иванников, Д.Г.Карелидзе, П.И.Бочкова*.
- Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: NNV aided in the concept and plan of the study; B-YuEV, ShES.-A., BAA, SPN, IME, KDG, BPI provided collection and mathematical analysis of data; NNV, B-YuEV, ShES.-A., BAA, SPN, IME, KDG, BPI preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось. Adherence to ethical standards. The approval of the ethics committee was not required.

> Поступила/Received: 15.05.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Cao G., Zhang J., Lei X. et al. Differentiating Primary Tumors for Brain Metastasis with Integrated Radiomics from Multiple Imaging Modalities // Disease markers. 2022. P. 5147085. doi: https://doi.org/10.1155/2022/5147085.
- Ortiz-Ramón R., Larroza A., Ruiz-España S. et al. Classifying brain metastases by their primary site of origin using a radiomics approach based on texture analysis: a feasibility study // Eur. Radiol. 2018. No. 28. P. 4514–4523. doi: https://doi.org/10.1007/s00330-018-5463-6.
- Zhu F.Y., Sun Y.F., Yin X.P. et al. Using machine learning-based radiomics to differentiate between glioma and solitary brain metastasis from lung cancer and its subtypes // Discov. Onc. 2023. No. 14. P. 224. doi: https://doi.org/10.1007/s12672-023-00837-6.
- Jekel L., Brim W.R., von Reppert et al. Machine Learning Applications for Differentiation of Glioma from Brain Metastasis-A Systematic // Review. Cancers. 2022. Vol. 14. No 6. P. 1369. doi: https://doi.org/10.3390/cancers14061369.
- Pollo B. Pathological classification of brain tumors // The Quarterly Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2021. Vol. 56. No 2. P. 103–111. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-54879-7\_5.
- 6. Salmanpour M.R., Hosseinzadeh M., Rezaeijo S.M. et al. Fusion-based tensor radiomics using reproducible features: Application to survival prediction in head and neck cancer // Computer methods and programs in biomedicine. 2023. No 240. P. 107714. doi: https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107714.
- Zwanenburg A., Vallières M., Abdalah et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping // Radiology. 2020. Vol. 295. No 2. P. 328–338. doi: https://doi.org/10.1148/radiol.2020191145.
- Shin L, Kim H., Ahn S.S. et al. Development and Validation of a Deep Learning-Based Model to Distinguish Glioblastoma from Solitary Brain Metastasis Using Conventional MR Images // AJNR. American journal of neuroradiology. 2021. Vol. 42. No 5. P. 838–844. doi: https://doi.org/10.3174/ajnr.A7003.
- Samani Z.R., Parker D., Wolf R. et al. Distinct tumor signatures using deep learning-based characterization of the peritumoral microenvironment in glioblastomas and brain metastases // Scientific reports. 2021. Vol. 11. No 1. P. 14469. doi: https://doi.org/10.1038/s41598-021-93804-6.
- Tateishi M., Nakaura T., Kitajima M. et al. An initial experience of machine learning based on multi-sequence texture parameters in magnetic resonance imaging to differentiate glioblastoma from brain metastases // Journal of the neurological sciences. 2020. No. 410. P. 116514. doi: https://doi.org/10.1016/j.jns.2019.116514.
- 11. Gultekin M.A., Peker A.A. et al. Differentiation of lung and breast cancer brain metastases: Comparison of texture analysis and deep convolutional neural networks // Journal of Clinical Ultrasound. 2023. Vol. 53. P. 1579–1586. doi: https://doi.org/10.1002/jcu.23558.
- Bai J., He M., Gao E., Yang G. et al. Radiomic texture analysis based on neurite orientation dispersion and density imaging to differentiate glioblastoma from solitary brain metastasis // BMC cancer. 2023. Vol. 23. No 1. P. 1231. doi: https://doi.org/10.1186/s12885-023-11718-0.
- Zhang Y., Zhang H., Zhang H., Ouyang Y., Su R. et al. Glioblastoma and Solitary Brain Metastasis: Differentiation by Integrating Demographic-MRI and Deep-Learning Radiomics Signatures // Journal of magnetic resonance imaging. 2023. Published online: JMRI. 10.1002/jmri.29123. doi: https://doi.org/10.1002/jmri.29123.
- Shi J.B.S., Chen H.M.S., Wang X. Using Radiomics to Differentiate Brain Metastases From Lung Cancer Versus Breast Cancer, Including Predicting Epidermal Growth Factor Receptor and human Epidermal Growth Factor Receptor 2 Status // Journal of Computer Assisted Tomography. 2023. Vol. 47. No 6. P. 924–933. doi: https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001499.

# УДК 616.24-006.6 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-39-47

# АДАПТИВНАЯ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКАЯ РАДИОХИРУРГИЯ ПРИ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ МЕТАСТАЗАХ НЕМЕЛКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЕГКОГО: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

# О. А. ГиземоваФ\*, П. Д. ДемешкоФ

Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова, Минск, Беларусь

**ВВЕДЕНИЕ:** Немелкоклеточный рак легкого (НМРЛ) является частой причиной развития метастатического поражения головного мозга (МПГМ). Адаптивная стереотаксическая радиохирургия (АСРХ) может быть полезной опцией в лечении пациентов с крупными нерезектабельными метастазами в головном мозге (МГМ), однако на сегодняшний день имеется лишь ограниченное число исследований, позволяющих оценить эффективность данного метода.

**ЦЕЛЬ:** Анализ эффективности АСРХ у пациентов с крупными МГМ НМРЛ, не подлежащими хирургической резекции. **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Ретроспективно проанализированы данные 37 пациентов, страдающих НМРЛ, с 45 крупными (>2 см в диаметре, объемом >4 см<sup>3</sup>) нерезектабельными МГМ, пролеченными на Гамма-ноже модели Perfexion с использованием двух- и трехфракционной АСРХ. Из них метастазами плоскоклеточного рака легкого были 14 очагов (31,1%), метастазами аденокарциномы — 31 (68,9%). Медиана объема очагов, подвергнутых АСРХ, составила 9,8 (разброс значений 4,6–30,6 см<sup>3</sup>). Изучены динамика изменения объема между фракциями и кумулятивная инцидентность локальных рецидивов (КИЛР), выполнен ROC-анализ для параметра объема опухоли. Оценены выживаемость без интракраниального прогрессирования (иВБП) и общая выживаемость (OB).

Статистика: Для установления статистической значимости различий для связанных переменных использованы критерий Вилкоксона для попарных сравнений, критерий Фридмана для трех и более групп. Для расчета показателей локального контроля, иВБП и ОВ использован метод Каплана–Мейера. Для сравнения данных по выживаемости в двух группах использован критерий log-rank.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Медиана периода наблюдения составила 19,4 мес. При двухфракционной АСРХ медиана объема метастаза уменьшилась на 28,6% ко второму сеансу, при трехфракционной — на 40,0% к третьему сеансу. Показатели 1-годичной и 2-летней КИЛР составили соответственно 8,6±6,1%; 26,1±12,3%. При ROC-анализе площадь под кривой (AUC) для параметра объема опухоли составила 0,80 (95% ДИ 0,6–1,0) с оптимальным порогом разделения значений 18,5 см<sup>3</sup>. Различия в КИЛР между группами с объемом метастаза <18,5 см<sup>3</sup> и ≥18,5 см<sup>3</sup> были статистически значимыми (p<0,001). Медиана иВБП составила 8,3 (95% ДИ 5,9–10,7) месяца, 1-годичная иВБП — 33,5±8,1%; 2-летняя — 7,8±5,2%. Медиана ОВ составила 13,2 (95% ДИ 9,0–17,4) месяца; 1-годичная ОВ — 52,9±8,7%, 2-летняя — 22,4±8,8%.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Используя двух и трехфракционную АСРХ, мы подвели к крупным МГМ дозы, достаточные для высокого уровня локального контроля при приемлемом риске развития нейротоксичности: 1-годичный локальный контроль составил 91,4%; 2-летний — 73,9%; частота развития радионекроза — 8,5%. Было выявлено статистически значимое влияние объема очага ≥18,5 см<sup>3</sup> на риск развития локальных рецидивов. Показатели иВБП и ОВ после проведения АСРХ можно считать удовлетворительными для данной группы пациентов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** АСРХ является эффективной и, возможно, оптимальной стратегией в лечении крупных нерезектабельных МГМ у пациентов с НМРЛ, однако необходимо сравнение с другими современными методами лучевого лечения, такими как стереотаксическая гипофракционированная лучевая терапия и ОВГМ с симультанным интегрированным бустом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гамма-нож, метастатическое поражение головного мозга, адаптивная стереотаксическая радиохирургия, немелкоклеточный рак легкого. локальный рецидив

### \* Для корреспонденции: Гиземова Ольга Анатольевна, e-mail: gizemova@mail.ru

Для цитирования: Гиземова О.А., Демешко П.Д. Адаптивная стереотаксическая радиохирургия при церебральных метастазах немелкоклеточного рака легкого: ретроспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 3. С. 39–47, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-39-47.

© Авторы, 2024. 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

# ADAPTIVE STEREOTACTIC RADIOSURGERY FOR CEREBRAL METASTASES OF NON-SMALL CELL LUNG CANCER: A RETROSPECTIVE STUDY

*Volha A. Hizemava*®\*, *Pavel D. Dziameshka*® N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Belarus, Minsk

**INTRODUCTION:** Non-small cell lung cancer (NSCLC) is a common cause of brain metastases (BM). Adaptive stereotactic radiosurgery (ASRS) may be a useful option in the treatment of patients with large unresectable brain metastases (BM), but to date there are only a limited number of studies evaluating the effectiveness of this method.

OBJECTIVE: To analyze the effectiveness of ASRS in patients with large BM NSCLC not subject to surgical resection.

**MATERIAL AND METHODS:** We retrospectively analyzed data from 37 patients suffering from NSCLC with 45 large (>2 cm in diameter, volume >4 cm<sup>3</sup>) unresectable BM treated with the Gamma Knife Perfexion model using two- and three-fraction ASRS. Of these, 14 foci (31.1%) were metastases of squamous cell lung cancer, 31 (68.9%) were metastases of adenocarcinoma. The median volume of lesions treated with ASRS was 9.8 (range 4.6-30.6 cm<sup>3</sup>). The dynamics of volume changes between fractions and the cumulative incidence of local relapses (CILR) were studied, and ROC analysis was performed for the tumor volume parameter. Intracranial progression-free survival (iPFS) and overall survival (OS) were assessed.

*Statistics:* To establish statistical significance of differences for related variables, the Wilcoxon test for pairwise comparisons and the Friedman test for three or more groups were used. The Kaplan-Meier method was used to calculate local control, PFS, and OS rates. The log-rank test was used to compare survival data in two groups.

**RESULTS:** The median follow-up period was 19.4 months. With two-fraction ASRS, the median volume of metastasis decreased by 28.6% by the second session, with three-fraction — by 40.0% by the third session. The 1-year and 2-year CILR rates were 8.6±6.1%, respectively; 26.1±12.3%. In ROC analysis, the area under the curve (AUC) for tumor volume was 0.80 (95% CI 0.6–1.0) with an optimal cutoff of 18.5 cm<sup>3</sup>. The differences in CILR between the groups with metastasis volume <18.5 cm<sup>3</sup> and ≥18.5 cm<sup>3</sup> were statistically significant (p<0.001). Median iPFS was 8.3 (95% CI 5.9–10.7) months, 1-year iPFS was 33.5±8.1%; 2-year —  $7.8\pm5.2\%$ . Median OS was 13.2 (95% CI 9.0–17.4) months; 1-year OS —  $52.9\pm8.7\%$ , 2-year —  $22.4\pm8.8\%$ .

**DISCUSSION:** Using two- and three-fraction ASRS, we delivered doses to large BM sufficient for a high level of local control with an acceptable risk of neurotoxicity: 1-year local control was 91.4%; 2-year — 73.9%; the incidence of radionecrosis is 8.5%. A statistically significant effect of lesion volume  $\ge 18.5$  cm<sup>3</sup> on the risk of local recurrence was found. The iPFS and OS indicators after ASRS can be considered satisfactory for this group of patients.

**CONCLUSION:** ASRS is an effective and perhaps optimal strategy for the treatment of large unresectable BM in patients with NSCLC, but comparison with other modern radiotherapy modalities such as stereotactic hypofractionated radiotherapy and WBRT with simultaneous integrated boost is needed.

KEYWORDS: Gamma Knife; metastatic brain damage, adaptive stereotactic radiosurgery, non-small cell lung cancer, local relapse

### \* For correspondence: Volha A. Hizemava, e-mail: gizemova@mail.ru

For citation: Hizemava V.A., Dziameshka P.D. Adaptive stereotaxic radiosurgical for cerebral metastases of non-small cell lung cancer: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 39–47, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-39-47.

Введение. Немелкоклеточный рак легкого (НМРЛ) является частой причиной развития метастатического поражения головного мозга (МПГМ). Широкое использование магнитно-резонансной томографии (МРТ) и совершенствование системных методов лечения приводит к увеличению частоты регистрации МГМ, которые выявляются более чем у 10% пациентов с НМРЛ в общей когорте и у 26% пациентов с IV стадией заболевания на момент диагностики [1].

МПГМ серьезно влияет на качество жизни пациентов и является одной из основных причин их смерти, в связи с чем поиск эффективных методов лечения МГМ остается актуальным в современных условиях. Разработка и все более широкое использование противоопухолевых лекарственных средств проникающих через гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), привело к успехам в терапии МПГМ у пациентов с подтвержденными драйверными мутациями в опухоли (например, рецептор эпидермального фактора роста (EGFR), киназа анапластической лимфомы (ALK) и онкоген с-гоз 1 (ROS1)), и несколько изменило подход к лечению этой группы пациентов, особенно в случае бессимптомного МПГМ [2, 3]. Немаловажную роль для интракраниального контроля играет применение иммунотерапии при наличии экспрессии лиганда рецептора программируемой клеточной гибели (PD-L1) [4].

Тем не менее хирургическая резекция и лучевые методы остаются стандартом лечения пациентов с МПГМ. Облучение всего головного мозга (ОВГМ) применяется в послеоперационном периоде с целью улучшения интракраниального контроля [5], а также является распространенным методом лечения пациентов с множественными МГМ [6]. Следует отметить, что такой современный подход, как исключение из зоны облучения гиппокампа, не всегда возможен при ОВГМ, а в стандартном варианте ОВГМ ассоциировано с ухудшением нейрокогнитивных функций и существенным снижением качества жизни [7]. Учитывая тенденцию к увеличению продолжительности жизни даже у пациентов с МПГМ, объяснимо стремление избежать либо максимально отсрочить ОВГМ и минимизировать позднюю нейротоксичность, используя высокопрецизионные методы лучевого лечения.

Классическая однофракционная стереотаксическая радиохирургия (СРХ) высоко эффективна при МГМ небольших размеров, но ее применение ограничено при крупных (>2 см в диаметре) очагах из-за невозможности подвести высокую дозу за одну фракцию без увеличения риска развития постлучевых осложнений. Рекомендуемые RTOG 90-05 дозы 15-18 Гр при крупных метастазах в большинстве случаев недостаточны для достижения адекватного уровня локального контроля [8]. И поэтому в случае невозможности хирургической резекции при крупных МГМ методами выбора могут быть стереотаксическая радиотерапия (СРТ) или поэтапная (адаптивная) СРХ. Поэтапная радиохирургия была предложена в 2009 г. Ү. Нідисні и соавт. [9] и в 2012 г. модифицирована S. Yomo и соавт. [10]. Суть метода в том, что необходимая доза подводится к крупному метастатическому очагу за 2-3 фракции с интервалом в 2-4 недели. Наличие большого интервала является принципиальным отличием АСРХ от СРТ, где фракции, как правило, проводятся ежедневно или через день. Благодаря значительному интервалу между фракциями при АСРХ происходит редукция объема опухоли ко второму и третьему сеансам, что позволяет уменьшить объем облучаемых тканей и снизить риск постлучевых осложнений.

Таким образом, применение ACPX может быть полезной опцией в лечении пациентов с крупными нерезектабельными МГМ НМРЛ ввиду относительно высокой радиочувствительности опухоли и быстрого ответа на высокие дозы ионизирующего излучения, однако на сегодняшний день имеется лишь ограниченное число исследований, позволяющих оценить эффективность ACPX при МПГМ у пациентов с НМРЛ [11].

Целью нашего исследования являлся анализ эффективности ACPX у пациентов с крупными МГМ НМРЛ, не подлежащими хирургической резекции.

Материалы и методы. Исследование одобрено этическим комитетом РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова, протокол № 12, дата 11.12.2018. Информированное согласие получено от каждого пациента.

Проведен ретроспективный анализ результатов лечения 37 пациентов с крупными (>2 см в диаметре, объемом >4 см<sup>3</sup>) МГМ НМРЛ, которые были про-

лечены с использованием АСРХ в РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова в период с 2018 по 2023 г.

Хирургическая резекция метастазов не выполнялась в связи с высоким анестезиологическим риском, риском развития или усугубления неврологического дефицита после операции, а также при категорическом отказе пациента от хирургического вмешательства.

У 33 пациентов АСРХ была первичным лечением крупных очагов, у 2 пациентов АСРХ была выполнена на область рецидива в послеоперационной полости, у 2 пациентов — на зону рецидива после ранее проведенной СРХ.

В исследование не включались пациенты, у которых ACPX выполнялась после ранее проведенного ОВГМ.

Ожидаемая продолжительность жизни пациентов определялась на основании шкалы градуированной прогностической оценки выживаемости (GPA) [12].

Общая характеристика пациентов, включенных в исследование, приведена в табл. 1.

У 37 пациентов АСРХ были подвергнуты 45 крупных МГМ, диаметром более 2 см. Из них метастазами плоскоклеточного рака легкого были 14 очагов (31,1%), метастазами аденокарциномы — 31 (68,9%). Медиана объема очагов, подвергнутых АСРХ, составила 9,8 (разброс значений 4,6–30,6 см<sup>3</sup>).

СРХ была проведена на аппарате «Гамма-нож» модели Perfexion (Elekta, Швеция). Всем пациентам перед каждым сеансом лечения выполнялась иммобилизация головы с помощью стереотаксической рамы Лекселла. Топометрическая МРТ проводилась на томографах Magnetom Avanto (Siemens) и Optima MR 45W (General Electric) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Для планирования СРХ использовались Т1-взвешенные изображения с контрастным усилением двойной дозой препаратов гадолиния (0,2 ммоль/кг) в аксиальной плоскости без наклона с толщиной томографического слоя 1 мм. В некоторых случаях для получения дополнительной информации применялись другие режимы МРТ. Планирование СРХ осуществлялось с использованием планирующей системы Leksell Gamma Plan, версия 10.1 (Elekta).

Крупные МГМ были пролечены с использованием двух- либо трехфракционной АСРХ. Двухфракционная АСРХ выполнялась при метастазах объемом 4,1–20 см<sup>3</sup>. Краевая предписанная доза (ПД) при первом сеансе во всех случаях составляла 12 Гр, по 50% изодозе. При втором сеансе ПД определялась с учетом измененного объема очага и составляла 12–15 Гр. Если объем очага ко второму сеансу составляля ≥10 см<sup>3</sup>, то ПД составляла 12 Гр по 50% изодозе. Если объем очага был <10 см<sup>3</sup>, то доза эскалировалась до 13–15 Гр по 50% изодозе. Выбор ПД при втором сеансе мы осуществляли на основании критерия V<sub>12Гр</sub> (объем тканей, облученных дозой 12 Гр,

### Таблица 1

### Общая характеристика пациентов, включенных в исследование

General characteristics of patients included in the study

Table 1

Показатель	Значение
	37
	57
пол: мужской, абс. (%) женский, абс. (%)	$32 \ (86,5) \\ 5 \ (13,5)$
Возраст: медиана (разброс значений), годы <70 лет, абс. (%) ≥70 лет, абс. (%)	$59,1 (34-84) \\31 (83,8) \\6 (16,2)$
Статус по шкале Карновского: медиана (разброс значений), % ≤60, абс. (%) 70, абс, (%) 80, абс. (%) 90-100, абс. (%)	70 (40-90) 3 (8,1) 17 (45,9) 16 (43,2) 1 (2,7)
Наличие экстракраниальных метастазов на момент АСРХ: есть, абс. (%) нет, абс. (%)	21 (56,8) 16 (43,2)
Морфологическая и молекулярно-генетическая структура: плоскоклеточный рак, абс. (%) аденокарцинома, абс. (%) EGFR «+», абс. (%) ALK «+», абс. (%) ROS 1 «+», абс. (%) PDL 1 «+», абс. (%) Cтатус EGFR, ALK, ROS1, PDL1 отрицательный или неизвестен, абс. (%)	12 (32,4) 25 (67,6) 4 (16) 1 (4) 1 (4) 1 (4) 18 (72)
Индекс GPA	
Пациенты с плоскоклеточным раком: 0–1, абс. (%) 1,5–2, абс. (%) 2,5–3, абс. (%) 3,5–4, абс. (%)	1 (2,7)  4 (10,8)  5 (13,5)  2 (5,4)
Пациенты с аденокарциномой: 0–1, абс. (%) 1,5–2, абс. (%) 2,5–3, абс. (%) 3,5–4, абс. (%)	$\begin{array}{c} 6(16,2)\\ 11(29,7)\\ 4(10,8)\\ 0(0) \end{array}$
Индекс GPA не определен	4 (10,8)
Число очагов, подвергнутых АСРХ	45
Общее число метастазов у одного пациента на момент АСРХ медиана (разброс значений), абс. (%)	3(1-4)

включая объем метастаза) [13], и стремились адаптировать ПД так, чтобы  $V_{12\Gamma p}$  не превышал 10 см<sup>3</sup>. Интервал между фракциями составлял 4 недели. Суммарная биологическая эквивалентная доза при  $\alpha/\beta=10$  Гр (BED $_{\alpha/\beta10\Gamma p}$ ) за два сеанса составила 52,8–63,9 Гр. При МГМ объемом >20 см<sup>3</sup>, а также в случае рядом расположенных крупных очагов, суммарный объем которых превышал 20 см<sup>3</sup>, выполнялась трехфракционная ACPX с интервалом между фракциями 2 недели и ПД за фракцию 10 Гр по 50% изодозе (BED $_{\alpha/\beta10\Gamma p}=60$  Гр). На очаги <4 см<sup>3</sup> была проведена классическая однофракционная CPX (ПД 20–24 Гр).

Оценка локального контроля проводилась на основании данных МРТ головного мозга с конт-

растным усилением с использованием вольюметрии, проведенной на станции планирования Leksell Gamma Plan, версия 10.1 (Elekta). Увеличение объема опухоли >20% от минимального расценивалось как потеря локального контроля.

Постлучевые осложнения анализировались на основании данных МРТ головного мозга и оценки функционального и неврологического статуса с использованием шкалы токсичности RTOG/EORTC [14].

Информация о статусе пациента уточнялась на основании данных белорусского канцер-регистра. Для установления статистической значимости различий для связанных переменных использовали критерий Вилкоксона для попарных сравнений, критерий Фридмана для трех и более групп. Для расчета показателей локального контроля, иВБП и ОВ использован метод Каплана–Мейера. Для сравнения данных по выживаемости в двух группах использован критерий log-rank. Проведена оценка влияния различных факторов на развитие локальных рецидивов и радионекроза после ACPX, а также на показатели ОВ пациентов с использованием однофакторного регрессионного анализа пропорциональных рисков Кокса. Для статистически значимых переМедиана объема очагов, подвергнутых двухфракционной ACPX, при первом сеансе составила 8,4 (разброс значений 4,6–20,0 см<sup>3</sup>), Ко второму сеансу медиана объема уменьшилась на 28,6% и составляла 6,0 (разброс значений 0,67–19,73) см<sup>3</sup>. Уменьшение объема очагов ко второму сеансу было статистически значимым (p<0,001) (рис. 1). Медиана V<sub>12Гр</sub> при втором сеансе составила 9,0 см<sup>3</sup> (разброс значений 2,4–19,7) см<sup>3</sup>.



Рис. 1. Динамика изменения объема очагов при двухфракционной адаптивной стереотаксической радиохирургии Fig. 1. Dynamics of changes in the volume of lesions during two-fraction ASRS

менных были построены ROC-кривые с определением AUC и порога разделения значений, соответствующего оптимальному соотношению чувствительности и специфичности.

Обработка данных и расчет статистических параметров проводились с использованием IBM SPSS Statistics (версия 23).

**Результаты.** Всем пациенты, включенным в исследование, были выполнены запланированные сеансы ACPX, однако у 4 (10,8%) больных не были соблюдены сроки проведения сеансов по причинам, не связанным с интракраниальным процессом. Медиана периода наблюдения составила 19,4 мес.

**Локальный контроль.** Двухфракционная АСРХ была проведена на 34 МГМ. Интервал между сеансами при двухфракционной АСРХ составил 21– 70 дней (медиана 28 дней). Объем очагов уменьшился ко второму сеансу в 26 (76,5%) случаев, в 4 (11,8%) случаях объем очагов оставался без динамики, в 4 (11,8%) — объем увеличился. Трехфракционная АСРХ была проведена на 11 очагов. Интервал между сеансами составил 13–28 дней (медиана 14 дней). ПД 10 Гр за фракцию. Объем очагов уменьшился к третьему сеансу в 7 (63,6%) случаях, в 1 (9,0%) — объем очагов оставался стабильным, в 3 (27,3%) — объем увеличился.

Медиана объема очагов, подвергнутых трехфракционной ACPX, при первом сеансе составила 21,7 (разброс значений 4,5–30,6) см<sup>3</sup>. Ко второму сеансу медиана объема уменьшилась на 25,8% и составляла 16,1 (разброс значений 4,3–27,0) см<sup>3</sup>, к третьему сеансу — на 40,0% и составляла 13,0 (разброс значений 4,5–25,6) см<sup>3</sup>. Уменьшение объема очагов не достигло статистической значимости (p=0,078), что, возможно, обусловлено малым числом наблюдений (рис. 2).

За период наблюдения было зафиксировано 4 случая локальных рецидивов после проведенной АСРХ. Все случаи были зарегистрированы у пациентов с аденокарциномой легкого. Показатели 6-месячной,



Рис. 2. Динамика изменения объема очагов при трехфракционной адаптивной стереотаксической радиохирургии Fig. 2. Dynamics of changes in the volume of lesions during three-fraction ASRS

1-годичной, 2-летней КИЛР составили соответственно 2,9±2,8%; 8,6±6,1%; 26,1±12,3%. Таким образом, в 73,9±12,3% был достигнут 2-летний локальный контроль (рис. 3).



Рис. 3. Кумулятивная инцидентность локальных рецидивов после проведенной адаптивной стереотаксической радиохирургии

Fig. 3. Cumulative incidence of local relapses after adaptive stereotactic radiosurgery

Было исследовано влияние объема опухоли и подведенной дозы (BED) на риск развития локального рецидива. В однофакторном регрессионном анализе влияние объема опухоли оказалось статистически значимым (табл. 2).

Для параметра объема опухоли был проведен ROC-анализ. AUC составила 0,80 (95% ДИ 0,6– 1,0) с оптимальным порогом разделения значений 18,5 см<sup>3</sup>, соответствующим чувствительности 75,0% и специфичности 91,2%. Частота развития локальных рецидивов за период наблюдения в очагах объемом менее 18,5 см<sup>3</sup> составила 2,6%, а в очагах объемом, равным или превышающим расПо данным МРТ радионекроз был зарегистрирован в 4 (8,5%) случаях и клинически проявлялся судорожным синдромом у 2 пациентов и нарастанием гемипареза у 2 пациентов. Симптоматика была купирована длительным применением стероидов и противосудорожных препаратов.

Не было выявлено статистически значимого влияния на риск развития радионекроза объема и локализации очага, подведенной дозы, показателя V<sub>12Гр</sub> для двухфракционной ACPX, морфологической структуры первичной опухоли.

**Выживаемость без интракраниального** прогрессирования. За период наблюдения у 4 (10,8%) пациентов был зарегистрирован локальный рецидив, у 10 (27,0%) — появление новых очагов, у 4 (10,8%) — лептоменингеальное поражение. Медиана иВБП составила 8,3 (95% ДИ 5,9–10,7) месяца, 6-месячная, 1-годичная и 2-летняя иВБП составили соответственно 64,0±8,0%; 33,5±8,1%; 7,8±5,2% (рис. 4).



Рис. 4. Выживаемость без интракраниального прогрессирования Fig. 4. Survival without intracranial progression

Таблица 2

Результаты однофакторного регрессионного анализа Кокса

**Results of Univariate Cox Regression Analysis** 

Table 2

Параманны	Результаты регрессионного анализа				
Переменные	OP	95% ДИ	PCox		
Объем	1,22	1,04-1,45	0,02		
Доза (BED)	1,15	0,85-1,58	0,37		

считанное значение — 42,9%. Различия в КИЛР между двумя группами были статистически значимыми (p<0,001). При этом медиана КИЛР во второй группе составила 10,3±6,1 месяца, а 1-годичный локальный контроль составил 64,3±21,0%.

Постлучевые осложнения. Все пациенты удовлетворительно перенесли АСРХ. Острой постлучевой токсичности выше II степени не наблюдалось. Не было выявлено статистически значимых различий в иВБП у пациентов с МГМ плоскоклеточного рака и аденокарциномы; медиана иВБП составила соответственно 8,3 (95% ДИ 2,8–13,8) месяца и 7,8 (95% ДИ 5,6–10,0) мес (p=0,3).

При выявлении интракраниального прогрессирования у 2 (5,4%) пациентов было выполнено хирургическое лечение, у 7 (18,9%) — СРХ, у 5 (13,5%) — ОВГМ. По показаниям пациенты получали системную терапию, в том числе таргетные препараты, обладающие интракраниальной активностью. У 1 пациента применялась иммунотерапия атезолизумабом.

**Общая выживаемость.** Медиана ОВ после проведенной АСРХ в общей когорте составила 13,2 (95% ДИ 9,0–17,4) мес; 6-месячная, 1-годичная, 2-летняя выживаемость составили соответственно  $69,3\pm7,7\%$ ;  $52,9\pm8,7\%$ ;  $22,4\pm8,8\%$ . У пациентов с плоскоклеточным раком легкого показатели ОВ были хуже, чем у пациентов с аденокарциномой легкого, однако статистически значимо не различались. Медиана ОВ у пациентов с аденокарциномой составила 16,6 (95% ДИ 10,5–22,6) мес, а у пациентов с плоскоклеточным раком — 8,3 (95% ДИ 9,0–17,4) мес (p=0,1) (рис. 5).



Рис. 5. Общая выживаемость у пациентов с аденокарциномой и плоскоклеточным раком легкого

Fig. 5. Overall survival in patients with adenocarcinoma and squamous cell lung cancer

Следует отметить, что у пациентов с плоскоклеточным раком значение медианы OB совпало со значением медианы иВБП, а у пациентов с аденокарциномой показатель медианы OB был значительно выше, чем медианы иВБП (p=0,02).

Не было выявлено статистически значимого влияния на показатели ОВ пола, возраста, статуса по шкале Карновского, наличия экстракраниальных метастазов, числа МГМ, общего объема МГМ (p>0,05).

**Обсуждение.** Нами были продемонстрированы результаты лечения неоперабельных пациентов, страдающих НМРЛ, с крупными (объемом >4 см<sup>3</sup>) МГМ с использованием двух и трехфракционной АСРХ, проведен анализ частоты локальных рецидивов и постлучевых осложнений, оценена иВБП и ОВ.

Эффективность и безопасность метода поэтапной или адаптивной СРХ в лечении крупных нерезектабельных МГМ была продемонстрирована в ряде исследований [16–21]. Тем не менее роль данного метода для пациентов с МГМ из различных первич-

ных очагов до сих пор не определена. D. Ito и соавт. проанализировали результаты лечения методом двухфракционной поэтапной СРХ у пациентов с МГМ, рака молочной железы, гастроинтестинального рака и НМРЛ, акцентировали внимание на различия в результатах лечения у пациентов с МГМ из различных первичных очагов и рекомендовали данный метод к использованию для пациентов с крупными МГМ рака молочной железы и НМРЛ при невозможности хирургической резекции [16]. МГМ НМРЛ являлись наиболее частым субстратом для проведения поэтапной радиохирургии и в других исследованиях, показавших удовлетворительные результаты, не уступающие и даже превосходящие результаты гипофракционированной СРХ [17]. В 2018 г. Т. Serizawa и соавт. опубликовали крупное исследование, включающее 335 пациентов, однако данная работа была нацелена на сравнение результатов применения двух- и трехэтапной радиохирургии, а не на различия в результатах, связанные с морфологической структурой МГМ [18].

В большинстве исследований использована двухэтапная СРХ с применением различных комбинаций ПД, при этом суммарная BED, как правило, аналогична BED, получаемой при подведении 20 Гр (BED=60) и более за одну фракцию, что позволяет достигать высокого уровня локального контроля, а проведение сеансов с интервалом 3–4 нед — снизить риск тяжелой нейротоксичности.

В нашем исследовании у большей части пациентов была использована двухфракционная ACPX, однако у пациентов с МГМ объемом >20 см<sup>3</sup> мы использовали трехфракционную ACPX, так как предполагали, что данный вариант позволит более безопасно подвести необходимую дозу к особенно крупным очагам. При эскалациии ПД во время второго сеанса двухфракционной ACPX мы стремились соблюдать рекомендованные значения критерия  $V_{12\Gamma p}$ , являющегося доказанным предиктором развития радионекроза,  $V_{12\Gamma p} \leq 10 \text{ см}^3$  [13]. Суммарная BED составляла 52,8–63,9 Гр, и ПД, выбранные в этом диапазоне, на риск развития локального рецидива и радионекроза значимого влияния не имели.

Мы выявили статистически значимое уменьшение очагов ко второму сеансу радиохирургии при двухфракционной ACPX и значительное (40,0%), однако статистически незначимое, — при трехфракционной ACPX, что позволило уменьшить облучаемый объем и снизить лучевую нагрузку на здоровую мозговую ткань.

Используя ACPX, мы получили высокие показатели локального контроля у пациентов с нерезектабельными МГМ НМРЛ: 1-годичный локальный контроль составил 91,4%; 2-летний — 73,9%. Выявлено статистически значимое влияние объема очага ≥18,5 см<sup>3</sup> на риск развития локальных рецидивов, однако даже в этих случаях уровень локального контроля был приемлемым и 1-годичный локальный контроль составил 64,3%. При этом риск развития радионекроза был относительно невысоким и составил 8,5%.

ACPX, как правило, не требовала госпитализации, проводилась в амбулаторных условиях и хорошо переносилась пациентами. Тяжелых острых лучевых осложнений не наблюдалось. При наличии показаний в перерыве между сеансами проводились курсы системной терапии с целью адекватного контроля над экстракраниальным процессом.

Показатели иВБП и ОВ также были удовлетворительными. Медиана иВБП и ОВ составили соответственно 8,3 и 13,2 мес. При этом у пациентов с аденокарциномой легкого проведение локального и адекватного системного лечения после выявления интракраниального прогрессирования позволило значительно продлить жизнь этим пациентам.

Заключение. АСРХ является эффективной и, возможно, оптимальной стратегией в лечении крупных нерезектабельных МГМ у пациентов с НМРЛ, однако необходимо сравнение с другими современными методами лучевого лечения, такими как стереотаксическая гипофракционированная лучевая терапия, и ОВГМ с симультанным интегрированным бустом.

#### Сведения об авторах:

- Гиземова Ольга Анатольевна кандидат медицинских наук, врач радиационный онколог государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова»; 223040, Республика Беларусь, Минская область, Минский район, аг. Лесной; e-mail: gizemova@mail.ru; ORCID 0000-0002-9724-9625;
- Демешко Павел Дмитриевич доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова»; 223040, Республика Беларусь, Минская область, Минский район, ar. Лесной; e-mail: pdemeshko@me.com; ORCID 0000–0002–1324–3656.

#### Information about the authors:

- Volha A. Hizemava Cand. of Sci. (Med.), radiation oncologist, N. N. Alexandrov Belarus National Cancer Center, 223040, Belarus, Minsk region, Lesnoy; e-mail: gizemova@mail.ru; ORCID 0000-0002-9724-9625;
- Pavel D. Dziameshka Dr. of Sci. (Med.), professor, chief researcher, Laboratory of radiation therapy, N. N. Alexandrov Belarus National Cancer Center; 223040, Belarus, Minsk region, Lesnoy; e-mail: pdemeshko@me.com; ORCID 0000–0002–1324–3656.
- Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — П.Д.Демешко; сбор и анализ данных — О.А.Гиземова; подготовка к публикации — О.А.Гиземова, П.Д.Демешко.
- Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: PDD aided in the concept and plan of the study; OAG provided collection and analysis of data; OAG, PDD preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интереса, связанных с публикацией настоящей статьи. Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

- Соответствие принципам этики: Исследование одобрено этическим комитетом РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова, протокол № 12, от 11.12.2018. Информированное согласие получено от каждого пациента.
- Adherence to ethical standards: The study was approved by the Ethics Committee of the N. N. Alexandrov Russian National Research Center for Oncology and Medical Radiology, Protocol No. 12, from 12.11.2018. Informed consent is obtained from each of the patient.

Поступила/Received: 27.03.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

# ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- 1. Waqar S.N., Samson P.P., Robinson C.G. et al. Non-small-cell lung cancer with brain metastasis at presentation // *Clin. Lung. Cancer.* 2018. Vol. 19, No. 4. P. 373–379. doi: 10.1016/j.cllc.2018.01.007.
- Solomon B.J., Bauer T.M., Ignatius Ou S.H. et al. Post hoc analysis of lorlatinib intracranial efficacy and safety in patients with ALK-positive advanced non-smallcell lung cancer from the phase III CROWN study // J. Clin. Oncol. 2022. Vol. 40, No. 31. P. 3593–3602. doi: 10.1200/JCO.21.02278.
- 3. Vogelbaum M.A., Brown P.D., Messersmith H. et al. Treatment for brain metastases: ASCO-SNO-ASTRO guideline // J. Clin. Oncol. 2022. Vol. 40, No. 5. P. 492–516. doi: 10.1200/JCO.21.02314.
- 4. Nadal E., Rodríguez-Abreu D., Simó M. et al. Phase II trial of atezolizumab combined with carboplatin and pemetrexed for patients with advanced nonsquamous nonsmall-sell lung cancer with untreated brain metastases (Atezo-Brain, GECP17/05) // J. Clin. Oncol. 2023. Vol. 41, No. 28. P. 4478–4485. doi: 10.1200/JCO.22.02561.
- Kocher M., Soffietti R., Abacioglu U. et al. Adjuvant whole-brain radiotherapy versus observation after radiosurgery or surgical resection of one to three cerebral metastases: results of the EORTC 22952–26001 study // J. Clin. Oncol. 2011. Vol. 29, No. 2. P.134–141. doi: 10.1200/JCO.2010.30.1655.

- 6. Sas-Korczynska B., Rucinska M. et al. WBRT for brain metastases from non-small cell lung cancer: for whom and when? Contemporary point of view // J. Thorac. Dis. 2021. Vol. 13, No. 5. P. 3246–3257. doi: 10.21037/jtd-2019-rbmlc-06.
- Chang E.L., Wefel J.S., Hess K.R. et al. Neurocognition in patients with brain metastases treated with radiosurgery or radiosurgery plus whole-brain irradiation: a randomised controlled trial // Lancet Oncol. 2009. Vol. 10, No. 11. P.1037–1044. doi: 10.1016/S1470-2045(09)70263-3.
- Shaw E., Scott C., Souhami L. et al. Single dose radiosurgical treatment of recurrent previously irradiated primary brain tumors and brain metastases: final report of RTOG protocol 90–05 // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2000. Vol. 47, No. 2. P. 291–298. doi: 10.1016/s0360-3016(99)00507-6.
- 9. Higuchi Y., Serizawa T., Nagano O. et al. Three-staged stereotactic radiotherapy without whole brain irradiation for large metastatic brain tumors // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2009. Vol. 74, No. 5. P. 1543–1538. doi: 10.1016/j.ijrobp.2008.10.035.
- Yomo S., Hayashi M., Nicholson C. A prospective pilot study of two-session Gamma Knife surgery for large metastatic brain tumors // J. Neurooncol. 2012. Vol. 109, No. 1. P. 159–165. doi: 10.1007/s11060-012-0882-8.
- 11. Осинов И.К., Голанов А.В., Банов С.М. и др. Стажированная радиохирургия в лечении пациентов с метастатическим поражением головного мозга // Нейрохирургия. 2021. Т. 3, С. 26–37. [Osinov I.K., Golanov A.V., Banov S.M. et al. Staged radiosurgery in the managment of patients with brain metastases // *Russian journal of neurosurgery*. 2021. Vol. 23, No. 1. P. 26–37 (In Russ.)] doi: 10.17650 / 1683-3295-2021-23-1-26-37.
- 12. Sperduto P.W., De B., Li J. et al. Graded prognostic assessment (GPA) for patients with lung cancer and brain metastases: initial report of the small cell lung cancer GPA and update of the non-small cell lung cancer GPA including the effect of programmed death ligand 1 and other prognostic factors // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2022. Vol. 114, No. 1. P. 60–74. doi: 10.1016/j.ijrobp.2022.03.020.
- 13. Korytko T., Radivoyevitch T., Colussi V. et al. 12 Gy gamma knife radiosurgical volume is a predictor for radiation necrosis in non-AVM intracranial tumors // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2006. Vol. 64, No. 2. P. 419–424. doi: 10.1016/j.ijrobp.2005.07.980.
- Cox J.D., Stetz J., Pajak T.F. et al. Toxicity criteria of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC) // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1995. Vol. 31, No. 5. P. 1341–1346. doi: 10.1016/0360-3016(95)00060-C.
- Shaw E., Scott C., Souhami L. et al. Single dose radiosurgical treatment of recurrent previously irradiated primary brain tumors and brain metastases: final report of RTOG protocol 90-05 // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2000. Vol. 47, No. 2. P. 291–298. doi: 10.1016/s0360-3016(99)00507-6.
- Ito D., Aoyagi K., Nagano O. et al. Comparison of two-stage Gamma Knife radiosurgery outcomes for large brain metastases among primary cancers // J. Neurooncol. 2020. Vol. 147, No. 1. P. 237–246. doi: 10.1007/s11060-020-03421-y.
- Terry F., Merenzon M., Daggubati L. et al. Two-stage radiosurgery for large brain metastases: a systematic review and meta-analysis of clinical outcomes // Neurosurg Focus. 2023. Vol. 55, No. 2. E5.
- Serizawa T., Higuchi Y., Yamamoto M. et al. Comparison of treatment results between 3- and 2-stage Gamma Knife radiosurgery for large brain metastases: a retrospective multi-institutional study // J. Neurosurg. 2018. Vol. 131, No. 1. P. 227–237. doi: 10.3171/2018.4.JNS172596.
- 19. Медведева К.Е., Баулин А.А., Лепилина О.Г. и др. Двухэтапная стажированная стереотаксическая радиохирургия на Гамма-ноже в лечении метастазов в головной мозг // *Радиация и риск.* 2022. Т. 3, № 1. С. 136–149. [Medvedeva K.E., Baulin A.A., Lepilina O.G. et al. Two-stage Gamma Knife radiosurgery for brain metastases. *Radiation and Risk*, 2022, Vol. 3, No. 1, pp. 136–149 (In Russ.)]. doi: 10.21870/0131-3878-2022-31-1-136-149.
- Cho A., Medvedeva K.E., Kranawetter B. et al. How to dose-stage large or high-risk brain metastases: an alternative two-fraction radiosurgical treatment approach // J. Neurosurg. 2022. Vol. 137. P. 1666–1675. doi: 10.3171/2022.2.JNS212440.
- Ильялов С.Р. Паршунина А.М., Квашнин К.М. и др. Стажированная радиохирургия крупного внутримозгового метастаза с масс-эффектом и дислокацией мозга: клиническое наблюдение // Нейрохирургия. 2022. Т. 24. С. 66–71. [Ilyalov S.R., Parshunina A.M., Kvashnin K.M. Staged radiosurgery of large brain metastasis with mass effect and brain dislocation: case report. Russian Journal of Neurosurgery, 2022, Vol. 24, pp. 66–71 (In Russ.)] doi: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-66-71.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2025 года. Подписной индекс: «Урал Пресс» (Пресса России) **014023** 

# УДК 615.84+616-073.75 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-48-57

# КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПРИ ОСТРОЙ ТРАВМЕ ОРБИТ У ДЕТЕЙ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

А. Р. Очилов**Ф**, Т. А. Ахадов**Ф**, А. В. Тимофеева**Ф**, Е. С. Зайцева**Ф**, О. В. Божко**Ф**, М. В. Ублинский**Ф**<sup>\*</sup>, Д. М. Дмитренко**Ф**, Е. В. Воронкова**Ф**, А. Н. Савицкая**Ф** 

Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Орбитальные повреждения составляют от 36 до 64% от всей тупой травмы костей лица. Диагностика переломов стенок орбиты проводится с помощью рентгенографии в нескольких проекциях и компьютерной томографии, реже применяется магнитно-резонансная томография. Часто из-за малого смещения отломков костей орбиты рентгенологическая диагностика затруднена. Мультиспиральная КТ с реконструкцией в сагиттальной и корональной проекциях и трехмерной (3D) реконструкцией предоставляет оптимальную и всеобъемлющую визуальную информацию о повреждении костных структур орбиты. Однако до сих пор нет четких показаний к применению каждого метода и нет полной картины КТ-характеристик повреждения орбиты. **ЦЕЛЬ:** Изучить диагностическую значимость компьютерной томографии при переломах орбиты у педиатрических пациентов при острой травме.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Ретро- и проспективно для оценки сочетанных повреждений орбиты с 01.01.2023 г. по 01.09.2023 г. проанализированы результаты КТ головы 94 пациентов с переломами лицевого черепа. У 63 детей (67,0%) выявлены переломы орбиты. Мальчиков было 44 (69,84%), девочек — 19 (30,15%), возраст — от 7 мес до 17 лет 10 мес (средний возраст 10,3 года).

*Статистика:* Для статистического анализа использовалась методика расчета номинальной корреляции с использованием коэффициента Крамера (V) при помощи программного пакета IBM SPSS Statistics.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Сочетанная травма наблюдалась у 30 (47,6%); изолированная — у 33 (52,36%). Количество и частота наблюдаемых переломов были следующими: верхняя стенка орбиты — 39 (61,9%); скуловой комплекс — 19 (30,1%); нижняя стенка орбиты — 43 (68,2%); носовая кость — 17 (26,9%); нижняя челюсть — 6 (9,5%); медиальная стенка орбиты — 28 (44,4%); верхняя челюсть — 27 (42,8%); альвеолярный отросток — 6 (9,5%); изолированная скуловая дуга — 14 (22,2%); Ле-Фор II — 1 (1,5%); Ле-Фор II — 2 (3,1%); и Ле-Фор III — 0 (0%). Гематомы орбиты были обнаружены у 25 пациентов (39,6%).

Установлена сильная корреляционная связь между наличием смежных переломов черепа и множественных переломов черепа (V=0,878, p<0,001), переломов лобной пазухи и гемосинусом лобной пазухи (V=0,69, p<0,001).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Переломы орбиты являются частым видом переломов лица, возникающие у детей при тупой изолированной и сочетанной травме. У детей с тупыми травмами КТ головы в сочетании с клиническим обследованием в настоящее время является оптимальным инструментом диагностики клинически значимых травм орбит. Имеется сильная корреляция между орбитальными гематомами и переломами свода орбиты, орбитальными гематомами и решетчатыми переломами, смежными переломами черепа и свода орбиты и смежными переломами черепа и решетчатой кости. Обследование с помощью КТ должно включать мультипланарные (в корональной и сагиттальной плоскостях) и 3D-реконструкции, которые помогают оценивать протяженность перелома, наличие диастаза, степень ущемления мышц. Исходя из полученных данных клиницист определяет необходимость оперативного вмешательства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети, травма, орбиты, компьютерная томография, переломы

### \* Для корреспонденции: Ублинский Максим Вадимович, e-mail: maxublinsk@mail.ru

Для цитирования: Очилов А.Р., Ахадов Т.А., Тимофеева А.В., Зайцева Е.С., Божко О.В., Ублинский М.В., Дмитренко Д.М., Воронкова Е.В., Савицкая А.Н. Компьютерная томография при острой травме орбит у детей: ретроспективное исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 48–57, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-48-57.

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

# COMPUTED TOMOGRAPHY OF ACUTE ORBITAL TRAUMA IN CHILDREN: A RETROSPECTIVE STUDY

Amir R. Ochilov<sup>®</sup>, Tolibjon A. Akhadov<sup>®</sup>, Anna V. Timofeeva<sup>®</sup>, Ekaterina S. Zajtseva<sup>®</sup>, Olga V. Bozhko<sup>®</sup>, Maxim V. Ublinsky<sup>®</sup>, D. M. Dmitrenko<sup>®</sup>, Elena V. Voronkova<sup>®</sup>, Anna N. Savitskaya<sup>®</sup> Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology, Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** Orbital injuries account for 36 to 64% of all blunt trauma to the facial bones. Diagnosis of orbital wall fractures is carried out using conventional radiography in several projections and computed tomography; magnetic resonance imaging is less commonly used. Often, due to the small displacement of orbital bone fragments, X-ray diagnosis is difficult. Multislice CT with reconstruction of sagittal, coronal projections and 3D in the bone window in such cases is the best visualization method. However, there are still no clear indications for the use of each method and there is no complete view of the CT characteristics of orbital damage.

**OBJECTIVE:** To study the diagnostic value of computed tomography of orbital fractures in pediatric patients with acute trauma. **MATERIAL AND METHODS:** Retro- and prospectively analyzed the results of CT scans of 94 patients with facial fractures from 01/01/2023 to 09/01/2023 to assess combined orbital injuries. Orbital fractures were detected in 63 children (67.0%). There were 44 boys (69.84%), 19 girls (30.15%) aged from 7 months to 17 years 10 months (average age 10.3).

*Statistics:* For statistical analysis, the method of calculating the nominal correlation using the Kramer coefficient (V) using the IBM SPSS Statistics software package was used.

**RESULTS:** Concomitant injury was observed in 30 (47.6%); isolated 33 (52.36%). The number and frequency of fractures observed were as follows: superior wall of the orbit -39 (61.9%); zygomatic complex -19 (30.1%); lower wall of the orbit -43 (68.2%); nasal bone -17 (26.9%); lower jaw -6 (9.5%); medial wall of the orbit -28 (44.4%); upper jaw -27 (42.8%); alveolar process -6 (9.5%); isolated zygomatic arch -14 (22.2%); Le Fort type I -1 (1.5%); Le Fort type II -2 (3.1%); and Le Fort type III -0 (0%). Orbital hematomas were found in 25 patients (39.6%).

It was revealed a strong correlation between the presence of contiguous skull fractures and multiple skull fractures (V=0.878, p<0.001), frontal sinus fractures and frontal sinus hemosinus (V=0.69, p<0.001).

**CONCLUSION:** Orbital fractures are a frequent type of facial fracture occurring in children with blunt isolated and combined trauma. In children with blunt trauma, head CT combined with clinical examination is currently the optimal tool for diagnosing clinically significant orbital injuries. There is a strong correlation between orbital hematomas and orbital vault fractures, orbital hematomas and lattice fractures, adjacent skull and orbital vault fractures, and adjacent skull and lattice fractures. CT examination should include multiplanar (in coronal and sagittal planes) and 3D reconstructions, which help to assess the extent of the fracture, the presence of diastasis, the degree of muscle impingement. Based on the data obtained, the clinician determines the need for surgical intervention.

KEYWORDS: children, trauma, orbits, computed tomography, fractures

### \* For correspondence: Maxim V. Ublinsky, e-mail: maxublinsk@mail.ru

For citation: Ochilov A.R., Akhadov T.A., Timofeeva A.V., Zajtseva E.S., Bozhko O.V., Ublinsky M.V., Dmitrenko D.M., Voronkova E.V., Savitskaya A.N. Computed tomography of acute orbital trauma in children: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 48–57, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-48-57.

Введение. Орбитальные повреждения составляют от 36 до 64% от всей тупой травмы костей лица. В 85% выявленных случаев переломов костей орбиты происходит госпитализация пациентов [1–4]. Во многих странах число травм орбит по данным GBD (The Global Burdenof Disease Study) растет [5]. По российским данным отмечен рост травм орбиты в результате ДТП с 4,9% в 2007 г. до 12,8% в 2010 г., а в общей статистике в последние годы преобладают бытовые травмы, достигая 64,5% случаев [6, 7]. При этом более частыми причинами травмы орбиты у детей являются: прямой удар (44–61%), ДТП (15,8%), падение с высоты (15%) при политравме и спортивный травматизм (9–11%) [5, 8–10].

Часто из-за малого смещения отломков костей орбиты рентгенологическая диагностика переломов

затруднена и малоинформативна. Мультиспиральная КТ с реконструкцией в сагиттальной и корональной проекциях и трехмерной (3D) реконструкцией предоставляет оптимальную и всеобъемлющую визуальную информацию о повреждении костных структур орбиты. Для оценки состояния внутриглазничного содержимого используются мягкотканный режим, а также магнитно-резонансная томография (МРТ). До настоящего времени нет четких показаний к применению каждого метода и нет полной картины КТхарактеристик повреждения орбиты [8, 11]. Ряд специализированных методик КТ лицевого скелета превосходят другие методы визуализации в характеристике повреждения костей лица [8, 12-14]. Однако исследования, проведенные в США и Южной Корее, показали, что бесконтрастная (нативная) КТ головы

помогает достоверно оценивать большинство травм орбиты у детей, что во многих случаях сокращает необходимость в использовании тонкосрезовых КТ орбит, которые увеличивают лучевую нагрузку у данной категории пациентов [15–17]. К сожалению, рекомендаций по визуализации орбит в аксиальной проекции, для выявления и оценки лицевых переломов у детей нет. В данной статье приводится описательное исследование для определения диагностической ценности КТ в оценке повреждений орбит у детей, что и определило цель нашего исследования.

**Цель.** Изучить диагностическую значимость компьютерной томографии при переломах орбиты у педиатрических пациентов при острой травме.

Материалы и методы. Исследование было одобрено локальным Комитетом института по этике (протокол № 1 от 07.12.2022). 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.



Рис. 1. Диаграмма топики и частоты диагностированных переломов лицевого черепа Fig. 1. Diagram of topics and frequency of diagnosed facial fractures

Нами ретро- и проспективно для оценки сочетанных повреждений орбиты с 01.01.2023 г. по 01.09.2023 г. проанализированы результаты КТ головы 94 пациентов с переломами лицевого черепа. У 63 детей (67,0%) выявлены переломы орбиты. Мальчиков было 44 (69,84%), девочек — 19 (30,15%), возраст — от 7 мес до 17 лет 10 мес (средний возраст 10 лет 3 мес).

Анализируемые данные включали время после травмы на момент исследования, возраст, механизм травмы, тип оперативного вмешательства, продолжительность пребывания в стационаре и оценку тяжести травм (ISS). Оцениваемыми ориентирами были крыша, дно и боковые стенки орбит, кости наружного носа и назион, скулово-лобный шов, большое затылочное отверстие, базион, опистион и задняя дуга C1. В результате анализа вышеуказанных данных проводился выбор плоскости реконструкции и анатомического покрытия.

У всех 63 детей КТ выполнена на 128-срезовом томографе (Philips) с мультипланарной реконструкцией (MPR), проекцией максимальной интенсивности (MIP) и 3D-изображениями; интервал реконструкции был 0,5 мм, толщина среза — 1 мм. Показатели рентгеновской трубки томографа (kV и mAs) выбирались и максимально снижались в зависимости от массы и возраста пациента, также использовалась программа iDose 4. Для исследований с внутривенным контрастированием применялся Ultravist370 (Йопромид) фирмы Байер АГ.

Для статистического анализа использовалась методика расчета номинальной корреляции с использованием коэффициента Крамера (V) при помощи программного пакета IBM SPSS Statistics.

**Результаты.** На рис. 1 и 2 представлены диаграммы топики и частоты диагностированных переломов лицевого скелета и причин травмы орбит соответственно.



**Рис.** 2. Диаграмма с указанием причин травмы орбиты **Fig.** 2. Diagram showing causes of orbital injury

На рис. 3–8 представлены примеры повреждения лицевого отдела черепа: перелом верхней стенки орбиты (рис. 3); перелом нижней стенки орбиты (рис. 4); перелом латеральной стенки орбиты (рис. 5); перелом по типу Ле-Фор I (рис. 6); перелом по типу Ле-Фор II (рис. 7); гематома мягких тканей головы и лица (рис. 8).

У 38 детей (60,3%) были множественные переломы. Сочетанные переломы черепа были обнаружены у 34 (53,9%) детей, из них: перелом лобной кости — у 28 (44,4%); височной кости — у 7 (11,1%); перелом пазух: лобной — у 17 (26,9%); клиновидной — у 12 (19,0%), клеток решетчатого лабиринта — у 27 (42,8%), верхнечелюстной — у 29 (46,03%). При этом гемосинус лобной пазухи выявлен у 19 (30,1%), клиновидной пазухи — у 11 (17,4%) детей, а гематомы орбиты были у 25 (39,6%) (рис. 6) пациентов.

Наряду с визуализацией костной ткани КТ применялась для оценки повреждений мягких тканей. Перелом верхней стенки орбиты привел к пролабированию вещества головного мозга через дефект в полость орбиты у 3 (4,7%) детей, а у 4 (6,3%) отмечалась ликворея. У 14 (22,2%) пациентов было пролабирование жировой клетчатки и глазодвигательных мышц в верхнечелюстную пазуху, что в 10 случаях (15,8%) привело к энофтальму и увеличению объема глазницы.



Рис. 3. Мальчик, 12 лет. КТ черепа. Краниофациальная травма. Аксиальная (*a*) MIP, сагиттальная (*б*) MPR, фронтальная (*в*) MPR, трехмерная реконструкция (*е*). Перелом верхней стенки правой орбиты (оранжевая стрелка)
Fig. 3. Boy, 12 years old. CT scan of the skull. Craniofacial trauma. Axial (*a*) MIP, sagittal (*б*) MPR, frontal (*в*) MPR, three-dimensional reconstruction (*е*). Fracture of the superior wall of the right orbit (orange arrow)



**Рис. 4.** Мальчик, 11 лет. КТ черепа. Краниофациальная травма. Аксиальная (*a*) MPR, сагиттальная (*б*) MPR, фронтальная (*в*) MPR, трехмерная реконструкция (*г*). Оскольчатый перелом нижней стенки правой орбиты (оранжевая стрелка). Пролабирование парабульбарной жировой клетчатки в полость орбиты (желтая стрелка). Эмфизема орбиты (серая стрелка)

**Fig. 4.** Boy, 11 years old. CT scan of the skull. Craniofacial trauma. Axial (*a*) MPR, sagittal (*δ*) MPR, frontal (*β*) MPR, three-dimensional reconstruction (*ε*). Comminuted fracture of the inferior wall of the right orbit (orange arrow). Prolapse of parabulbar fat into the orbital cavity (yellow arrow). Orbital emphysema (gray arrow)



Рис. 5. Мальчик, 15 лет. КТ черепа. Краниофациальная травма. Аксиальная (*a*) MPR, сагиттальная (*б*) MPR, фронтальная (*в*) MPR, трехмерная реконструкция (*г*). Перелом латеральной стенки правой орбиты (оранжевая стрелка)
Fig. 5. Boy, 15 years old. CT scan of the skull. Craniofacial trauma. Axial (*a*) MPR, sagittal (*б*) MPR, frontal (*в*) MPR, three-dimensional reconstruction (*г*). Fracture of the lateral wall of the right orbit (orange arrow)



Рис. 6. Мальчик, 16 лет. КТ черепа. Краниофациальная травма. Аксиальная (*a*) MPR, сагиттальная (б) MPR, фронтальная (*в*) MPR, трехмерная реконструкция (*г*). Перелом верхней челюсти по Ле-Фор I: перелом передних (оранжевая стрелка) и медиальных стенок (желтая стрелка) обеих гайморовых пазух, раковинного гребня (синяя стрелка), лобных отростков верхней челюсти (голубая стрелка). Эмфизема мягких тканей лицевого скелета (серая стрелка)
Fig. 6. Boy, 16 years old. CT scan of the skull. Craniofacial trauma. Axial (*a*) MPR, sagittal (*б*) MPR, frontal (*в*) MPR, three-dimensional reconstruction (*г*). Le For I maxillary fracture: fracture of the anterior (orange arrow) and medial walls (yellow arrow) of both maxillary sinuses, the shell ridge (dark blue arrow), and the frontal processes of the maxilla (light blue arrow). Emphysema of soft tissues of the facial skeleton (gray arrow)



**Рис. 7.** Мальчик, 10 лет. КТ черепа. Краниофациальная травма. Аксиальная (*a*) MPR, сагиттальная (*б*) MPR, фронтальная (*в*) MPR, трехмерная реконструкция (*е*). Перелом верхней челюсти по Ле-Фор II: перелом обеих носовых костей (фиолетовая стрелка), с переходом на медиальную (синяя стрелка) и нижнюю стенку (желтая стрелка) правой орбиты, с переходом на переднюю (оранжевая стрелка) и медиальную (зеленая стрелка) стенку правой ВЧП, с переходом на большое крыло клиновидной кости справа (розовая стрелка), с переходом на латеральную стенку правой клиновидной пазухи (красная стрелка). Гемосинус (бирюзовая стрелка). Множественные воздушные включения в мягких тканях лицевого скелета (серая стрелка)

**Fig. 7.** Boy, 10 years old. CT scan of the skull. Craniofacial trauma. Axial (*a*) MPR, sagittal ( $\delta$ ) MPR, frontal (*b*) MPR, three-dimensional reconstruction (*c*). Le Fort II maxillary fracture: fracture of both nasal bones (purple arrow), with transition to the medial (blue arrow) and inferior wall (yellow arrow) of the right orbit, with transition to the anterior (orange arrow) and medial (green arrow) wall right upper quadrant, with transition to the greater wing of the sphenoid bone on the right (pink arrow), with transition to the lateral wall of the right sphenoid sinus (red arrow). Hemasinus (turquoise arrow). Multiple air inclusions in the soft tissues of the facial skeleton (gray arrow)

Изменение линейного хода зрительного нерва отмечено у 6 (9,5%) пациентов. Открытое поверхностное повреждение мягких тканей лица было у 36 детей (57,1%), в 28 случаях (44,4%) сопровождалось гема-

томами и отеком мягких тканей, у 4 детей (6,3%) внутриорбитально визуализировался воздух.

Установлена сильная корреляционная связь между наличием смежных переломов черепа и множественных



Рис. 8. Мальчик, 8 лет. КТ черепа. Краниофациальная травма. Аксиальная (*a*) MPR, сагиттальная (*б*) MPR, фронтальная (*в*) MPR. Гематома мягких тканей головы и лица (оранжевая стрелка)
 Fig. 8. Boy, 8 years old. CT scan of the skull. Craniofacial trauma. Axial (*a*) MPR, sagittal (*б*) MPR, frontal (*в*) MPR. Soft tissue hematoma of the head and face (orange arrow)

Обсуждение. Одной из главных причин нарушений зрения является травма орбит, доходящая у детей до 64 % от всех повреждений лица [2, 18, 19]. Диапазон распределения повреждений по возрасту колеблется от 4-7 (до 43%) до 9-12 лет (до 82%) [7, 20]. Для детской популяции в современное время характерно преобладание сочетанных травм (от 22,7 до 91,8%) [2, 21]. По результатам отечественных исследований в общем учете преобладают бытовые травмы орбиты (64,5%), также отмечается рост орбитальных повреждений в результате ДТП. Среди травм глаза наиболее часто наблюдаются тупые травмы (65-80%) [1]. Чаще встречаются переломы нижней стенки орбиты (39%) [3, 10]. По результатам нашего исследования в течение девяти месяцев 2023 года у 63 детей на первое место среди причин травмы орбит вышло падение с высоты (50,7%), на второе — ДТП с участием пешехода (15,8%), на третье — ДТП с участием пассажира (14,2%), на четвертое — несчастные случаи (12,6%) и на пятое — спортивная травма (6,3%). При обследовании этих детей при компьютерной томографии у 63 (67,0%) выявлены переломы орбиты, из них у 30 (47,6%) была сочетанная и 33 (52,36%) изолированная травма орбиты.

в наше исследование, выполнялась КТ по поводу сочетанной или изолированной ЧМТ. Менее чем у половины детей по данным КТ были выявлены переломы орбиты, и менее чем у 7% детей определялся перелом орбиты, требующий оперативного вмешательства [3, 14]. В нашем исследовании общая КТ головы выявила переломы орбит у 63 пациентов, из них оперативное вмешательство потребовалось 18 (28,5%). Все обследованные дети были из категории сочетанной множественной травмы.

Для достоверной оценки переломов орбитальных костей, глаза и его вспомогательных структур следует обязательно анализировать реконструированные изображения с толщиной 1,00 мм в двух плоскостях [26-29]. Для выявления переломов нижней и верхней стенок орбиты, ее деформации, наличия орбитальной грыжи в верхнечелюстную пазуху или мозговой грыжи в орбиту, разрыва экстраокулярных мышц оптимальная информация может быть получена в корональной проекции. Для диагностики переломов медиальной и латеральной стенок орбиты, зрительного нерва и его канала, а также прямых экстраокулярных мышц аксиальная проекция визуализации является оптимальной. Отсутствие между костью и мышцей гиподенсной полоски — это свидетельство ущемления мышцы. На этот факт указывает также дислокация глазного яблока к одной из стенок. При односторонних переломах объем



**Рис. 9.** Мальчик, 9 лет. КТ черепа. Краниофациальная травма. Аксиальная (*a*) MPR, фронтальная (*б*) MPR. Перелом заднего отдела канала зрительного нерва (белая стрелка)

**Fig. 9.** Boy, 9 years old. CT scan of the skull. Craniofacial trauma. Axial (*a*) MPR, frontal (*b*) MPR. Posterior optic canal fracture (white arrow)

Исследования показали, что такие методы, как МРТ и УЗИ полезны при диагностике и лечении переломов дна орбиты [22–24]. Однако подавляющее большинство специалистов считают, что КТ является предпочтительным методом визуализации для подтверждения диагноза перелома костей лицевого черепа, особенно орбит, за счет высоких значений чувствительности и специфичности в пределах от 88,0% до 100,0% в выявлении переломов костей лица [10, 12, 16, 25]. Всем детям, которые включены и симметрию формы глазниц, расположение глазных яблок и экстраокулярных мышц и зрительного нерва, состояние канала зрительного нерва необходимо сравнить с нормальной анатомией глазниц и их содержимым.

При оценке повреждения костных структур орбиты основное внимание уделяется нижней стенке, как чаще других подверженной переломам. Переломы нижней стенки орбиты без смещения отломков с ущемлением нижней прямой мышцы среди детей по частоте доходят до 70% в варианте линейного перелома по типу «капкана» [2, 4, 30]. В нашем исследовании из 63 детей у 15 (23,8%) при первичной КТ диагностирован перелом нижней стенки, который сочетался с переломом латеральной стенки, изолированный перелом медиальной стенки был у 28 (44,44%), верхней стенки в сочетании с глазничной поверхностью лобной кости и малого крыла клиновидной кости — у 4 (6,34%). Последние переломы расцениваются как более тяжелая травма, так как здесь в зрительном канале проходит зрительный нерв и глазная артерия (рис. 9). Кроме того, мы выявили на стороне перелома орбиты жидкостные или геморрагические включения в клетках решетчатого лабиринта у 27 (42,85%) детей.

Одним из преимуществ КТ является то, что с ее помощью выявлены все имевшиеся мелкие костные отломки, которые повреждали/могли повреждать мягкотканные структуры. КТ, четко визуализируя переломы в восьми костных контрфорсах, позволяет определить тип перелома и указывает на связанные с ними травмы мягких тканей, которые нередко требуют хирургического лечения.

Следует подчеркнуть, что в настоящее время КТ с мультипланарной и 3D-реконструкцией — это обязательное исследование у больных с травмой орбит, потому что выявленные особенности переломов Ле-Фора, назоэтмоидального комплекса, носовой кости, лицевых и решетчатых пазух, верхнечелюстного комплекса, приводящие к увеличению объема орбиты, к грыже или ущемлению экстраокулярных мышц и травмам глазного яблока, зрительного и подглазничного нерва определяют вариант оперативного лечения. По этим же данным КТ определяется площадь перелома, что в дальнейшем используется для определения формы и размера имплантата. На важность КТ с мультипланарной и 3D-реконструкцией указывают и другие исследования [13, 31, 32].

При отсутствии надежных клинических рекомендаций по визуализации переломов орбит/лица для скрининга исходя из исследований, проведенных в США и Южной Корее, можно прийти к выводу, что бесконтрастная (нативная) КТ головы толщиной среза 1 мм. помогает достоверно оценивать большинство травм орбиты у детей, что во многих случаях сокращает необходимость в использовании тонкосрезовых КТ орбит, которые увеличивают лучевую нагрузку у данной категории пациентов [15–17, 26–29]. Хотя другие методы, такие как МРТ, начинают использоваться не только в качестве дополнительного использования, но и основного.

Заключение. Переломы орбиты являются частым видом переломов лица, возникающие у детей при тупой изолированной и сочетанной травме. У детей с тупыми травмами КТ головы в сочетании с клиническим обследованием в настоящее время является оптимальным инструментом диагностики клинически значимых травм орбит. Имеется сильная корреляционная связь между наличием смежных переломов черепа и множественных переломов черепа (V=0,878, p<0,001), переломов лобной пазухи и гемосинусом лобной пазухи (V=0,69, p<0,001). Обследование с помощью КТ должно включать мультипланарные (в корональной и сагиттальной плоскостях) и 3D-реконструкции, которые помогают оценивать протяженность перелома, степень ущемления мышц, необходимость оперативного вмешательства и уменьшить риск развития осложнений.

#### Сведения об авторах:

- *Очилов Амир Равшанович* младший 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: ochilovar@zdrav.mos.ru; ORCID 0009-0000-0467-6225;
- Ахадов Толибджон 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; 127562, Москва, Каргопольская ул., д. 10; e-mail: akhadov@mail.ru; ORCID 0000–0002–3235–8854;
- Тимофеева Анна Вячеславовна детский хирург 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: TimofeevaAV4@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-6940-4535;
- 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: zajtsevaes2@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-6124-5410
- 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. Б. 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;
- Дмитренко Дмитрий Михайлович заведующий рентгеновским отделением 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; ORCID 0000–0003–1260–4509;

- Воронкова Елена Валерьевна 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: elena\_voronkova13@mail.ru; ORCID 0000-0001-8016-0853;
- Савицкая Анна Николаевна 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: savi.2021@bk.ru; ORCID 0009–0006–1319–3480.

Information about the authors:

- Amir R. Ochilov Jr. Researcher, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. Bolshaya Polyanka, 22; e-mail: ochilovar@zdrav.mos.ru; ORCID 0009-0000-0467-6225;
- Tolibjon A. Akhadov Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostic Methods, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 127562, Moscow, st. Kargopolskaya 10, apt. 301; e-mail: akhadov@mail.ru; ORCID 0000–0002–3235–8854;
- Anna V. Timofeeva pediatric surgeon, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. Bolshaya Polyanka, 22; e-mail: TimofeevaAV4@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-6940-4535;
- *Ekaterina S. Zajtseva* radiologist, Department of Radiation Diagnostic Methods, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 22; e-mail: zajtsevaes2@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-6124-5410
- Olga V. Bozhko Cand. of Sci. (Med.), leading researcher at the Department of Radiation Diagnostic Methods, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. Bolshaya Polyanka, 22; e-mail: bozhko\_olga@mail.ru; ORCID 0000–0002–4709–9461;
- Maxim V. Ublinsky Cand. of Sci. (Biol.), senior researcher, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. Bolshaya Polyanka, 22, apt. 137; e-mail: maxublinsk@mail.ru; ORCID 0000–0002–4627–9874; ORCID 0000–0002–4709–9461;
- *Dmitriy M. Dmitrenko* Head of Rg Department Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. Bolshaya Polyanka, 22; ORCID 0000–0003–1260–4509;
- *Elena V. Voronkova* researcher at the Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. B. Polyanka, 22; e-mail: elena\_voronkova13@mail.ru; ORCID 0000-0001-8016-0853;
- Anna N. Savitskaya radiologist, Department of Radiation Diagnostic Methods, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; 119180, Moscow, st. Bolshaya Polyanka, 22; e-mail: savi.2021@bk.ru; ORCID 0009–0006–1319–3480.
- 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, А.Р. Очилов, А.В. Тимофеева, О.В. Божко*, сбор и математический анализ данных — *А.Р. Очилов, Е. С. Зайцева, Е. В. Воронкова, А. Н. Савицкая*, подготовка рукописи — *Т.А. Ахадов, А.Р. Очилов, 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, ARO, AVT, OVB*, aided in the concept and plan of the study; *ARO, ESZ, EVV, ANS* provided collection and mathematical analysis of data; *TAA, ARO, AVZ, MVU* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Disclosure: The authors declare that they have no competing interests.

- Соответствие принципам этики: Исследование было одобрено локальным Комитетом института по этике (протокол № 1 от 07.12.2022). Информированное согласие было получено от всех участников, включенных в исследование, или их законных представителей.
- Adherence to ethical standards: The study was approved by the local Ethics Committee of the Institute (Protocol No. 1 dated 07.12.2022). Informed consent was obtained from all participants included in the study or their legal representatives.

Поступила/Received: 11.03.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

# ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Николаенко В.П., Астахов В.П. Часть 1. Эпидемиология и классификация орбитальных переломов. Клиника и диагностика переломов нижней стенки орбиты // Офтальмологические ведомостии. 2009. Т. 2, № 2. С. 56–70 [Nikolaenko V.P., Astahov V.P. Part 1. Epidemiology and classification of orbital fractures. Clinic and diagnosis of fractures of the lower wall of the orbit. Ophthalmological statements, 2009, Vol. 2, No. 2, pp. 56–70 (In Russ.)].
- Дроздова Е.А., Бухарина Е.С., Сироткина И.А. Эпидемиология, классификация, клиника и диагностика переломов орбиты при тупой травме (обзор литературы) // Практическая медицина. 2012. Т. 2, № 4 (59). С. 162–167 [Drozdova E.A, Buharina E.S., Sirotkina I.A. Epidemiology, classification, clinical picture and diagnosis of orbital fractures due to blunt trauma (literature review). Practical medicine, 2012, Vol. 2, No. 4 (59), pp. 162–167 [In Russ.)].
- Miller A.F., Elman D.M., Aronson P.L., Kimia A.A., Neuman M.I. Epidemiology and Predictors of Orbital Fractures in Children // Pediatr. Emerg. Care. 2018. Vol. 34, No. 1. P. 21–24. doi: 10.1097/PEC.00000000001306.
- Gómez Roselló E., Quiles Granado A.M., Artajona Garcia M., JuanPere Marti S., Laguillo Sala G., Beltran Marmol B., Pedraza Gutierrez S. Facial fractures: classification and highlights for a useful report // *Insights Imaging*. 2020. Vol. 11, No. 49. doi: 10.1186/s13244-020-00847-w.
- Lalloo R., Lucchesi L.R., Bisignano C., Castle C.D., Dingels Z.V., Fox J.T. et al. Epidemiology of facial fractures: incidence, prevalence and years lived with disability estimates from the Global Burden of Disease 2017 study // Inj. Prev. 2020. Vol. 26, No. 1. i27-i35. doi: 10.1136/injuryprev-2019-043297.

- Петраевский А.В., Гндоян И.А., Тришкин К.С., Виноградов А.Р. Глазной травматизм в Российской Федерации // Вестник офтальмологии. 2018. Т. 134. № 4.
   С. 80–83. [Petraevskiĭ A.V., Gndoian I.A., Trishkin K.S., Vinogradov A.R. Ocular traumatism in Russian Federation. Russian Annals of Ophthalmology. 2018.
   Vol. 134. № 4. P. 80–83. (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma201813404180.
- 7. Здоровцов Д.Р., Чурашов С.В., Куликов А.Н., Кольбин А.А. Моделирование механической травмы глаза. Актуальность. История вопроса // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 91–96. [Zdorovtsov D.R., Churashov S.V., Kulikov A.N., Kolbin A.A. Simulation of chemical eye injury. Relevance. Question of history // News of the Russian Military Medical Academy. 2021. Vol. 40. № 1. Р. 91–96. (in Russ.)]. doi: 10.17816/rmmar64493.
- Alcalá-Galiano A., Arribas-García I.J., Martín-Pérez M.A., Romance A., MontalvoMoreno J.J., Juncos J.M.M. Pediatric facial fractures: children are not just small adults // Radiographics. 2008. Vol. 28. P. 441–461. doi: 10.1148/rg.282075060.
- 9. Josef J.M., Glavas I.P. Orbital fractures: a review // Clinical Ophthalmology. 2011. Vol. 5. P. 95–100. doi: 10.2147/OPTH.S14972.
- Иванова В.Ф. Переломы нижней стенки орбиты у детей // Офтальмология Восточная Европа. 2017. Т. 4. С. 501–512 [Ivanova V.F. Fractures of the lower wall of the orbit in children. Ophthalmology Eastern Europe, 2017, Vol. 4, pp. 501–512 (In Russ.)].
- Wang L., Wang J. On the positive correlation between the percentage of acute fracture of medial orbital wall and the degree of injury of affected medial rectus muscle by CT image // European Journal of Radiology. 2011. Vol. 17, No. 6. P. 154–158. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.01.011.
- 12. Лежнев Д.А., Сангаева Л.М. Лучевые технологии в диагностике комбинированных повреждений костей лицевого черепа и структур орбиты // Сибирский медицинский журнал. 2010. Т. 25, № 3. С. 91–92 [Lezhnev D.A., Sangaeva L.M. Radiation technologies in the diagnosis of combined injuries to the bones of the facial skull and orbital structures // Sibirskij medicinskij zhurnal 2010, Vol. 25, No. 3, pp. 91–92 (In Russ.)].
- Talwar A.A., Heiman A.J., Kotamarti V.S., Bommareddy K., Harris E.S., Sandberg M.L. et al. High-Resolution maxillofacial computed tomography is superior to head computed tomography in determining the operative management of facial fractures // J. Surg. Res. 2020. Vol. 256. P. 381–389. doi: 10.1016/j.jss.2020.06.060.
- 14. Ricci J.A., Tran B.N.N., Ruan Q.Z., Lin S.J., Singhal D., Lee B.T. Comparing head and facial computed tomographic imaging in identifying operative facial fractures // Ann. Plast. Surg. 2018. Vol. 80. P. 219–222. doi: 10.1097/SAP.000000000001289.
- Marinaro J., Crandall C.S., Doezema D. Computed tomography of the head as a screening examination for facial fractures // Am.J. Emerg. Med. 2007. Vol. 25. P. 616–619. doi: 10.1016/j.ajem.2006.11.029.
- Ryu J., Yun S.J., Lee S.H., Choi Y.H. Screening of pediatric facial fractures by brain computed tomography: diagnostic performance comparison with facial computed tomography // Pediatr. Emerg. Care. 2020. Vol. 36. P. 125–129. doi: 10.1097/PEC.00000000001397.
- Lee S.H., Yun S.J., Ryu S., Choi S.W., Kim H.J., Kang T.K. et al. Brain computed tomography compared with facial 3-dimensional computed tomography for diagnosis of facial fractures // J. Pediatr. 2017. Vol. 184. P. 32–37. doi: 10.1016/j.jpeds.2017.01.036.
- 18. Эскина Э.Н., Карим-заде Х.Д. Эпидемиология детского офтальмотравматизма (обзор литературы) // Офтальмология. 2014. Т. 11, № 4. С. 10–16 [Eskina E.N. Karim-zadeh H.D. Epidemiology of childhood ophthalmic injuries (literature review). Oftal mologija, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 10–16 (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2014-4-10-16.
- Павлова О.Ю., Серова Н.С. Многосрезовая компьютерная томография в диагностике переломов глазниц // Вестник рентгенологии и радиологии. 2015. Т. З. С. 12– 17 [Pavlova O.Yu., Serova N.S. Multislice computed tomography in the diagnosis of orbital fractures. Bulletin of radiology and radiology, 2015, Vol. 3, pp. 12–17 (In Russ.)].
- Garcia T.A., McGetrick B.A., Janik J.S. Spectrum of ocular injuries in children with major trauma // Journal of Trauma Injury, Infection and Critical Care. 2005. Vol. 59. P. 169–174. doi: 10.1097/01.ta.0000174513.79115.7a.
- Quayle K.S., Powell E.C., Mahajan P., Hoyle J.D. Jr, Nadel F.M., Badawy M.K. et al. Epidemiology of blunt head trauma in children in U.S. emergency departments // N. Engl. J. Med. 2014. Vol. 371, No. 20. P. 1945–1947. doi: 10.1056/NEJMc1407902.
- 22. Stotland M.A., Do N.K. Pediatric orbital fractures // J. Craniofac. Surg. 2011. Vol. 22. P. 1230. doi: 10.1097/SCS.0b013e31821c0f52.
- Caranci F., Cicala D., Cappabianca S., Briganti F., Brunese L., Fonio P. Orbital fractures: role of imaging // Semin Ultrasound CT MR. 2012. Vol. 33. P. 385. doi: 10.1053/j.sult.2012.06.007.
- Schmutz B., Rahmel B., McNamara Z., Coulthard A., Schuetz M., Lynham A. Magnetic resonance imaging: an accurate, radiation-free, alternative to computed tomography for the primary imaging and three-dimensional reconstruction of the bony orbit // J. Oral. Maxillofac. Surg. 2014. Vol. 72. P. 611. doi: 10.1016/j.joms.2013.08.030.
- 25. Harbron R.W., Ainsbury E.A., Barnard S.G.R., Lee C., McHugh K., Berrington de González A. et al. Radiation dose to the lens from CT of the head in young people // Clin. Radial. 2019. Vol. 74, No. 816. e9–e17. doi: 10.1136/tsaco-2022-000899.
- 26. Joseph J.M., Glavas I.P. Orbital fractures: a review // Clin. Ophthalmol. 2011. Jan. 12. Vol. 5. P. 95–100. doi: 10.2147/OPTH.S14972.
- 27. Lin K.Y., Ngai P., Echegoyen J.C., Tao J.P. Imaging in orbital trauma // Saudi J. Ophthalmol. 2012 Oct. Vol. 26, No. 4. P. 427-432. doi: 10.1016/j.sjopt.2012.08.002.
- Jansen J., Maal T.J.J., Sabelis J.F., Schreurs R., Dubois, L. Diagnosis and Clinical Presentation, Workup and Decision-Making of Orbital Fractures // Gooris P.J., Mourits M.P., Bergsma J. (eds.) Surgery in and around the Orbit. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40697-3\_9.
- Araujo K. Pradeep P.S., Prasad R. Orbital fractures: Incidence and significance of imaging // International Journal of Frontiers in Medicine and Surgery Research. 2023. Vol. 3. P. 061–069. 10.53294/ijfmsr.2023.3.2.0078.
- Николаенко В.П., Астахов Ю.С. Лечение «взрывных» переломов нижней стенки орбиты. Часть 3: Характеристика используемых трансплантационных материалов. // Офтальмологические ведомости. 2012. Т. 5. С. 39–56. [Nikolaenko V.P., Astakhov Yu.S. Treatment of «burst» fractures of the inferior wall of the orbit. Part 3: Characteristics of the transplant materials used // Oftal mologicheskie vedomosti. 2012. V. 5. P. 39–56. [In Russ.]].
- Dreizin D., Nam A.J., Hirsch J., Bernstein M.P. New and emerging patient-centered CT imaging and image-guided treatment paradigms for maxillofacial trauma // Emergency Radiology. 2018. Vol. 25. P. 533–545. doi: 10.1007/s10140-018-1616-9.
- Nguyen B.N., Edwards M.J., Srivatsa S., Wakeman D., Calderon T., Lamoshi A. et al. Clinical and radiographic predictors of the need for facial CT in pediatric blunt trauma: a multi-institutional study // Trauma Surg Acute Care Open. 2022. Vol. 7, No. 1. e000899. doi: 10.1136/tsaco-2022-000899.

УДК 616.447-089.87 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-58-71

# ПРЕДОПЕРАЦИОННАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПАТОЛОГИИ ОКОЛОЩИТОВИДНЫХ ЖЕЛЕЗ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРВИЧНЫМ ГИПЕРПАРАТИРЕОЗОМ С ПОМОЩЬЮ ПЭТ/КТ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

В. А. Поспелов®\*, К. А. Погосян®, О. В. Юдина®, Р. В. Кириллов, Х. Х. Довлетмерзаева, Е. В. Иваниха®, М. А. Салов®, Т. Л. Каронова®, Д. В. Рыжкова®

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

**ВВЕДЕНИЕ:** Топическая диагностика патологически измененных околощитовидных желез (ОЩЖ) у пациентов с первичным гиперпаратиреозом (ПГПТ) представляет проблему, решение которой имеет особую важность при планировании объема хирургического вмешательства. Выбор диагностической модальности для определения локализации опухолей ОЩЖ зависит от доступности метода для конкретного медицинского центра. ПЭТ/КТ является перспективным методом, позволяющим определить локализацию аденомы ОЩЖ.

**ЦЕЛЬ:** Анализ опыта применения ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином и ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-холином для предоперационной диагностики патологии околощитовидных желез у пациентов с первичным гиперпаратиреозом.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В исследование были включены 72 пациента с установленным диагнозом ПГПТ, прошедшие оперативное лечение. Перед оперативным вмешательством всем пациентам были выполнены лабораторные и инструментальные исследования в объеме: анализ крови на паратгормон, ионизированный кальций, 25(OH)D, креатинин, фосфор, УЗИ шеи, компьютерная томография шеи с внутривенным болюсным контрастированием, ПЭТ/КТ.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Самые высокие показатели диагностической точности (ДТ) в группе пациентов перед первичной операцией показала ПЭТ/КТ — 90,9%, по сравнению с УЗИ (89,6%) и рентгеновской компьютерной томографией (КТ) с внутривенным контрастированием (84,9%). В группе одиночных аденом эктопированных ОЩЖ ПЭТ/КТ также обладала более высокой ДТ — 92,8%, чем другие модальности. У пациентов с рецидивом или персистенцией заболевания показатели информативности КТ с внутривенным контрастированием и ПЭТ/КТ были сопоставимы (чувствительность — 100%, специфичность — 94,1%, ДТ — 96,2%).

**ОБСУЖДЕНИЕ:** В алгоритм предоперационного обследования пациентов для выявления расположения патологических ОЩЖ сейчас входит визуализация двумя модальностями: УЗИ шеи и радионуклидная визуализация: планарная сцинтиграфия (вымывание/субтракционная), ОФЭКТ, ОФЭКТ-КТ. При сомнительных результатах на втором этапе проводится компьютерная томография шеи с внутривенным контрастированием или ПЭТ/КТ. Ни одна из модальностей не обладает 100% диагностической точностью. В нашем исследовании было показано преимущество ПЭТ/КТ перед УЗИ и КТ с внутривенным контрастированием в группе пациентов, которым планируется первичное хирургическое лечение. В небольшой группе пациентов перед повторной операцией были продемонстрированы высокие показатели информативности методов ПЭТ/КТ и КТ с внутривенным контрастированием, что подтверждает большой потенциал данных методик у этих пациентов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином или <sup>11</sup>С-холином обладает высокими показателями диагностической точности у пациентов с первичным гиперпаратиреозом перед оперативным вмешательством. ПЭТ/КТ и КТ с внутривенным контрастированием показали одинаково высокие показатели диагностической точности для диагностики аденомы околощитовидной железы при персистенции или рецидиве заболевания у пациентов с первичным гиперпаратиреозом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** околощитовидная железа, первичный гиперпаратиреоз, паратгормон, ультразвуковое исследование, компьютерная томография, позитронно-эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с компьютерной томографией

\* Для корреспонденции: Поспелов Виктор Алексеевич, e-mail: victorpospelov@list.ru

Для цитирования: Поспелов В.А., Погосян К.А., Юдина О.В., Кириллов Р.В., Довлетмерзаева Х.Х., Иваниха Е.В., Салов М.А., Каронова Т.Л., Рыжкова Д.В. Предоперационная визуализация патологии околощитовидных желез у пациентов с первичным гиперпаратиреозом с помощью ПЭТ/КТ: ретроспективное исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 58–71, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-58-71.

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

# PREOPERATIVE VISUALIZATION OF PARATHYROID PATHOLOGY IN PATIENTS WITH PRIMARY HYPERPARATHYROIDISM USING PAT/KT: A RETROSPECTIVE STUDY

Victor A. Pospelov\*<sup>®</sup>, Karina A. Pogosyan<sup>®</sup>, Olga V. Yudina<sup>®</sup>, Roman V. Kirillov, Khairiya Kh. Dovletmerzaeva, Elena V. Ivanikha<sup>®</sup>, Maksim A. Salov<sup>®</sup>, Tatiana L. Karonova<sup>®</sup>, Darya V. Ryzhkova<sup>®</sup> Almazov National Medical Center of the Ministry of Health of Russia, St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** Topical diagnosis of pathologically altered parathyroid glands in patients with primary hyperparathyroidism is a challenge both for specialists of radial diagnostics and for planning the scope of surgical intervention. The choice of diagnostic modality for localization of parathyroid glands depends on the availability of the method for a particular medical center. PET/CT is a promising method to determine the localization of parathyroid adenoma

**OBJECTIVE:** To analyze the experience of using PET/CT with <sup>11</sup>C-methionine and PET/CT with <sup>11</sup>C-choline for preoperative diagnosis of parathyroid pathology in patients with primary hyperparathyroidism.

**MATERIALS AND METHODS:** 72 patients diagnosed with PHPT and underwent surgical treatment were included in the study. Before surgical intervention all patients underwent laboratory and instrumental investigations in the scope of: blood tests for PTH, TTH, ionized calcium, calcitonin, 25(OH)D, creatinine, phosphorus, ultrasound of the neck, computer tomography of the neck with intravenous bolus contrasting.

**RESULTS:** PET/CT showed the highest rates of DA in the patient group before primary surgery -90.9%, compared with ultrasound (89.6%) and CT with IV contrast (84.9%). In the group of solitary adenomas of ectopic MTCS, PET/CT also had a higher DA -92.8% than the other modalities. In patients with relapsed or persistent disease, the informativity rates of CT with intravenous contrast and PET/CT were similar (Se -100%, Sp -94.1%, DT -96.2%).

**DISCUSSION:** The algorithm for preoperative evaluation of patients to identify the location of pathologic parathyroid glands now includes imaging with two modalities: Neck ultrasound and radionuclide imaging: planar scintigraphy (washout/subtraction), SPECT, SPECT-CT. If the results are questionable, a CT scan of the neck with contrast or PET/CT is performed as a second step. None of the modalities has 100% diagnostic accuracy. Our study demonstrated the superiority of PET/CT over ultrasound and CT w/in contrast in a group of patients scheduled for primary surgical treatment. In a small group of patients, high informative rates of PET/CT and CT with contrast were demonstrated before reoperation, confirming the great potential of these techniques in these patients.

**CONCLUSION:** PET/CT with <sup>11</sup>C-methionine and PET/CT with <sup>11</sup>C-choline have high diagnostic accuracy in patients with primary hyperparathyroidism before reoperation. PET/CT and CT with contrast showed similarly high diagnostic accuracy for the diagnosis of parathyroid adenoma with persistence or recurrence of the disease in patients with primary hyperparathyroidism.

**KEYWORDS:** parathyroid gland, primary hyperparathyroidism, parathormone, ultrasound, computed tomography, positron emission computed tomography combined with computed tomography

### \* For correspondence: Victor A. Pospelov, e-mail: victorpospelov@list.ru

For citation: Pospelov V.A., Pogosyan K.A., Yudina O.V., Kirillov R.V., Dovletmerzaeva H.H., Ivanikha E.V., Salov M.A., Karonova T.L., Ryzhkova D.V. Preoperative visualization of parathyroid pathology in patients with primary hyperparathyroidism using PAT/KT: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 58–71, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-58-71.

Первичный Введение. гиперпаратиреоз (ПГПТ) — одно из распространенных заболеваний эндокринной системы, которое характеризуется гиперпродукцией паратгормона одной или несколькими патологическими околощитовидными железами. В 85-90% случаев причиной ПГПТ является солитарная аденома околощитовидной железы (ОЩЖ). Множественное поражение и рак ОЩЖ встречаются реже, в 5-10% и 1% случаев соответственно. В 90-95% случаев ПГПТ является спорадическим заболеванием, а наследственные формы занимают 5-10% [1]. Диагноз устанавливается на основе данных лабораторных исследований: повышенного уровня кальция в сыворотке крови, низкого уровня фосфора и при повышенном уровне паратиреоидного гормона (ПТГ).

Распространенность ПГПТ в общей популяции составляет от 0.86 до 1% [2]. У мужчин и женщин в возрасте до 45 лет заболевание встречается с одинаковой частотой, но после 45 лет преобладает у женщин. В разных странах распространенность заболевания различается. В США составляет 233 на 100000 у женщин и 85 на 100000 у мужчин, с самой высокой общей распространенностью среди афроамериканских и европеоидных женщин в возрасте 70-79 лет, с показателями 1409 и 1110 на 100 000 соответственно. В Испании распространенность ПГПТ оценивается специалистами на уровне 40,3 на 100000 у женщин и 13,7 на 100 000 у мужчин. В Дании — 16 на 100 000 населения. В Чешской Республике заболеваемость находится на уровне 24 случая на 100 000 человек.

В Сербии частота заболевания составляет 0,3% среди всего населения в целом. Распространенность ПГПТ среди в Китае составляет 0,2%. В Южной Африке — 78 на 100000 госпитализированных пациентов [3]. В Российской Федерации составляет 0,2 случая на 100 тыс. населения, в Москве — 2,37 случая на 100000 [4].

В соответствии с классификацией существует несколько форм ПГПТ: симптомный (манифестный) ПГПТ, который характеризуется поражением костей и органов-мишеней, и бессимптомный ПГПТ — без специфических клинических проявлений заболевания. Также существуют два варианта ПГПТ. Гиперкальциемический вариант характеризуется повышением уровня кальция в сыворотке крови в сочетании с повышенным уровнем ПТГ. Нормокальциемический вариант характеризуется верхненормальным уровнем общего и ионизированного кальция в сыворотке крови в сочетании с повышенным уровнем ПТГ [1].

Оперативное лечение рекомендовано всем пациентам с симптомным ПГПТ. Хирургическое лечение может быть показано и в случае бессимптомного ПГПТ после оценки соотношения риск/польза для конкретного пациента. Эффективность хирургического лечения достигает 95-98% с частотой послеоперационных осложнений 1-2% [1]. Хирургический подход оправдан, так как является единственным методом полного излечения, относительно безопасен, а также имеет преимущества перед консервативной тактикой с точки зрения экономических эффектов [5]. В последние десятилетия селективные и малоинвазивные практики наиболее часто используются для лечения первичного гиперпаратиреоза. Существуют и альтернативные подходы, рекомендующие рутинное выполнение двусторонней ревизии шеи, особенно в клиниках, выполняющих большое количество операций по поводу ПГПТ [5]. В любом случае результаты оперативного лечения ПГПТ в высокой степени зависят от точности локализации патологических ОЩЖ на предоперационном этапе.

В предоперационной визуализации первой линии сейчас чаще всего используют сочетание ультразвукового исследования (УЗИ) шеи и сцинтиграфии околощитовидных желез с <sup>99m</sup>Tc-МИБИ. В случае совпадения результатов исследования обоих методов дальнейшая дополнительная визуализация не проводится. При расхождении данных используются дополнительные методики, к которым относятся ОФЭКТ/КТ, КТ шеи с контрастным усилением, МРТ шеи и ПЭТ/КТ с различными РФЛП [1].

Результативность УЗИ в значительной степени зависит от оператора, но в экспертных центрах достигает высокой диагностической точности [6]. Однако его диагностический потенциал значительно снижается в случаях эктопированных аденом околощитовидных желез [7]. Необходимо также учитывать, что узловые образования щитовидной железы или лимфатические узлы могут создавать сложности интерпретации и приводить к ложноположительным результатам сонографического исследования [8].

Для проведения сцинтиграфического исследования обычно используют <sup>99</sup>mTc-МИБИ, так как клетки аденомы паращитовидной железы богаты митохондриями, которые активно поглощают данный РФЛП. Однако существуют исключения, когда РФЛП из патологических ОЩЖ быстро вымывается [9]. В этих случаях могут применяться субтракционные протоколы исследования, ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ. ОФЭКТ/КТ, в свою очередь, начинают чаще использовать в первой линии, и она становится методом выбора для выявления патологических ОЩЖ [10].

Компьютерная томография шеи с внутривенным контрастированием обладает преимуществом в случае эктопированных околощитовидных желез и при множественных аденомах [11]. Методика предполагает высокую лучевую нагрузку и необходимость применения йодсодержащего контрастного вещества.

Магнитно-резонансная томография с динамическим контрастированием редко используется, так как считается, что методика обладает низкой чувствительностью [12]. Хотя существуют исследования, показывающие высокую чувствительность и специфичность данного метода [13].

В последние годы в отечественной и зарубежной литературе появились публикации, посвященные топической диагностике аденом ОЩЖ с помощью позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с рентгеновской компьютерной томографией  $(\Pi \Im T/KT)$ С различными РФЛП [14-17]. Наибольшая диагностическая эффективность ПЭТ/КТ была установлена для РФЛП <sup>11</sup>С-метионином [18, 19] и холином, меченным радиоизотопами <sup>11</sup>С или <sup>18</sup>F [20], особенно в случаях предшествующих отрицательных или противоречивых результатов локализации аденомы у пациентов с ПГПТ по данным других визуализирующих технологий [21, 22].

Предполагается, что интенсивность накопления <sup>11</sup>С-метионина в ткани патологической ОЩЖ зависит от степени экспрессии и активности переносчиков аминокислот 1-Lтипа, а также от включения в препрогормон ПТГ. Механизм гипераккумуляции холина опухолевыми клетками обусловлен не только повышением синтеза фосфолипидов [23], но и активностью липид-зависимой холинкиназы, вследствие гиперсекреции ПТГ [24].

С помощью первого механизма холин поступает в главные и оксифильные клетки околощитовидной железы через специфический мембранный транспортер. После достижения цитоплазмы холин накапливается в митохондриях, как и в случае с <sup>99m</sup>Tc-МИБИ. Второй механизм — в главных клетках холин фосфорилируется холинкиназой, которая гиперэкспрессируется у пациентов с ПГПТ, что приводит к образованию фосфатидилхолина, включенного в цитоплазматическую мембрану.

Тем не менее публикации, посвященные информативности технологии ПЭТ/КТ при ПГПТ, немногочисленны, полученные в них результаты противоречивы [17, 19, 25, 26]. Также остается нерешенной задача выбора приоритетной модальности для топической диагностики патологической паратиреоидной ткани у больных с персистенцией или рецидивом ПГПТ после хирургического вмешательства [27, 28].

Целью настоящего исследования явился сравнительный анализ информативности различных визуализирующих технологий, включая ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>Сметионином и ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-холином, в топической диагностике аденом ОЩЖ у пациентов с ПГПТ.

**Материалы и методы.** Одобрение этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. Настоящее исследование является ретроспективным. В анализ были включены результаты ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метиони(препараты лития, бисфосфонаты и др.), а также отказавшиеся от хирургического лечения ПГПТ. В случае подозрения на синдром множественной эндокринной неоплазии (МЭН-IIa, болезни Сиппла) оценивали уровень кальцитонина, при значениях, превышающих референтные уровни, пациент исключался из исследования.

Средний возраст составил 57,54±13,58 года (22 до 80 лет), гендерное соотношение женщины : мужчины составило 8:1 (69 женщин — 89,5% и 9 мужчин — 10,5%). Наибольшее количество случаев представлено в возрасте 50–59 лет (27,1%) и 60–69 лет (30,0%). Распределение по возрастным группам представлено на рис. 2. В группе старше 30 лет соотношение мужчины : женщины составляет 1:8, а в возрасте 50 лет число мужчин меньше числа женщин в 12 раз.

Манифестная форма заболевания выявлена у 97% пациентов (n=70), бессимптомная — 3% пациентов (n=2). В структуре манифестной формы представлены костные проявления заболевания



**Рис. 1.** Дизайн исследования **Fig. 1.** Research design

ном и <sup>11</sup>С-холином у 72 пациентов с ПГПТ, из них у 9 пациентов в анамнезе было ранее проведенное хирургическое удаление аденомы ОЩЖ, и повторное обращение было обусловлено рецидивом или персистенцией заболевания. Исследования были выполнены в отделении радиологии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России. Всем пациентам была проведена предоперационная топическая диагностика образований ОЩЖ методом ПЭТ/КТ, УЗИ и КТ с внутривенным контрастированием с последующим хирургическим лечением (паратиреоидэктомия) и гистологическим исследованием операционного материала (рис. 1).

Критериями включения в исследование являлись возраст 18 лет и старше, клинико-лабораторные признаки, указывающие на ПГПТ, показания к хирургическому лечению и подписанное информированное согласие. В исследование не включались пациенты младше 18 лет, с клинико-лабораторной картиной вторичного гиперпаратиреоза, пациенты, принимающие лекарственные препараты, потенциально влияющие на фосфорно-кальциевый обмен в виде остеопении или остеопороза (по данным рентгеновской денситометрии) — у 88% пациентов (n=64), патология желудочно-кишечного тракта (по данным ΦГДС) — у 88% пациентов (n=63), пора-



**Рис. 2.** Распределение пациентов по возрастным группам **Fig. 2.** Distribution of patients by age group

жение почек (по данным УЗИ) — у 46% (n=33) пациентов. Распределение форм ПГПТ среди различных возрастных групп представлено на рис. 3. Гиперкальциемический вариант ПГПТ был выявлен у 96% пациентов (n=69), нормокальциемический вариант — у 4% пациентов (n=3). Распределение варианта ПГПТ среди различных возрастных групп представлено на рис. 4.



Рис. 3. Распределение форм ПГПТ в различных возрастных группах

Fig. 3. Distribution of PGPT forms among different age groups



Рис. 4. Распределение варианта ПГПТ среди различных возрастных групп

Fig. 4. Distribution of HGPT variant among different age groups

Всем ФГБУ НМИЦ пациентам В ИМ. В. А. Алмазова Минздрава России были выполнены следующие лабораторные исследования: определение концентрации лабораторных маркеров ПГПТ, а именно паратгормона (ПТГ), общего и/или ионизированного кальция, 25(OH)D, креатинина и фосфора. Для исключения синдрома множественной эндокринной неоплазии (M $\Im$ H-IIa, болезни Сиппла) у некоторых пациентов оценивали уровень кальцитонина. Из инструментальных методов диагностики всем пациентам выполнены УЗИ области шеи для оценки состояния ОЩЖ, ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>Сметионином или <sup>11</sup>С-холином околощитовидных желез, а также компьютерная томография шеи с внутривенным болюсным контрастированием.

Уровень ПТГ оценивался непосредственно перед хирургическим вмешательством, сразу после удаления патологических ОЩЖ, в первые и вторые сутки после операции для оценки эффективности хирургического лечения и исключения персистенции заболевания.

Ультразвуковое исследование области шеи проводили с целью оценки состояния ОЩЖ и ЩЖ на ультразвуковом аппарате Voluson E8 Expert с использованием линейного датчика (диапазоном частот 5,0– 13,0 МГц) и Toshiba (Canon) Aplio 500 с линейным датчиком (диапазоном частот 7,0–18,0 МГц). Использовались режимы серой шкалы и энергетического допплеровского картирования. Методика соответствует таковой при УЗИ щитовидной железы.

Оценивалось несколько параметров: длина, ширина и высота выявленных ОЩЖ (мм), их расположение и количество. Объем ОЩЖ высчитывался по формуле: Д×Ш×В×0,479 (коэффициент эллипсоидности).

Компьютерную томографию шеи с болюсным контрастированием выполняли на компьютерном томографе Somatom Definition. Толщина среза составила 0,5 мм. Зона сканирования — от основания черепа до диафрагмы. Исследование выполнялось с внутривенным болюсным введением неионного контрастного вещества с содержанием йода 350-370 мг/мл. Введение осуществлялось автоматическим инжектором через катетер со скоростью 4 мл/с объемом 60 мл, следом запускали 40 мл 0,9% раствора натрия хлорида, далее проводили сканирование в артериальную и венозную фазы. Для получения артериальной и венозной фаз исследование начинали на 5-й и 20-й секундах с момента достижения порогового контрастирования аорты. Методика оценки основана на разнице вымывания контрастного вещества из ЩЖ и ОЩЖ. Средняя эффективная доза КТ составила 3,9 мЗв.

Наработку радионуклидов для синтеза РФЛП для ПЭТ проводили на циклотроне GE PETtrace 800 (GE Healthcare). Синтез радиофармпрепарата осуществляли на автоматизированных модулях синтеза TRA-CER lab FX C Pro (GE Healthcare), расположенных в защитном шкафу Comecer MIP-1p путем автоматизированного колоночного <sup>11</sup>С-метилирования.

исследования ПЭТ/КТ Bce проводились на ПЭТ/КТ GE Discovery710 (GE Healthcare, США). При исследованиях с ПЭТ/КТ <sup>11</sup>С-холином препарат в виде стерильного раствора вводился внутривенно струйно через катетер, предварительно установленный в локтевой вене, в объеме до 10 мл. Требуемый объем достигался за счет разведения 0,9% раствором натрия хлорида. Вводимая пациенту активность <sup>11</sup>С-холина составляла 370-740 МБк, что соответствует эффективной дозе 2,3-3,4 мЗв. Сбор ПЭТ данных осуществляли в статическом режиме через 10 мин после введения РФЛП, длительность сканирования составляла 20-25 мин в зависимости от роста пациента. Для коррекции ПЭТ-изображения на рассеивания проводили КТ сканирование с последующим формированием аттенюационной карты. Зона сканирования ограничивалась сверху сводом черепа, а снизу — диафрагмой.

При исследованиях ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином препарат в виде стерильного раствора вводился медленно внутривенно струйно через катетер, предварительно установленный в локтевой вене. Вводимая пациенту активность составляла 260–470 МБк в зависимости от площади поверхности тела пациента. Сбор данных ПЭТ в статическом режиме начинали через 10 мин после введения РФЛП, длитель-

ность сканирования составляла 20–25 мин в зависимости от роста пациента. Для коррекции ПЭТизображения на рассеивания проводили КТ-сканирование с последующим формированием аттенюационной карты. Зона сканирования ограничивалась сверху сводом черепа, а снизу — диафрагмой.

Всем пациентам было выполнено хирургическое лечение ПГПТ. Объем хирургического вмешатель-

зации патологических ОЩЖ несколькими диагностическими модальностями. Патоморфологическое исследование операционного материала проводилось в патологоанатомическом отделении ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Результаты исследования оценивались с использованием программных пакетов Microsoft Excel 2019.



Рис. 5. Аденома околощитовидной железы:  $a - \Pi \Im T/KT$  с <sup>11</sup>С-холином;  $\delta - KT$  Fig. 5. Adenoma of the parathyroid gland:  $a - \operatorname{PET/CT}$  with <sup>11</sup>C-choline;  $\delta - \operatorname{CT}$ 

ства отличался в зависимости от данных предоперационной топической диагностики, сопутствующей патологии ШДЖ, количества пораженных ОШДЖ. В 59,7% (n=43) случаев была выполнена селективВ ходе анализа результатов предоперационной диагностики оценивалась диагностическая информативность методов топической диагностики независимо друг от друга.



Рис. 6. Эктопированная аденома околощитовидной железы:  $a - \Pi \exists T/KT c {}^{11}C$ -холином;  $\delta - KT$  Fig. 6. Ectopic adenoma of the parathyroid gland: a - PET/CT with  ${}^{11}C$ -choline;  $\delta - CT$ 

ная паратиреоидэктомия, в 30,5% (n=22) — селективная паратиреоидэктомия с двусторонней ревизией шеи, в 8,3% (n=6) — гемитиреоидэктомия и паратиреоидэктомия, в 1 случае — тиреоидэктомия и паратиреоидэктомия. Хирургическое лечение проводилось в объеме минимально инвазивной паратиреоидэктомии или двусторонней ревизии шеи с визуализацией всех ОЩЖ на базе ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России (отделение общей хирургии, отделение хирургических методов лечения онкологических больных) в условиях комбинированной анестезии после подтверждения локалиПоказатели чувствительности, специфичности и диагностической точности рассчитывали на основании количества обнаруженных патологических образований ОЩЖ по данным методов лучевой визуализации. Расчет показателей был проведен не на уровне отдельного пациента, а на уровне патологических ОЩЖ. Стандартно считалось, что у каждого пациента перед первичной операцией — 4 неизмененных ОЩЖ, у пациента перед повторной операцией — 3 неизмененных ОЩЖ. В зависимости от совпадения с клинико-морфологическим диагнозом все результаты подразделялись на 4 вида: истинно положительные, истинно отрицательные, ложноположительные и ложноотрицательные. Затем по формулам производилось вычисление По результатам ПЭТ/КТ исследований всего было выявлено 79 аденом типичной локализации и 12 — эктопической локализации (табл. 2).

Таблица 1

Table 1

k	линико-ла(	бораторные	характеристики	пациентов
r	липико-лас	ораторные	ларактеристики	пациентов

Clinical and laboratory characteristics of patients							
Показатель	Среднее	Минимум	Максимум	Медиана	Квартиль1	КвартильЗ	
Возраст, лет (n=72)	57,54	22,00	80,00	60,00	50,00	66,00	
25(OH)-D, нг/мл (n=72)	30,20	5,10	121,3	25,50	18,85	36,60	
Кальцитонин, нг/мл (n=33)	2,47	0,50	6,4	1,55	0,77	3,09	
Креатинин, мкмоль/л (n=72)	76,26	37,00	184,00	71,00	64,00	84,00	
Кальций суточный в моче, ммоль/сут (n=72)	5,01	0,37	12,20	4,37	2,49	6,70	
ПТГ, пмоль/л (n=72)	18,85	6,67	72,10	14,90	12,08	21,11	
Фосфор, ммоль/л (n=72)	1,00	0,52	1,49	1,01	0,79	1,14	
Кальций общий, ммоль/л (n=72)	2,86	2,26	3,86	2,84	2,71	2,96	
Альбумин, ммоль/л (n=72)	45,81	35,00	53,60	46,15	43,00	48,80	
Кальций ионизированный, ммоль/л (n=72)	1,48	1,12	2,17	1,43	1,37	1,55	

основных показателей информативности диагностического метода: чувствительность (Ч), специфичность (С), диагностическая точность (ДТ), прогностическая ценность положительного результата Все ОЩЖ имели различные размеры, представленные в табл. 3.

В результате хирургического лечения всего было подтверждено удаление 80 патологических ОЩЖ

Таблица 2

Сравнение результатов	а ПЭТ/КТ и	и морфологического	исследования
-----------------------	------------	--------------------	--------------

Comparison of PET/CT and morphologic findings

Table 2

		-
Локализация	Всего обнаружено аденом по данным ПЭТ-КТ с <sup>11</sup> С-метионином или <sup>11</sup> С-холином	Всего обнаружено аденом по данным морфологического исследования операционного материала
Типично расположенная аденома около- щитовидных желез	79	69
Аденома эктопированной околощито- видных желез	12	11
ИТОГО	91	80

(ПЦПР), прогностическая ценность отрицательного результата (ПЦОР). Референтным тестом для оценки информативности методов визуализации во всех случаях являлось гистологическое исследование удаленных образований ОЩЖ вместе с оценкой клинического течения заболевания, лабораторно подтвержденной ремиссией ПГПТ.

**Результаты.** Во всех 72 случаях по биохимическим и клиническим данным установлен диагноз ПГПТ. По лабораторным данным, показатели кальция и ПТГ на момент проведения обследования имели значительную вариацию, у некоторых пациентов определялся высоко-нормальный уровень ПТГ в сочетании с повышенным уровнем кальция в крови, у других повышенный уровень ПТГ в сочетании с высоко-нормальным уровнем кальция. Клинико-лабораторные данные пациентов представлены в табл. 1.

Из 72 приведенных ПЭТ /КТ исследований 62 были с  $^{11}$ С-метионином, 10 — с  $^{11}$ С-холином.

у 72 пациентов. Солитарные образования ОЩЖ определялись у 80% (n=64) пациентов, множественное поражение было подтверждено у 14%

### Таблица З

# Размеры аденом по результатам морфологического исследования

Table 3

```
Adenomas sizes according to morphologic findings
```

Размеры	Количество аденом по данным морфологического исследования операционного материала (n=80)
До 5 мм	1
5—10 мм	5
Более 10 мм	74
ИТОГО	80

(n=8) пациентов. Эктопированные ОЩЖ встречались у 15% (n=12) среди всех пациентов, в том числе у пациентов с солитарными образованиями 11% (n=9), у пациентов с множественным пораже-

нием 3% (n=2). Среди всех солитарных ОЩЖ распределение по локализации имело свои особенности: правая верхняя ОЩЖ (ПВ) встречалась с частотой 11% (n=9), правая нижняя (ПН) — 38% (n=30), левая верхняя (ЛВ) — 13% (n=10), левая нижняя (ЛН) — 38% (n=31). Распределение по локализации представлено на рис. 7.

Самую высокую чувствительность в группе пациентов перед первичной операцией показала ПЭТ/КТ, чувствительность КТ с внутривенным контрастированием и УЗИ оказалась одинаковой.





Самая высокая специфичность оказалась у УЗИ, ПЭТ/КТ и КТ с внутривенным контрастированием, между собой показатели различались незначительно (91,0% и 91,1%), а общая точность была выше у ПЭТ/КТ (табл. 4).

Прогностическая ценность положительного результата была самой высокой у УЗИ (92,3%), значения у ПЭТ/КТ и КТ с внутривенным контрастированием были похожи (79,7% и 75,4%). Самые высокие числа прогностической ценности отрицательного результата были у ПЭТ/КТ — 95,9%.

Самые высокие показатели информативности диагностического метода в группе пациентов перед повторной операцией были у ПЭТ/КТ и КТ с внутривенным контрастированием, их значения были сопоставимы. Ультразвуковое исследование значительно уступало по всем показателям (табл. 5).

В группе пациентов с солитарными аденомами ОЩЖ, расположенными в типичном месте, наиболее высокие показатели чувствительности были у ПЭТ/КТ (91,6%), максимальные показатели специфичности — у УЗИ (97,3%), показатели диагностической точности у ПЭТ/КТ и УЗИ достоверно не отличались (90,8% и 93,3%) (табл. 6).

В группе одиночных аденом эктопированных ОЩЖ самая низкая чувствительность была у УЗИ (11,1%). Самые высокие показатели информативности метода были у ПЭТ/КТ (100%, 90,4%; 92,8%; 77,7%; 100%) (табл. 7).

Таблица 4

Показатели	информативности	перед первичной	операцией (	(%)	)
	TTT	···· · · · · · · · · · · · · · · · · ·	···· · · · · · · · · · · · · · · · · ·	. / 0 /	Ζ.

Table 4

Indicators of informativeness before primary surgery ( $\%$ )						
Метод диагностики Чувствительность Специфичность ДТ ПЦПР І						
УЗИ	68,6	97,8	89,6	92,3	89,0	
КТ с внутривенным контрастированием	69,0	91,1	84,9	75,4	88,2	
ПЭТ/КТ	90,0	91,0	90,9	79,7	95,9	

Таблица 5

Показатели информативности у пациентов с рецидивом или персистенцией ПГПТ (%)

Table 5

Information rat	tes in patients	with recurrent	or persistent PHPT	(%)
-----------------	-----------------	----------------	--------------------	-----

Метод диагностики	Чувствительность	Специфичность	ДТ	ПЦПР	ПЦОР
УЗИ	60,0	76,0	70,0	60,0	76,4
КТ с внутривенным контрастированием	100,0	94,1	96,2	90,9	100,0
ПЭТ/КТ	100,0	94,1	96,2	90,9	100,0

Таблица б

Показатели информативности перед первичной операцией в группе одиночных аденом околощитовидных желез, расположенных в типичном месте (n=49) (%)

Table 6

### Informativity indices before primary surgery in the group of solitary adenomas of the PTG in a typical site (n=49) (%)

Метод диагностики	Чувствительность	Специфичность	ДТ	ПЦПР	ПЦОР
УЗИ	79,5	97,3	93,3	94,2	89,7
КТ с внутривенным контрастированием	75,0	92,1	88,2	73,3	92,7
ПЭТ/КТ	91,6	90,5	90,8	75,8	97,1

У пациентов с множественными аденомами ОЩЖ, также наиболее информативной методикой была ПЭТ/КТ с показателями чувствительности — 78,5%, специфичности — 100%; диагностической точности — 89,2%; прогностической ценности ОЩЖ, что приводит к необходимости повторного хирургического вмешательство и возникновению дополнительных рисков для пациента.

В настоящее время для топической диагностики ПГПТ рекомендуется прибегать к ПЭТ/КТ во второй

Таблица 7

Показатели информативности перед первичной операцией в группе одиночных аденом эктопированных околощитовидных желез (n=7) (%)

Т	а	h	1	e	7
	a	v	Т.	C	- 1

Метод диагностики	Чувствительность	Специфичность	ДТ	ПЦПР	ПЦОР
УЗИ	11,1	84,2	32,1	25,0	66,6
КТ с внутривенным контрастированием	85,7	85,7	85,7	66,6	94,7
ПЭТ/КТ	100,0	90,4	92,8	77,7	100,0

положительного результата — 100%; прогностической ценности отрицательного результата — 82,3% (табл. 8).

В группе перед повторной операцией только у одного пациента было множественное поражение ОЩЖ и у двух пациентов была эктопия ОЩЖ.

Обсуждение. Диагноз ПГПТ устанавливается по данным биохимических тестов, клинические

линии диагностического алгоритма, хотя данная методика обладает лучшим пространственным разрешением, чем другие методы ядерной визуализации (сцинтиграфия, ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ) [32]. С другой стороны, стоимость исследования и ограниченная доступность метода затрудняют его применение. И поэтому важной задачей является определение места ПЭТ/КТ в диагностическом алгоритме у паци-

Таблица 8

Показатели информативности перед первичной операцией в группе множественных аденом околощитовидных желез (n=7) (%)

	Table	8
Indicators of informativeness before primary surgery in the group of multiple adenomas PTG ( $n=7$ ) (%)	,)	

Метод диагностики	Чувствительность	Специфичность	ДТ	ПЦПР	ПЦОР	
УЗИ	50,0	100,0	75,0	100,0	66,6	
КТ с внутривенным контрастированием	64,2	92,8	78,5	90,0	72,2	
ПЭТ/КТ	78,5	100,0	89,2	100,0	82,3	

показания к хирургическому лечению изложены в клинических рекомендациях [1]. Результаты методов медицинской визуализации околощитовидных желез крайне важны для принятия решения об объеме хирургического вмешательства. Выявить аденому ОЩЖ интраоперационно бывает крайне сложно даже для хирургов, имеющих большой опыт в данной области [29]. Большинству пациентов в настоящее время выполняют минимально инвазивную паратиреоидэктомию (МИП), используя сцинтиграфию околощитовидных желез в сочетании с УЗИ для предоперационной топической диагностики аденом. Минимально инвазивная паратиреоидэктомия стала основным методом хирургического лечения в последнее десятилетие, заменив выполнявшуюся ранее двустороннюю ревизию шеи. Эта технология показывает отличную эффективность с меньшей частотой осложнений и более коротким временем восстановления пациента после операции [30]. Однако, несмотря на значимые успехи, частота послеоперационной персистенции или рецидива заболевания при МИП доходит до 3% [31] из-за множественного поражения ОЩЖ или эктопии

ентов с первичным гиперпаратиреозом для топической диагностики патологически измененных ОЩЖ.

Ультразвуковое исследование применяется в первой линии, благодаря своей доступности и отсутствием лучевой нагрузки. Результаты УЗИ зависят от оператора и класса используемого оборудования, при этом диапазон чувствительности данной методики колеблется в широких пределах от 51 до 90%, специфичность — от 76 до 90% при одиночной аденоме [32, 33]. При множественном поражении и при эктопии ОЩЖ чувствительность УЗИ резко снижается. Компьютерная томография с внутривенным болюсным контрастированием чаще всего используется во второй линии. По литературным данным точность КТ с контрастным усилением варьируется от 46 до 95% [34], специфичность — от 82 до 96% [35, 36].

Применение КТ актуально при подозрении на эктопию ОЩЖ за счет возможности оценки средостения и определению взаимоотношения патологического образования и окружающих тканей и органов. МРТ редко используется для визуализации ОЩЖ. Чувствительность МРТ находится в пределах от 43 до 94% [37, 38], специфичность — от 90 до 97% [39, 40]. Диагностическая точность сцинтиграфии ОЩЖ различается в зависимости от выбора методики. Чувствительность сцинтиграфии ОЩЖ методом вымывания составляет от 58 до 87% [41; 42], специфичность от 65 до 93% [42, 43]. При планарной сцинтиграфии методом субтракции чувствительность находится в пределах от 76 до 93% [44, 45], специфичность около 75% [46]. Чувствительность ОФЭКТ и ОФЭКТ/КТ варьируется в диапазоне 60– 90% и 81–91% [47, 48], специфичность 77–87% и 89–90% соответственно.

Хотя наиболее ранние работы по визуализации с помощью ПЭТ/КТ при первичном гиперпаратиреозе проводились с помощью <sup>11</sup>С-метионина, более поздние работы уже сосредоточены на использовании холина в качестве маркера [16]. Диагностическая эффективность ПЭТ/КТ с 11С-метионином и ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-холином по данным литературы достоверно не отличается [49, 50]. Из-за короткого (20 мин) периода полураспада <sup>11</sup>С-холина отсутствие циклотрона является ограничением, в этом случае более удобным РФЛП может быть <sup>18</sup>F-фторхолин. По данным литературы чувствительность ПЭТ/КТ исследования перед первичной операцией составляет 70-98%, положительная ценность прогностического результата — 90-98%, диагностическая точность — 87-94% [16, 19, 51-53].

В нашем исследовании показатели чувствительности, специфичности и диагностической точности модальностей для общего количества аденом перед первичной операцией были следующими: для УЗИ — 68,6%, 97,8%, 89,6%, для KT с внутривенным контрастированием — 69%, 91,1%, 84,9%, для ПЭТ/КТ — 90%, 91%, 90,9% соответственно, что сопоставимо с данными литературы. В группе одиночных аденом ОЩЖ, расположенных в типичном месте, данные чувствительности, диагностической точности методик ожидаемо возросли в случае УЗИ — 79,5%; 93,3% и KT с внутривенным контрастированием — 75%; 88,2%, и практически не изменились для ПЭТ/КТ — 91,6%, 90,8% соответственно. Данные результаты свидетельствуют об остающейся проблеме обнаружения эктопированных ОЩЖ с помощью УЗИ и КТ с внутривенным контрастированием, и подтверждаются показателями информативности в группе аденом эктопированных ОЩЖ. Чувствительность, специфичность и диагностическая точность в этой группе составили для УЗИ — 11,1%; 84,2%; 32,1%, для КТ с внутривенным контрастированием 85,7%; 85,7%; 85,7%, для ПЭТ/КТ — 100%, 90,4%, 92,8%. Ложноположительные результаты при ПЭТ/КТ преимущественно связаны с возможностью накоплением РФПЛ в нормальных ОЩЖ и лимфатических узлах.

У пациентов перед повторной операцией УЗИ и сцинтиграфия ОЩЖ применяются в первой линии с чувствительностью 54–68% и 70–82% соответственно [54, 55]. ОФЭКТ и ОФЭКТ/КТ обладают чувствительностью в диапазоне 70–75% и 71–88% [56, 57]. Компьютерная томография с контрастным усилением обладает чувствительностью от 66% до 82% [11]. У пациентов с персистенцией или рецидивом заболевания чувствительность, специфичность, диагностическая точность, прогностическая ценность положительного результата, прогностическая ценность отрицательного результата при проведении ПЭТ/КТ по литературным данным составляет 95– 96%; 13%; 88%; 77%; 50% соответственно [58, 59].

По результатам нашего исследования показатели чувствительности, специфичности, диагностической точности модальностей для общего количества аденом перед повторной операцией составили: для УЗИ — 60%; 76%; 70%, для КТ с контрастным усилением 100%, 94,1%; 96,2%, для ПЭТ/КТ 100%, 94,1%; 96,2%. В группе пациентов с персистенцией или рецидивом заболевания показатели диагностической точности ПЭТ/КТ и КТ с внутривенным контрастированием оказались одинаковыми и выше данных литературы. Разница с данными литературы, вероятнее всего, связана с небольшой выборки пациентов, участвующих в исследовании. С другой стороны, результаты исследования подтверждают большой потенциал данных методик в группе пациентов с персистенцией или рецидивом ПГПТ.

Хочется также отметить, что по данным литературы при множественном поражении ПЭТ/КТ обладает более низкой чувствительностью (67%), чем при солитарных аденомах (83%), при этом обычно выявляется только наиболее крупная патологическая околощитовидная железа. Объяснением такого снижения чувствительности может быть меньший объем синтеза ПТГ и меньшим поглощением <sup>11</sup>Сметионина на массу ткани в других гиперплазированных железах по сравнению с доминантной ОЩЖ [49]. Тем не менее при выполнении КТ части в методике ПЭТ/КТ с контрастным усилением, информативность и прогностическая ценность метода существенно возрастают. В нашем исследовании показатели чувствительности, специфичности, диагностическая точности ПЭТ/КТ перед первичной операцией в группе множественных аденом ОЩЖ составили 78,5%; 100%; 89,2% соответственно, что выше, чем по данным литературы, и вероятно также связано с небольшой выборкой пациентов.

Таким образом, ПЭТ/КТ демонстрирует высокий уровень чувствительности даже в случаях отрицательных результатов визуализации УЗИ и КТ с внутривенным контрастированием. ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>Сметионином и <sup>11</sup>С-холином могут стать методами визуализации ПГПТ второй линии, выполняемым после УЗИ в центрах, оснащенных ПЭТ/КТ, где эта методика доступна.

**Ограничения** исследования. Основными ограничениями настоящего исследования являются небольшая выборка пациентов, особенно в группе перед повторной операцией, и отсутствие среди

диагностических модальностей ОФЭКТ/КТ как метода выбора для первой линии предоперационной топической диагностики, отсутствие наблюдения за пациентами после перенесенного хирургического лечения с целью исключения персистенции или рецидива гиперпаратиреоза.

Заключение. Предоперационная топическая диагностика при ПГПТ, как у пациентов перед первичным хирургическим лечением, так и у пациентов, уже перенесших хирургический этап, представляет сложную задачу. Точная локализация патологических ОЩЖ с помощью предоперационной визуализации является залогом успешного оперативного вмешательства. Противоречивые или отрицательные результаты предоперационной диагностики — это фактор риска для будущей операции, что подчеркивает необходимость проведения дополнительных диагностических исследований для визуализации патологических ОЩЖ.

В нашей работе мы сделали акцент на перспективном методе визуализации ПЭТ/КТ, который постепенно входит в рутинную практику. Мы проанализировали диагностическую информативность методов: УЗИ, компьютерная томография шеи с внутривенным болюсным контрастированием и ПЭТ/КТ.

На основе результатов анализа данных, полученных в нашем исследовании, мы можем сделать следующие выводы.

1. ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином и ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>Схолином продемонстрировали более высокие показатели диагностической точности метода по сравнению с УЗИ и КТ с внутривенным контрастированием в группе пациентов перед первичной операцией и может быть использована в качестве метода первой и второй линии у пациентов с ПГПТ.

2. В группе пациентов с персистенцией или рецидивом гиперпаратиреоза ПЭТ/КТ и КТ с внутривенным контрастированием продемонстрировали одинаково высокие показатели диагностической точности, что потенциально свидетельствует о перспективности данных методов для топической диагностики.

#### Сведения об авторах:

- Поспелов Виктор Алексеевич ассистент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, Институт медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: victorpospelov@list.ru; ORCID 0009–0007–8362–8491;
- Погосян Карина Александровна младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории нейроэндокринных опухолей, Научный центр мирового уровня «Центр персонализированной медицины» федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: karina.a.pogosyan@gmail.com ORCID 0000–0003–0628–0085;
- Юдина Ольга Васильевна кандидат медицинских наук, доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, Институт медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: yudina\_ov@mail.ru; ORCID 0009–0000–1195–4887;
- Кириллов Роман Валерьевич ординатор кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, Институт медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: romankirillov2020@yandex.ru;
- Довлетмерзаева Хайрия Хусаиновна ординатор кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, Институт медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: dina212298@gmail.com;
- Иваниха Елена Владимировна кандидат медицинских наук, врач-хирург отделения хирургических методов лечения онкологических больных федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: ivanikha\_ev@almazovcentre.ru; ORCID 0000–0002–9575–6921;
- Салов Максим Алексеевич врач-хирург отделения хирургических методов лечения онкологических больных федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: salov\_ma@almazovcentre.ru ORCID 0000-0002-9530-3447;
- Каронова Татьяна Леонидовна доктор медицинских наук, профессор кафедры эндокринологии, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории клинической эндокринологии, Институт эндокринологии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: karonova@mail.ru; ORCID 0000–0002–1547–0123;
- Рыжкова Дарья Викторовна доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой, Институт медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; e-mail: d\_ryjkova@mail.ru; ORCID 0000–0002–7086–9153. Information about the authors:
- Victor A. Pospelov Assistant, Department of Nuclear Medicine and Radiation Technology with Clinic, Institute of Medical Education, V. A. Almazov NMRC, Russian Ministry of Health; 2, Akkuratova St., St. Petersburg, Russia, 197341. e-mail: victorpospelov@list.ru; ORCID 0009–0007–8362–8491;
- Karina A. Pogosyan Junior Researcher, Research Laboratory of Neuroendocrine Tumors, NSMC «Center for Personalized Medicine», 2 Akkuratova St., St. Petersburg, Russia, 197341. e-mail: karina.a.pogosyan@gmail.com; ORCID 0000–0003–0628–0085;

Olga V. Yudina — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Nuclear Medicine and Radiation Technology with Clinic, Institute of Medical Education, V. A. Almazov NMRC, Russian Ministry of Health; 2, Akkuratova St., St. Petersburg, Russia, 197341; e-mail: yudina ov@mail.ru. ORCID 0009–0000–1195–4887;

Roman V. Kirillov — resident, Department of Nuclear Medicine and Radiation Technology with Clinic, Institute of Medical Education, V. A. Almazov Scientific and Research Center of the Ministry of Health of Russia, Akkuratova str. 2, St. Petersburg, Russia, 197341; e-mail: romankirillov2020@yandex.ru;.

Khairiya Kh. Dovletmerzaeva — resident, Department of Nuclear Medicine and Radiation Technology with Clinic, Institute of Medical Education, V. A. Almazov Scientific and Research Center of the Ministry of Health of Russia, Akkuratova str. 2, St. Petersburg, Russia, 197341; e-mail: dina212298@gmail.com;

Elena V. Ivanikha — Cand. of Sci. (Med.), surgeon, Department of Surgical Methods of Treatment of Cancer Patients, Almazov National Medical Research Centre, 2 Akkuratova St., St. Petersburg, Russia, 197341; e-mail: ivanikha\_ev@almazovcentre.ru ORCID 0000–0002–9575–6921;

Maksim A. Salov — surgeon, Department of Surgical Methods of Treatment of Cancer Patients, Almazov National Medical Research Centre, 2 Akkuratova St., St. Petersburg, Russia, 197341; e-mail: salov\_ma@almazovcentre.ru ORCID 0000–0002- 9530–3447;

Tatiana L. Karonova — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Endocrinology Department, Chief Researcher, Head of Clinical Endocrinology Laboratory, Institute of Endocrinology, 2 Akkuratova St., St. Petersburg, Russia, 197341; e-mail: karonova@mail.ru ORCID 0000–0002–1547–0123;

Darya V. Ryzhkova — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Nuclear Medicine and Radiation Technology with Clinic, Institute of Medical Education, V. A. Almazov National Medical Center, Ministry of Health of Russia; e-mail: d\_ryjkova@mail.ru ORCID 0000–0002–7086–9153.

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.А. Поспелов; сбор и анализ данных — В.А. Поспелов, О.В. Юдина, Р.В. Кириллов, *X.Х.Довлетмерзаева, Т.Л.Каронова, К.А.Погосян, Е.В.Иваниха, М.А.Салов*; подготовка рукописи — В.А. Поспелов, Д.В.Рыжкова, Р.В. Кириллов, *X.Х.Довлетмерзаева*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: VAP aided in the concept and plan of the study; VAP, OVYu, RVK, KhKhD, TLK, KAP, EVI, MAS provided collection and mathematical analysis of data; VAP, DVR, RVK, KhKhD preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интереса, связанных с публикацией настоящей статьи. Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Соответствие принципам этики:** Одобрение этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. **Adherence to ethical standards:** Ethics committee approval was not required. Informed consent is obtained from each of the patient.

> Поступила/Received: 13.01.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Мокрышева Н.Г., Еремкина А.К., Мирная С.С. Клинические рекомендации по первичному гиперпаратиреозу, краткая версия // Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67, № 4. С. 94–124. [Mokrysheva N.G., Eremkina A.K., Mirnaya S.S. Clinical recommendations for primary hyperparathyroidism, short version. Problems of endocrinology, 2021, Vol. 67, No. 4, pp. 94–124 (In Russ.)] doi: 10.14341/probl12801.
- Мокрышева Н.Г., Ковалева Е.В., Еремкина А.К. Регистры заболеваний околощитовидных желез в Российской Федерации // Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67, № 4. С. 4–7 [Mokrysheva N.G., Kovaleva E.V., Eremkina A.K. Registers of parathyroid gland diseases in the Russian Federation. Problems of endocrinology, 2021, Vol. 67, No. 4, pp. 4–7 (In Russ.)]. doi: 10.14341/ probl12803.
- Minisola S., Arnold A., Belaya Z., Brandi M.L., Clarke B.L., Hannan F.M., Hofbauer L.C., Insogna K.L., Lacroix A., Liberman U., Palermo A., Pepe J., Rizzoli R., Wermers R., Thakker R.V. Epidemiology, Pathophysiology, and Genetics of Primary Hyperparathyroidism // J. Bone Miner Res. 2022. Vol. 37, No. 11. P. 2315– 2329. doi: 10.1002/jbmr.4665.
- 4. Мокрышева Н.Г., Еремкина А.К., Ковалева Е.В., Крупинова Ю.А., Викулова О.К. Современные проблемы гипер- и гипопаратиреоза // *Терапевтический архив.* 2021. Т. 93, № 10. С. 1149–1154 [Mokrysheva N.G., Eremkina A.K., Kovaleva E.V., Krupinova Yu.A., Vikulova O.K. Modern problems of hyper- and hypoparathyroidism. *Therapeutic archive*, 2021, Vol. 93, No. 10 pp. 1149–1154 (In Russ.)].
- 5. Бузанаков Д.М., Слепцов И.В., Семенов А.А. и др. Место двусторонней ревизии шеи при хирургическом лечении первичного гиперпаратиреоза // Проблемы эндокринологии. 2022. Т. 68, № 6. С. 22–29. [Buzanakov D.M., Sleptsov I.V., Semyonov A.A. et al. The place of bilateral neck revision in surgical treatment of primary hyperparathyroidism. Problems of Endocrinology, 2022, Vol. 68, No. 6, pp. 22–29 (In Russ.)].
- Khan A.A., Hanley D.A., Rizzoli R. et al. Primary hyperparathyroidism: review and recommendations on evaluation, diagnosis, and management. A Canadian and international consensus // Osteoporos Int. 2017. Vol. 28, No. 1. P. 1–19. doi: 10.1007/s00198-016-3716-2.
- Cheung K., Wang T.S., Farrokhyar F. et al. A meta-analysis of preoperative localization techniques for patients with primary hyperparathyroidism // Ann. Surg. Oncol. 2012. Vol. 19. P. 577–583. https://doi.org/10.1245/s10434-011-1870-5.
- 8. Walker MD, Silverberg S.J. Primary hyperparathyroidism. Nat Rev Endocrinol. 2018. Vol. 14, No 2. P. 115-125. doi: 10.1038/nrendo.2017.104.
- Caveny S.A., Klingensmith W.C. 3<sup>rd</sup>, Martin W.E. et al. Parathyroid imaging: the importance of dual-radiopharmaceutical simultaneous acquisition with <sup>99m</sup>Tc-sestamibi and <sup>123</sup>I // J. Nucl. Med. Technol. 2021. Vol. 40, No. 2. P. 104–110. https://doi.org/10.2967/jnmt.111.098400.
- Treglia G. et al. Detection rate of <sup>99m</sup>Tc-MIBI single photon emission computed tomography (SPECT)/CT in preoperative planning for patients with primary hyperparathyroidism: a meta-analysis // *Head Neck*. 2016. Vol. 38. P. 2159–2172. doi: 10.1002/hed.24027.

- 11. Sun L., Yao J., Hao P. et al. Diagnostic Role of Four-Dimensional Computed Tomography for Preoperative Parathyroid Localization in Patients with Primary Hyperparathyroidism: A Systematic Review and Meta-Analysis // Diagnostics (Basel). 2021. Vol. 11, No. 4. P. 664. 1–4. doi: 10.3390/diagnostics11040664.
- 12. Grayev A.M., Gentry L.R., Hartman M.J. et al. Presurgical localization of parathyroid adenomas with magnetic resonance imaging at 3.0 T: an adjunct method to supplement traditional imaging // Ann. Surg. Oncol. 2012. Vol. 19. P. 981–989. doi: 10.1245/s10434-011-2046-z.
- Argiro R., Diacinti D., Sacconi B. et al. Diagnostic Accuracy of 3T Magnetic Resonance Imaging in the Preoperative Localization of Parathyroid Adenomas: Comparison with Ultrasound and 99mtc-Sestamibi Scans // Eur. Radiol. 2018. Vol. 28. P. 4900–4908. doi: 10.1007/s00330-018-5437-8.
- 14. Погосян К.А., Каронова Т.Л., Рыжкова Д.В. и др. Возможности ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-холином как метода топической диагностики аденом околощитовидных желез у больных первичным гиперпаратиреозом // Трансляционная медицина. 2023. Т. 10, № 2. Р. 88–95. [Pogosyan K.A., Karonova T.L., Ryzhkova D.V. et al. Possibilities of PET/CT with <sup>11</sup>C-choline as a method of topical diagnosis of perithyroid gland adenomas in patients with primary hyperparathyroidism. Translational Medicine, 2023, Vol. 10, No. 2, pp. 88–95 (In Russ.)]. doi: 10.18705/2311-4495-2023-10-2-88-95.
- 15. Мокрышева Н.Г., Крупинова Ю.А., Долгушин М.Б. и др. Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией с 18F-фторхолином в топической диагностике опухолей околощитовидных желез и вторичных изменений костной ткани при гиперпаратиреоидной остеодистрофии: два клинических наблюдения // Проблемы эндокринологии. 2018. Т. 64, № 5. С. 299–305. [Mokrysheva N.G., Krupinova Yu.A., Dolgushin M.B. et al. Positron emission tomography combined with computed tomography with 18F-fluorocholine in topical diagnosis of perithyroid gland tumors and secondary bone tissue changes in hyperparathyroid osteodystrophy: two clinical observations. *Problems of Endocrinology*, 2018, Vol. 64, No. 5 (5), pp. 299–305 (In Russ.)]. doi: 10.14341/probl9548.
- Kluijfhout W.P., Pasternak J.D., Drake F.T. et al. Use of PET tracers for parathyroid localization: a systematic review and meta-analysis // Langenbecks Arch. Surg. 2016. Vol. 401, No. 7. P. 925–935. doi: 10.1007/s00423-016-1425-0.
- Saerens J., Velkeniers B., Keyaerts M. et al. Value of [11C]-Methionine PET/CT in Preoperative Localization of Parathyroid Adenomas // Horm Metab Res. 2021. Vol. 53, No. 7. P. 444–452. doi: 10.1055/a-1475-4600.
- 18. Hellman P., Ahlström H., Bergström M. et al. Positron emission tomography with <sup>11</sup>C-methionine in hyperparathyroidism // Surgery. 1994. Vol. 116. P. 974–981.
- 19. Pogosian K., Karonova T., Ryzhkova D. et al. <sup>11</sup>C-methionine PET/CT and conventional imaging techniques in the diagnosis of primary hyperparathyroidism // *Quant Imaging Med. Surg.* 2023. Vol. 13, No. 4. P. 2352–2363. doi: 10.21037/qims-22-584.
- Beheshti M., Hehenwarter L., Paymani Z. et al. (18)F-Fluorocholine PET/CT in the assessment of primary hyperparathyroidism compared with (99m)Tc-MIBI or (99m)Tc-tetrofosmin SPECT/CT: a prospective dual-center study in 100 patients // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2018. Vol. 45. P. 1762–1771. doi:10.1007/s00259-018-3980-9.
- Mallikarjuna V.J., Mathew V., Ayyar V. et al. Five-year Retrospective Study on Primary Hyperparathyroidism in South India: Emerging Roles of Minimally Invasive Parathyroidectomy and Preoperative Localization with Methionine Positron Emission Tomography-Computed Tomography Scan // Indian J. Endocrinol. Metab. 2018. Vol. 22. P. 355–361. doi: 10.4103/ijem.IJEM\_445\_16.
- 22. Chun I.K., Cheon G.J., Paeng J.C. et al. Detection and Characterization of Parathyroid Adenoma/Hyperplasia for Preoperative Localization: Comparison Between (11)C-Methionine PET/CT and (99m) Tc-Sestamibi Scintigraphy // Nucl. Med. Mol. Imaging, 2013. Vol. 47. P. 166–172. doi: 10.1007/s13139-013-0212-x.
- Vallabhajosula S. (18)F-labeled positron emission tomographic radiopharmaceuticals in oncology: an overview of radiochemistry and mechanisms of tumor localization // Semin. Nucl. Med. 2007 Nov. Vol. 37, No. 6. P. 400–419. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2007.08.004.
- Ishizuka T., Kajita K., Kamikubo K. et al. Phospholipid/Ca2+-dependent protein kinase activity in human parathyroid adenoma // Endocrinol. Jpn. 1987. Vol. 34, No. 6. P. 965–968. doi: 10.1507/endocrj1954.34.965.
- Giovanella L., Bacigalupo L., Treglia G. et al. Will <sup>18</sup>F-fluorocholine PET/CT replace other methods of preoperative parathyroid imaging? // Endocrine. 2021. Vol. 71, No. 2. P. 285–297. doi: 10.1007/s12020-020-02487-y.
- 26. Broos W.A.M., van der Zant F.M., Knol R.J.J. et al. Choline PET/CT in Parathyroid Imaging: A Systematic Review // Nucl. Med. Commun. 2019. Vol. 40. P. 96–105. doi: 10.1097/MNM.00000000000952.
- Christakis I., Khan S., Sadler G.P. et al. <sup>18</sup>Fluorocholine PET/CT scanning with arterial phase-enhanced CT is useful for persistent/recurrent primary hyperparathyroidism: first UK case series results // Ann. R. Coll Surg. Engl. 2019. Vol. 101, No. 7. P. 501–507. doi: 10.1308/rcsann.2019.0059.
- Amadou C., Bera G., Ezziane M. et al. <sup>18</sup>F-Fluorocholine PET/CT and Parathyroid 4D Computed Tomography for Primary Hyperparathyroidism: The Challenge of Reoperative Patients // World J. Surg. 2019. Vol. 43, No. 5. P. 1232–1242. doi: 10.1007/s00268-019-04910-6.
- Doppman J.L., Miller D.L. Localization of parathyroid tumors in patients with asymptomatic hyperparathyroidism and no previous surgery // J. Bone Miner Res. 1991. Vol. 6, No. 2. P. S153–159. doi: 10.1002/jbmr.5650061431
- 30. Слепцов И.В., Черников Р.А., Бубнов А.Н. и др. Малоинвазивные операции в лечении первичного гиперпаратиреоза // Эндокринная хирургия. 2012. Т. 6, № 4. С. 24–33. [Slepstov I.V., Chernikov R.A., Bubnov A.N. et al. Minimally Invasive Surgery of Primary Hyperparathyroidism. Endocrine Surgery, 2012, Vol. 6, No. 4. P. 24–33 (In Russ.)]. doi: https://doi.org/10.14341/2306-3513-2012-4-24-33.
- 31. Prior J.O. New scintigraphic methods for parathyroid imaging // Ann. Endocrinol (Paris). 2015. Vol. 76, No. 2. P. 145–147. doi: 10.1016/j.ando.2015.03.026.
- 32. Вагапова Г.Р., Хамзина Ф.Т., Дружкова Н.Б. Место ультразвуковой эластографии в алгоритме топической диагностики патологически измененных околощитовидных желез при гиперпаратиреозе // Практическая медицина. 2018. № 1 (112). С. 119–127. [Vagapova G.R., Khamzina F.T., Druzhkova N.B. The place of ultrasound elastography in the algorithm of topical diagnostics of pathologically changed perischymoid glands in hyperparathyroidism. *Practical Medicine*, 2018, No. 1 (112), pp. 119–127 (In Russ.)].
- Калинин А.П. Майстренко Н.А., Ветшев П.С. Хирургическая эндокринология: руководство. СПб.: Питер, 2004. С. 268–290. [Kalinin A.P. Maistrenko N.A., Vetshev P.S. Surgical endocrinology: a manual. St. Petersburg: Publishing house Peter, 2004, pp. 268–290 (In Russ.)]
- 34. Кузнецов Н.С. Ким И.В., Кузнецов С.Н. Методы топической диагностики при первичном гиперпаратиреозе. Сравнительная характеристика // Эндокринная хирургия. 2012. № 2. С. 4–11. [Kuznetsov N.S. Kim I. V., Kuznetsov S. H. Topical diagnostic methods in primary hyperparathyroidism. Comparative characteristics. *Endocrine Surgery*, 2012, No. 2, pp. 4–11 (In Russ.)] https://doi.org/10.14341/probl20125833-8.

- 35. Yeh R., Tay Y.D., Tabacco G. et al. Diagnostic Performance of 4D CT and Sestamibi SPECT/CT in Localizing Parathyroid Adenomas in Primary Hyperparathyroidism // Radiology. 2019. Vol. 291, No. 2. P. 469–476. doi: 10.1148/radiol.2019182122.
- Hinson A.M., Lee D.R., Hobbs B.A. et al. Preoperative 4D CT Localization of Nonlocalizing Parathyroid Adenomas by Ultrasound and SPECT-CT // Otolaryngol. Head Neck Surg. 2015. Vol. 153, No. 5. P. 775–778. doi: 10.1177/0194599815599372.
- 37. Wilhelm S.M., Wang T.S., Ruan D.T. et al. The American Association of Endocrine Surgeons Guidelines for definitive management of primary hyperparathyroidism // JAMA Surg. 2016. Vol. 151, No. 10, P. 959–968. doi: 10.1001/jamasurg.2016.2310.
- Hanninen L.E., Vogl T.J., Steinmuller T. et al. Preoperative contrast-enhanced MRI of the parathyroid glands in hyperparathyroidism // Invest. Radiol. 2000. Vol. 35, No. 7. P. 426–430. Doi:10.1097/00004424-200007000-00005.
- 39. Argirò R., Diacinti D., Sacconi B. et al. Diagnostic accuracy of 3T magnetic resonance imaging in the preoperative localisation of parathyroid adenomas: comparison with ultrasound and 99mTe-sestamibi scans // Eur. Radiol. 2018. Vol. 28, No. 11. P. 4900–4908. doi: 10.1007/s00330-018-5437-8.
- Nael K., Hur J., Bauer A. et al. Dynamic 4D MRI for Characterization of Parathyroid Adenomas: Multiparametric Analysis // AJNR Am J. Neuroradiol. 2015. Vol. 36, No. 11. P. 2147–2152. doi: 10.3174/ajnr.A4425.
- Mariani G., Gulec S.A., Rubello D., Boni G., Puccini M., Pelizzo M.R. et al. Preoperative localization and radioguided parathyroid surgery // J. Nucl. Med. 2003. Vol. 44. P. 1443–1458.
- Shafiei B., Hoseinzadeh S., Fotouhi F., Malek H., Azizi F., Jahed A. et al. Preoperative 99mTc-sestamibi scintigraphy in patients with primary hyperparathyroidism and concomitant nodular goiter // Nuclear Medicine Communications. 2021. Vol. 33, No. 10. P. 1070–1076. doi: 10.1097/MNM.0b013e32835710b6.
- Nichols K.J., Tomas M.B., Tronco G.G., Palestro C.J. Sestamibi parathyroid scintigraphy in multigland disease // Nucl. Med. Commun. 2012. Vol. 33, No. 1. P. 43– 50. doi: 10.1097/MNM.0b013e32834bfeb1.
- Maccora D., Rizzo V., Fortini D., Mariani M., Giraldi L., Giordano A., Bruno I. Parathyroid scintigraphy in primary hyperparathyroidism: comparison between double-phase and subtraction techniques and possible affecting factors // J. Endocrinol. Invest. 2019. Vol. 42, No. 8. P. 889–895. doi: 10.1007/s40618-018-0996-8.
- 45. Huang Z., Lou C. <sup>99m</sup>TcO<sup>4-/99m</sup>Tc-MIBI dual-tracer scintigraphy for preoperative localization of parathyroid adenomas // *J. Int. Med. Res.* 2019. Vol. 47, No. 2. P. 836–845. doi: 10.1177/0300060518813742.
- Marković K.A., Janković M.M., Marković I. et al. Parathyroid dual tracer subtraction scintigraphy: small regions method for quantitative assessment of parathyroid adenoma uptake // Ann. Nuclear Medicine. 2014. Vol. 28, No. 8. P. 736–745. doi:10.1007/s12149-014-0867-0.
- Treglia G., Sadeghi R., Schalin-Jäntti C. et al. Detection rate of (99m) Tc-MIBI single photon emission computed tomography (SPECT)/CT in preoperative planning for patients with primary hyperparathyroidism: A meta-analysis // Head Neck. 2016. Vol. 38, No. 1. P. E2159–2172. doi: 10.1002/hed.24027.
- 48. Слащук К.Ю., Дегтярев М.В., Румянцев П.О. Методы визуализации околощитовидных желез при первичном гиперпаратиреозе. Обзор литературы // Эндокринная хирургия. 2019. Т. 13, № 4. С. 153–174. [Slashchuk K.Yu., Degtyarev M.V., Rumyantsev P.O. Methods of visualization of perithyroid glands in primary hyperparathyroidism. Literature review. Endocrine Surgery, 2019, Vol. 13, No. 4, pp. 153–174 (In Russ.)]. doi: 10.14341/serg12241.
- 49. Noltes M.E., Kruijfi S., Jansen L. et al. A retrospective analysis of the diagnostic performance of 11C-choline PET/CT for detection of hyperfunctioning parathyroid glands after prior negative or discordant imaging in primary hyperparathyroidism // EJNMMI Res. 2021. 26. Vol. 11, No. 1. P. 32. doi: 10.1186/s13550-021-00778-7.
- Tang B.N., Moreno-Reyes R., Blocklet D. et al. Accurate preoperative localization of pathological parathyroid glands using <sup>11</sup>C-methionine PET/CT // Contrast Media Mol. Imaging. 2008. Vol. 3, No. 4. P. 157–163. doi: 10.1002/cmmi.243.
- Treglia G., Piccardo A., Imperiale A. Diagnostic performance of choline PET for detection of hyperfunctioning parathyroid glands in hyperparathyroidism: a systematic review and meta-analysis // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2019. Vol. 463. P. 751–765. doi: 10.1007/s00259-018-4123-z.
- Weber T., Gottstein M., Schwenzer S. et al. Is C-11 Methionine PET/CT Able to Localise Sestamibi-Negative Parathyroid Adenomas? // World J. Surg. 2017. Vol. 41, No. 4. P. 980–985. doi: 10.1007/s00268-016-3795-4.
- Mathey C., Keyzer C., Blocklet D. et al. <sup>18</sup>F-Fluorocholine PET/CT Is More Sensitive Than <sup>11</sup>C-Methionine PET/CT for the Localization of Hyperfunctioning Parathyroid Tissue in Primary Hyperparathyroidism // J. Nucl Med. 2022. Vol. 63, No. 5. P. 785–791. doi: 10.2967/jnumed.121.262395.
- Patel S.G., Saunders N.D., Jamshed S., Weber C.J., Sharma J. Multimodal Preoperative Localization Improves Outcomes in Reoperative Parathyroidectomy: A 25-Year Surgical Experience // The American Surg. 2019. Vol. 85, No. 9. P. 939–943. doi: 10.1177/00031348190850093.
- 55. Hendricks A., Lenschow C., Kroiss M., Buck A., Kickuth R., Germer C.T., Schlegel N. Evaluation of diagnostic efficacy for localization of parathyroid adenoma in patients with primary hyperparathyroidism undergoing repeat surgery // Langenbecks Arch. Surg. 2021. Vol. 406, No. 5. P. 1615–1624. doi: 10.1007/s00423-021-02191-z.
- 56. Hassler S., Ben-Sellem D., Hubele F. Dual-isotope 99mTc-MIBI/123I parathyroid scintigraphy in primary hyperparathyroidism: comparison of subtraction SPECT/CT and pinhole planar scan // *Clin. Nucl. Med.* 2014. Vol. 391. P. 32–36. doi: 10.1097/RLU.00000000000272.
- Neumann D.R., Obuchowski N.A., DiFilippo F.P. Preoperative <sup>123</sup>I/<sup>99m</sup>Tc-Sestamibi Subtraction SPECT and SPECT/CT in Primary Hyperparathyroidism // Journal of Nuclear Medicine. 2008. Vol. 49, No. 12. P. 2012–2017. doi: 10.2967/jnumed.108.054858.
- Latge A., Riehm S., Vix M. et al. 18F-Fluorocholine PET and 4D-CT in Patients with Persistent and Recurrent Primary Hyperparathyroidism // Diagnostics (Basel).
   2021. Dec 17. Vol. 11, No. 12. P. 2384. 1–20. doi: 10.3390/diagnostics11122384. PMID: 34943620; PMCID: PMC8700343.
- Amadou C., Bera G., Ezziane M. et al. <sup>18</sup>F-Fluorocholine PET/CT and Parathyroid 4D Computed Tomography for Primary Hyperparathyroidism: The Challenge of Reoperative Patients // World J. Surg. 2019. May. Vol. 43, No. 5. P. 1232–1242. doi: 10.1007/s00268-019-04910-6. PMID: 30659347.
УДК 618.19-006.6:681.31 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-72-81

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ КАЛЬЦИНАТОВ И ИХ СКОПЛЕНИЙ НА МАММОГРАММАХ: РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ БЛОКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА

<sup>1,2,3</sup>Д. В. Пасынков<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Е. А. Романычева<sup>®</sup>, <sup>1</sup>И. А. Егошин<sup>®</sup>, <sup>4</sup>А. А. Колчев<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>С. Н. Меринов<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>О. В. Бисыгина<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>М. А. Михальиова<sup>®</sup>

<sup>1</sup>Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия <sup>2</sup>Республиканский клинический онкологический диспансер, Йошкар-Ола, Россия <sup>3</sup>Казанская государственная медицинская академия, Казань, Россия <sup>4</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Ранее нами была разработана система компьютерного анализа (CAD) маммограмм MammCheck II, которая обеспечила повышение выявляемости малых и трудно идентифицируемых форм рака молочной железы (РМЖ). Однако данная система не была предназначена для идентификации и дифференцирования кальцинатов, хотя наличие кальцинатов не влияло на способность данной системы идентифицировать РМЖ, проявляющийся объемными образованиями.

**ЦЕЛЬ:** Разработать методику автоматического дифференцирования доброкачественных и подозрительных кальцинатов и их скоплений на маммограммах и охарактеризовать ее клиническую ценность.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Для тестирования системы использовался набор из 390 маммографических изображений, содержавших кальцинаты всех типов (278 — с доброкачественными и 112 — с подозрительными кальцинатами). В качестве классификатора использовали линейный метод опорных векторов (SVM), который был предварительно обучен на наборе из 126 изображений скоплений кальцинатов (70 доброкачественных, 56 подозрительных). Было разработано две модели SVM: без анализа сосудистых кальцинатов и с таковым, которые были протестированы.

Статистика: сравнение нормально распределенных выборок производили с использованием t-критерия Стьюдента, ненормально распределенных — с использованием критериев Уилкоксона и хи-квадрат. Оценка корреляции нормально распределенных выборок осуществлялась путем расчета коэффициента Пирсона, ненормально распределенных — коэффициентов Спирмена или Кендалла. Статистическую достоверность констатировали при получении значений p<0,05.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** При анализе результатов использования модели без анализа сосудистых кальцинатов было показано сходство мелких начальных кальцинатов данной природы с подозрительными, в результате данная модель ложно классифицировала 14 из 23 [60,87%] скоплений сосудистых кальцинатов как подозрительные. Это потребовало усовершенствования модели. Общие результаты дифференцирования кальцинатов всех типов (доброкачественных и злокачественных) при использовании обновленной модели с анализом сосудистых кальцинатов: истинно положительные заключения — 375/390 (96,15%), ложноположительные — 15/390 (3,84%). При этом в обоих случаях, когда подозрительные кальцинаты ошибочно маркировались как доброкачественные, ошибочное срабатывание отмечалось только на маммограммах в одной проекции, в то время как на маммограммах в другой проекции подозрительные кальцинаты были промаркированы верно.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** При разработке CAD представляется важным не только маркировать подозрительные зоны, но и обеспечивать подавление ложноположительных меток, соответствующих очевидно доброкачественным процессам. Однако при этом важно не подавить истинно положительные метки, поэтому при создании подобных систем очевидно неизбежен некоторый перекос в сторону снижения прогностической ценности подозрительных меток за счет максимального повышения прогностической ценности доброкачественных меток. На наш взгляд, разработанный подход удовлетворяет такому требованию. Более того, его интеграция в CAD позволяет подавить, например, метки мягкотканных образований, ассоциированных с типичными доброкачественными кальцинатами, возникающие на предыдущих этапах работы CAD. Это, в свою очередь, способствует снижению частоты ложноположительных меток основного алгоритма CAD.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Разработанный нами блок дифференцирования доброкачественных и подозрительных кальцинатов и их скоплений на маммограммах в версии с анализом сосудистых кальцинатов обеспечивает чувствительность 98,21% и специфичность 95,32% в реализации данной задачи. При этом прогностическая ценность отрицательного результата (NPV; доброкачественной метки) составила 99,25%, прогностическая ценность положительного результата (PPV; злокачественной метки) — 89,43%.

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** маммография, доброкачественные кальцинаты, сосудистые кальцинаты, подозрительные кальцинаты, дифференцирование, система компьютерного анализа

\* Для корреспонденции: Пасынков Дмитрий Валерьевич, e-mail: passynkov@mail.ru

Для цитирования: Пасынков Д.В., Романычева Е.А., Егошин И.А., Колчев А.А., Меринов С.Н., Бусыгина О.В., Михальцова М.А. Автоматическое дифференцирование кальцинатов и их скоплений на маммограммах: результаты работы блока системы компьютерного анализа // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 72–81, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-72-81.

## AUTOMATED DIFFERENTIATION OF CALCIFICATIONS AND THEIR CLUSTERS ON THE MAMMOGRAPHY IMAGE: THE OUTCOMES OF THE COMPUTER AIDED DIAGNOSIS SYSTEM MODULE

<sup>1,2,3</sup>Dmitry V. Pasynkov<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Ekaterina A. Romanycheva<sup>®</sup>, <sup>1,4</sup>Ivan A. Egoshin<sup>®</sup>, <sup>4</sup>Alexey A. Kolchev<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Serguei N. Merinov<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>Olga V. Busygina<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>Marina A. Mikhaltsova<sup>®</sup>

<sup>1</sup>Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia
 <sup>2</sup>Clinical Oncology Dispensary of Mari El Republic, Yoshkar-Ola, Russia
 <sup>3</sup>Kazan State Medical Academy, Kazan, Russia
 <sup>4</sup>Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

**INTRODUCTION:** Previously we developed the computer aided detection system (CAD) for mammography MammCheck II that increased the detection rate of small and difficult to detect breast carcinomas (BC). However this system was not specifically designed for calcification detection and discrimination. On the other hand, the calcifications had no influence on the CAD capability to detect BCs that appeared as a focal lesions.

**OBJECTIVE:** To develop the approach for automated differentiation of benign and suspicious calcifications on the mammography images and assess its clinical value.

**MATERIALS AND METHODS:** For the developed software testing we used a set of 390 mammography images with calcifications of all possible types (278 images with benign and 112 images with suspicious calcifications). For classification we used linear support vector machine (SVM) model, that was trained on the set of 126 images (70 — benign and 56 — suspicious). We developed two SVM models: with no vascular calcification analysis and with it.

*Statistics:* for comparison between the normally distributed samples we used the Student's T-test, for non-normally distributed — Wilcoxon signed-rank or Chi-square tests. For correlation testing of normally distributed samples the Paerson coefficient was calculated, for non-normally distributed samples — the Spearman or Kendall correlation coefficients. The statistical significance corresponded to P-values <0,05.

**RESULTS:** During the testing of the first model version with no vascular calcification analysis we discovered the similarity of small early vascular calcifications and the suspicious ones. As a result this model falsely classified 14 of 23 (60.87%) vascular calcification clusters as suspicious. Therefore the model was improved. The final discrimination results for all calcification types (both benign and suspicious) obtained with the help of improved model were the following: true positive conclusions — 375/390 (96.15%), false positive conclusions — 15/390 (3.84%). In both cases when suspicious calcifications were classified as benign the wrong results were seen only on one mammography view. At the same time, on another view the suspicious calcifications were correctly classified.

**DISCUSSION:** During the CAD development it seems important not only mark the suspicious areas but also suppress false positive markings corresponding to the obviously benign lesions. However it is important during this operation not to suppress the true positive markings. Therefore such systems are inevitably characterized by a certain shift to decreased prognostic value of suspicious markings at the expense of the highest possible prognostic value of benign markings. In our viewpoint, the developed approach meets this requirement. Moreover, its integration into the CAD allows to suppress the markings of soft tissue lesions associated with typical benign calcifications, appeared on the previous processing steps. This capability may decrease the false positive rate of the main CAD module.

**CONCLUSION:** The developed approach to benign and suspicious calcification discrimination (version with vascular calcification analysis) on the mammography image provided the sensitivity -98.21%, specificity -95.32%, negative predictive value (benign marking) -99.25%, positive predictive value (suspicious marking) -89.43%.

**KEYWORDS:** mammography, benign calcifications, suspicious calcifications, vascular calcifications, differentiation, computer aided detection system

### \* For correspondence: Dmitry V. Pasynkov, e-mail: passynkov@mail.ru

For citation: Pasynkov D.V., Romanycheva E.A., Egoshin I.A., Kolchev A.A., Merinov S.N., Busygina O.V., Mikhaltsova M.A. Automated differentiation of calcifications and their clusters on the mammography image: the outcomes of the computer aided diagnosis system module // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 72–81, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-72-81.

Введение. Рак молочной железы (РМЖ) является часто встречающейся опухолью, характеризующейся высокой степенью агрессивности. Несмотря на достигнутые значимые успехи в области диагностики и лечения РМЖ, данная проблема сохраняет свою актуальность. Так, в 2020 г. во всем мире у пациентов обоего пола РМЖ занимал первое место в структуре онкологической заболеваемости (11,7% всех случаев злокачественных новообразований) и пятое место в структуре общей онкологической смертности (6,9%). Среди женщин данная патология также занимает первое место в структуре онкологической заболеваемости (24,5%) и второе — по количеству летальных исходов (15,5%) [1]. В РФ распространенность РМЖ на 100000 населения выросла с 380,5 (при индексе накопления 9,7) в 2012 г. до 526,4 (при индексе накопления 11,2) в 2022 г. При этом доля РМЖ, выявленного в I-II стадии, возросла за аналогичный период с 64,5% до 73,7%, а 1-годичная летальность снизилась с 8,3% до 4,6% [2]. Неоспоримый вклад в достижение данных результатов внесло массовое распространение популяционных скрининговых программ, которые позволяют улучшить исходы у таких пациенток, обеспечивая выявление РМЖ на более ранней стадии.

Маммография (МГ) на протяжении многих лет расценивается как единственный метод, подходящий для реализации популяционного скрининга РМЖ. Данный метод продемонстрировал способность снижать ассоциированную с РМЖ летальность у женщин 50 лет и старше [3]. Обусловлено это способностью МГ обнаруживать ранний инвазивный РМЖ размером до 1 см, а также преинвазивный РМЖ, характеризующийся ограниченной способностью к гематогенному и лимфогенному метастазированию. При этом оба эти варианта РМЖ могут сопровождаться наличием скоплений микрокальцинатов, которые зачастую являются единственным проявлением данной патологии при МГ, что делает выявление этой изменений важной задачей лучевой диагностики [4]. Особую значимость данная проблема приобретает в свете того, что эти скопления могут иметь весьма малый размер (от нескольких миллиметров), и такие опухоли часто не выявляются альтернативными методами исследования молочной железы, в результате данная задача практически полностью возлагается на МГ [5, 6].

Однако, несмотря на сравнительно высокую чувствительность и наличие в литературе описаний вариантов скоплений кальцинатов, характерных для доброкачественных и злокачественных процессов, МГ характеризуется лишь умеренной специфичностью. Так, в выборке из 1843 скоплений кальцинатов, из которых только 40,6% соответствовали РМЖ, специфичность метода в дифференцировании данных скоплений составила 32% (95% ДИ 15–92%), 82% (95% ДИ 74–88%) и 66% (95% ДИ 26–92%) — для категорий BI-RADS 3, 4 и 5

В последние годы наблюдается интерес к разработке и внедрению различных цифровых технологий в рутинную медицинскую практику, поскольку использование цифровых инструментов способно повысить как чувствительность, так и специфичность стандартных лучевых исследований [7]. Ранее нами была разработана система компьютерного анализа (CAD) для маммографических изображений MammCheck II [8]. Показано, что применение данной системы в процессе маммографического скрининга обеспечило повышение выявляемости малых и трудно выявляемых форм РМЖ (до 1 см), когда общая частота обнаружения таких форм РМЖ составила 90,73% (323 из 356 случаев) [9], что в конечном счете позволило повысить выживаемость таких пациенток. Кроме того, была продемонстрирована способность данной системы ретроспективно идентифицировать подозрительные участки (в 86,7% случаев), которые, как выяснилось впоследствии, соответствовали ранним формам РМЖ [10]. Однако данная система не была предназначена для идентификации кальцинатов, хотя наличие кальцинатов не влияло на ее способность идентифицировать РМЖ, проявляющийся также другими изменениями. В результате позднее нами был разработан отдельный блок идентификации кальцинатов на маммограммах [11].

Тем не менее кальцинаты обнаруживаются при маммографии приблизительно у 50% женщин в возрасте старше 50 лет; большинство кальцинатов доброкачественны и не повышают риск развития РМЖ [12]. Это приводит к получению большого количества ложноположительных меток при автоматическом обнаружении кальцинатов, что требует их подавления при создании САD для МГ.

**Цель.** Разработка методики автоматического дифференцирования доброкачественных и подозрительных кальцинатов и их скоплений на маммограммах, а также анализ ее клинической ценности.

Материалы и методы. Исследование одобрено Комитетом по этике Казанской государственной медицинской академии — филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (протокол № 1/05 от 27 мая 2021 г.). Информированное согласие получено от каждого пациента.

Материалы. Для тестирования системы использовался набор из 390 маммографических изображений 212 пациенток, содержавших кальцинаты всех типов (278 маммограмм 145 пациенток — с доброкачественными кальцинатами и 112 маммограмм 67 пациенток — с подозрительными кальцинатами) (см. табл. 2). Верификацию РМЖ осуществляли гисто- и/или цитологически, верификацию доброкачественных кальцинатов — гисто- и/или цитологически либо результатами минимум 3-годичного наблюдения, в течение которого не отмечалось динамики кальцинатов, и не был выявлен РМЖ.

Методы. Маммография. Маммография выполнялась по стандартной методике на цифровой системе (Siemens Mammomat Fusion). Для последующего анализа использовались полученные маммограммы в формате DICOM с разрешением 600 точек/дюйм, экспортированные с системы. Для последующего анализа выделялись все возможные варианты кальцинатов и их скоплений на маммограммах, предусмотренные лексиконом «Система анализа и протоколирования результатов лучевых исследований молочной железы» (BI-RADS) Американской коллегии специалистов в области лучевой диагностики (ACR) [8].

Обнаружение кальцинатов и группировка их в скопления. Обнаружение кальцинатов осуществлялось с помощью ранее разработанного авторами блока автоматической идентификации кальцинатов (БАИК), предназначенного для интеграции в ранее разработанную авторами САD для маммографии MammCheck II [8]. Результатом БАИК являлось бинаризованное (черно-белое) изображение, где белыми являлись зоны залегания кальцинатов, черными — все остальное (см. рис. 3, б). Группировка отдельных кальцинатов в скопления производилась с помощью плотностного алгоритма пространственной кластеризации с присутствием шума [12].

Классификация скоплений кальцинатов. В качестве классификатора использовали линейный метод опорных векторов (SVM), который был предварительно обучен с помощью обучения с учителем с использованием перекрестной проверки ошибки k-блочной кросс-валидации. Обучающий набор состоял из 126 изображений скоплений кальцинатов (70 доброкачественных, 56 подозрительных).

*Методика без анализа сосудистых кальцинатов*. Для дифференцирования кальцинатов использовались их следующие количественные и геометрические признаки:

1) количество объектов в обнаруженном кластере N;

2) доля объектов малой площади в кластере (площадь <50 пикселей):  $D_{<50}=N_{<50}/N$ ;

 доля объектов большой площади в кластере (площадь >1500 пикселей): D<sub>>1500</sub>=N<sub>>1500</sub>/N;

4) эксцентриситет кластера (степень его отклонения от окружности):  $E=\sqrt{1-b^2/a^2}$ , где *а* и *b* — соответственно, большая и малая полуоси кластера (построенного с помощью алгоритма выпуклой оболочки Склански);

5) отношение площади, занимаемой объектами кластера, к площади всего кластера кальцинатов (рассеянность объектов по кластеру):  $relS=S^*/S$ , где  $S^*$  — количество пикселей, относящихся к объектам кластера, S — количество пикселей всего кластера (построенного с помощью алгоритма выпуклой оболочки Склански) [12].

*Анализ сосудистых кальцинатов.* Сосудистые кальцинаты сосредоточены только в стенке сосуда и, как правило, имеют одинаковое уширение, за счет этого они могут быть представлены в виде небольших прямолинейных отрезков.

Таким образом, для минимизации ложноположительных результатов их классификации было введено три дополнительных признака: 1) медианная ширина скопления *Width<sub>median</sub>*; 2) доля пикселей, по которым построились линии Хафа, включающиеся в скопления кальцинатов  $R_s$ ; 3) индекс корреляции с аппроксимирующей полиномиальной кривой третьей степени  $R_{cor}$ . Для расчета первых двух признаков использовалось прогрессивное вероятностное преобразование Хафа, которое позволяет находить произвольные заданные прямые на предварительно бинаризованном изображении [12].

На этапе тестирования программно реализованного блока дифференцирования кальцинатов (БДК) последние и их скопления, классифицированные как доброкачественные, обводились контуром зеленого цвета, подозрительные — красного (рис. 1). Однако при встраивании данного блока в САD МаттСheck II рутинной маркировки доброкачественных кальцинатов не предполагается во избежание повышения числа меток, что затруднит интерпретацию результата анализа изображения и будет отвлекать внимание врача на не требующие его зоны. В итоге система будет маркировать только кальцинаты и скопления, расцененные как подозрительные, красным контуром.

Статистическая обработка. В качестве параметров описательной статистики для непрерывных нормально распределенных выборок рассчитывали среднее арифметическое и стандартное отклонение, для ненормально распределенных — медиану и размах вариации. Для категориальных переменных рассчитывали частоты в виде количества (процента) наблюдений. Сравнение нормально распределенных выборок производили с использованием t-критерия Стьюдента, ненормально распределенных с использованием критериев Уилкоксона и хи-квадрат (для сравнения долей). Оценка корреляции нормально распределенных выборок осуществлялась путем расчета коэффициента Пирсона, ненормально распределенных — коэффициентов Спирмена или Кендалла. Оценка нормальности распределения выборок осуществлялась с использованием крите-Колмогорова-Смирнова. Статистическую рия достоверность констатировали при получении значений p<0,05. Все статистические анализы выполняли в программном пакете SPSS 13.0.

Результаты. Средний возраст (±стандартное отклонение) всех пациенток составил 57,90±16,86 года (размах вариации 35–81 год). Средний возраст пациенток с доброкачественными кальцинатами составил 71,50±10,27 года (размах вариации 51–81 год) и был достоверно выше данного показателя у пациенток с подозрительными кальцинатами (43,80±12,06 года; размах вариации 35-61 год; p=0,008).

значения коэффициентов их межкорреляции *r* (табл. 1). Как видно, большинство признаков слабо



**Рис. 1.** Пример работы тестовой версии блока дифференцирования кальцинатов на маммографических изображениях: *а* — исходное изображение; *б* — результат работы блока (красным промаркированы скопления подозрительных кальцинатов, зеленым — доброкачественные кальцинаты). При работе в составе CAD зеленые метки по умолчанию не отображаются

**Fig. 1.** The example outputs of the test version of calcification discrimination module (CDM) for mammography images: a — source image;  $\delta$  — CDM output (the suspicious clusters are marked with red, benign clusters — with green). Note: after the CDM integration into the CAD the green markings are no longer visible

Средний максимальный размер зоны скопления кальцинатов составил 56,87±34,09 мм. Средний максимальный размер зоны подозрительных кальцинатов составил 60,20±22,88 мм (размах вариа-9 - 130доброкачественных ЦИИ мм), 55,20±39,57 мм (размах вариации 11-114 мм). Различие данных значений для подозрительных и доброкачественных кальцинатов не было достоверным (р=0,679). Однако следует учесть, что максимальные значения размера скопления кальцинатов были получены для сосудистых кальцинатов, у которых максимальный размер значительно превышал минимальный. После исключения этих кальцинатов из выборки доброкачественных средний размер скопления доброкачественных кальцинатов составил 19,06+7,83 мм (размах вариации 11-28 мм) и был достоверно меньше такового скопления подозрительных кальцинатов (р=0,008). Это обусловило целесообразность тестирования двух моделей классификации.

*Модель без анализа сосудистых кальцинатов.* При первичном анализе пяти признаков несосудистых кальцинатов были вычислены абсолютные коррелированы между собой, что делает их пригодными для включения в модель.

Коэффі	ициенты к	орреляци	и <i>г</i> призна	тас аков межд	олица I <b>у собой</b>
Th	e feature c	orrelation	coefficien	its ( <i>r</i> ) mat	Table 1 t <b>rix</b>
Признак	1	2	3	4	5
1	1	0,12	0,112	0,038	0,268
2		1	0,713	0,028	0,043
3			1	0,04	0,088
4				1	0,415
5					1

На рис. 2 представлены распределения значений признаков для доброкачественных и подозрительных скоплений кальцинатов МЖ. В большинстве случаев перекрывание значений признаков для различных классов минимально, что делает их валидными для включения в многофакторную модель.

Однако экспериментально было установлено, что используемые признаки классификации оказались

сравнимы для скоплений подозрительных кальцинатов (в особенности имеющих внутрипротоковое распространение) и фрагментарных доброкачественных сосудистых кальцинатов, где отдельные компоненты скопления были мелкими (см. рис. 3). выполнены все три следующих условия: 1) медианная ширина исследуемого объекта *Width<sub>median</sub>*<31 пикселя; 2) *R<sub>S</sub>*<0,45; 3) *R<sub>cor</sub>*>0,336, то данный объект можно отнести к доброкачественному сосудистому скоплению кальцинатов. Это позволило значи-





Fig. 2. The normalized distributions of the selected features for benign and malignant breast calcifications

В частности, было выявлено, что количество объектов в обнаруженном кластере (признак 1), доля объектов малой площади (признак 2), эксцентриситет кластера (признак 4) и отношение площади занимаемой объектами кластера и площади всего кластера (признак 5) во многих случаях кальциниротельно снизить частоту ложноположительных меток за счет неверной классификации сосудистых кальцинатов без влияния на результаты классификации всех других типов кальцинатов (табл. 2).

Общие результаты дифференцирования кальцинатов всех типов (доброкачественных и злокаче-



**Рис. 3.** Изображения кальцинированных сосудов на маммограммах: *а* — исходное изображение скопления; *б* — результат бинаризации. Белой рамкой показаны фрагментарные сосудистые кальцинаты, имитирующие злокачественные

Fig. 3. The vascular calcifications: a — source image of the cluster;  $\delta$  — binarized image. The fragmentary vascular calcifications resembling the malignant ones are marked with the white frame

ванных сосудов оказались сравнимы с таковыми подозрительных скоплений кальцинатов, и SVM классифицировал их неверно (14 из 23 [60,87%] скоплений сосудистых кальцинатов были ложно классифицированы как подозрительные, что значительно повысило частоту ложноположительных срабатываний). Это потребовало включения в модель дополнительных параметров.

*Модель с анализом сосудистых кальцинатов.* При анализе специфичных параметров сосудистых кальцинатов было установлено, что если ственных): истинно положительные — 375/390 (96,15%), ложноположительные — 15/390 (3,84%). При этом в обоих случаях, когда подозрительные кальцинаты ошибочно маркировались как доброкачественные, ошибочное срабатывание отмечалось только на маммограммах в одной проекции, в то время как на маммограммах в другой проекции подозрительные кальцинаты были верно промаркированы как таковые. Именно поэтому данные случаи не расценивались нами как истинные ложноотрицательные результаты (рис. 4).

### Таблица 2

### Результаты дифференцирования скоплений кальцинатов

The results	of	the	calcification	clusters	discrimination

Table 2

	Доброкачественные			Подозрительные	
тип кальцинатов	истинно положительные метки / всего (%)	ложноположительные метки / всего (%)	тип кальцинатов	истинно положительные метки / всего (%)	ложноположительные метки / всего (%)
Обызвествленный осадок	4/4 (100)	0/4 (0)	Аморфные	19/19(100)	0/19(0)
Дистрофические	37/40 (92,50)	3/40 (7,50)	Крупные гетеро- генные	35/37 (9,46)	2/37 (5,41)
Округлые	65/66 (98,48)	1/66(1,50)	Мелкие линейные	13/13(100)	0/13(0)
Палочковидные	6/8(75,00)	2/8 (25,00)	Мелкие линейные ветвящиеся	6/6(100)	0/6(0)
Сосудистые	20/23 (86,96)	3/23 (13,04)	Мелкие полимор- фные	37/37 (100)	0/37 (0)
Точечные	13/13(100)	0/13(0)			
Хлопьевидные	103/105 (98,10)	2/105(1,90)			
Яичная скорлупа	17/19 (89,47)	2/19 (10,53)			
Всего	265/278 (95,32)	13/278 (4,68)	Всего	110/112 (98,21)	2/112 (1,79)

Обсуждение. При разработке САD представляется важным не только маркировать подозрительные зоны, но и обеспечивать подавление ложноположительных меток, соответствующих очевидно доброкачественным процессам, не отображая их на результирующих изображениях, поскольку присутствие слишком большого количества меток приводит к распылению внимания врача, высоким временным затратам на их изучение и, в конечном итоге к получению негативного впечатления от использования данного инструмента и утрате веры в его пользу. Однако при этом важно не подавить истинно положительные метки, поэтому при создании подобных систем очевидно неизбежен некоторый перекос в сторону снижения прогностической ценности подозрительных меток за счет максимального повышения прогностической ценности доброкачественных меток. На наш взгляд, БДК удовлетворяет такому требованию. Более того, его интеграция в CAD позволяет подавить, например, метки мягкотканных образований, ассоциированных с типичными доброкачественными кальцинатами (например, хлопьевидными), возникающие на предыдущих этапах работы CAD. Это, в свою очередь, способствует снижению частоты ложноположительных меток основного алгоритма CAD.

Известно, что на ранних этапах развития, когда объем кальцинации еще не достигает типичного, доброкачественные кальцинаты, будучи мелкими, могут имитировать подозрительные [14]. Наиболее частыми из них являются сосудистые, которые отмечаются у 9,1% пациенток в возрасте моложе 50 лет, а у женщин в возрасте старше 65 лет их частота превышает 50%. В результате общая частота сосудистых кальцинатов в женской популяции варьирует от 9% до 17% [15]. При работе CAD это, очевидно, породит ложноположительные метки, частота которых будет весьма высокой, что требует избирательного подавления этой категории типичных доброкачественных кальцинатов.

Попытки автоматизированного обнаружения и дифференцирования подозрительных кальцинатов маммограммах предпринимались на ранее. Разработанные модели могли включать следующие этапы: 1) предобработку маммографического изображения с целью подавления сигналов объектов, не имеющих отношения к кальцинатам; 2) отбор признаков, коррелирующих с характером кальцинатов (доброкачественный или подозрительный либо наличие/отсутствие кальцинатов) и 3) собственно классификатор. В рамках предобработки выполнялись автоматическое удаление краевых структур (в том числе тени большой грудной мышцы) как зон, априори не содержащих интересующих кальцинатов, удаление артефактов (например, с использованием алгоритма сопоставления с шаблоном), подавление шума (с использованием фильтра Ли, гамма-фильтра) [16, 17]. В качестве дифференцирующих признаков использовались следующие характеристики кальцинатов: площадь, площадь конвекса, диаметр эквивалента, распространенность, площадь заполнения, длины главной и дополнительной осей, ориентация, периметр, солидность, минимальная, средняя и максимальная интенсивность, куртозис, энтропия, скошенность гистограммы, стандартное отклонение, параметры матрицы несоответствий уровней серого, параметры нейронных сетей глубокого обучения и т.д. Для классификации применялись методы многослойного персептрона (MLP), решающих деревьев (RF), SVM, AdaBoost, случайного поля Маркова, k ближайших соседей, линейный дискриминантный анализ, нейронные сети различного дизайна [17, 18]. При этом очевидно, что результаты последующих этапов во многом определяются результатами



Рис. 4. Пример ложноотрицательного срабатывания на изображении в одной проекции при верном срабатывании на изображении в другой проекции у пациентки с верифицированным инвазивным РМЖ на фоне плотной паренхимы: *а* — краниокаудальная маммограмма, ввиду суммации низкоинтенсивные кальцинаты практически не определяются на фоне плотной нодулярной паренхимы; выделенная черной рамкой область интереса приведена в увеличенном виде на рис. 4, *д*; *б* — результат работы БДК с маммограммой на рис. 4, *a*: имеется несколько мелких меток, что свидетельствует об обнаружении низкоинтенсивных кальцинатов, однако они промаркированы зеленым (ложно классифицированы как доброкачественные); *в* — медиолатеральная косая маммограмма той же пациентки: кальцинаты определяются несколько более отчетливо; выделенная черной рамкой область интереса приведена в увеличенном виде на рис. 4, *e*; *e* — результат работы БДК с маммограммой на рис. 4, *s*: имеются множественные красные метки, соответствующие низкоинтенсивным кальцинатам, верно классифицированы как подозрительные; *д* — увеличенная в 2 раза область интереса, обозначенная черной рамкой на рис. 4, *a*; *e* — увеличенная в 2 раза область интереса, обозначенная черной рамкой на рис. 4, *a*; *e* —

**Fig. 4.** The example of the false-negative output on the one view associated with the correct output on the another view in patient with proven invasive breast carcinoma located on the dense parenchymal background: a — cracniocaudal view: the low-intensity calcifications are hardly seen on the dense nodular background; the region of interest is marked with black frame and given enlarged on the fig. 4,  $\partial$ ;  $\delta$  — calcification discrimination module (CDM) output with the image on the fig. 4, *a*. There are several small markings corresponding to the identified low-intensity calcifications, however they are marked with green (i.e. falsely classified as benign);  $\beta$  — mediolateral oblique view of the same patient: the calcifications are seen slightly more obvious; the region of interest is marked with black frame and given enlarged on the fig. 4, e; e — CDM output with the image on the fig. 4, e; there are multiple red markings corresponding to the low-intensity calcifications that are correctly classified as malignant;  $\partial$  — 2X enlarged region of interest marked with the black frame on the fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.000 multiple region of interest marked with the black frame fig. 4, e; e = 0.0000 multiple region fig. 4, e; e = 0.00000 multiple region fig. 4, e; e = 0.0000 multiple regi

предыдущих, т.е. оптимальная комбинация этапов решения подобных задач имеет исключительное значение.

Различные комбинации этих подходов апробировались на небольших (до 100 пациенток) отобранных выборках и обеспечивали широкий диапазон значений чувствительности, специфичности и точности в диапазоне 67-98% [18, 19]. В единственной найденной нами отечественной публикации по данной тематике достигнутые значения чувствительности в обнаружении кальцинатов на маммограммах составили 75,8%, специфичности — 46,7%, точности — 59,2%, прогностической значимости положительного результата — 51,6%, прогностической значимости отрицательного результата — 72,2%. Описание использованных авторами методов не представлено, однако задача классификации обнаруженных кальцинатов ими не решалась. Кроме того, эти авторы, по-видимому, с целью снижения частоты ложноположительных меток, использовали в модели порог минимального количества обнаруживаемых кальцинатов в группе, составлявший пять и более, что не позволило им обнаруживать и дифференцировать малые скопления микрокальцинатов. Тем не менее даже при этом ими была отмечена возможность ретроспективно идентифицировать скопления микрокальцинатов, пропущенные при визуальном анализе маммограмм [20], что было подтверждено и нами.

Заключение. Разработанный нами подход к дифференцированию доброкачественных и подозрительных кальцинатов и их скоплений на маммограммах в версии с анализом сосудистых кальцинатов обеспечивает чувствительность 98,21% и специфичность 95,32% в реализации данной задачи. При этом прогностическая ценность отрицательного результата (NPV; доброкачественной метки) составила 99,25%, прогностическая ценность положительного результата (PPV; злокачественной метки) — 89,43%.

#### Сведения об авторах:

- Пасынков Дмитрий Валерьевич кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой лучевой диагностики и онкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Марийский государственный университет»; заведующий отделением лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения «Республиканский клинический онкологический диспансер Республики Марий Эл»; 424036, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22; e-mail: passynkov@mail.ru; ORCID 0000–0003–1888–2307; SPIN 7264–3745; Author ID (Scopus) 57194777454; Researcher ID (WoS) HJH-2122–2023;
- Романычева Екатерина Андреевна врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения «Республиканский клинический онкологический диспансер Республики Марий Эл»; 424036, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22; e-mail: katerina.rrr@bk.ru; ORCID 0000–0002–0254– 092X; SPIN 4232–1106; Author ID (Scopus) 57190967121;
- *Егошин Иван Александрович* младший научный сотрудник федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Марийский государственный университет»; 424001, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1; e-mail: jungl91@mail.ru; ORCID 0000–0003–0717– 0734; SPIN-код 6250–9619; Author ID (Scopus) 57194087483;
- Колчев Алексей Анатольевич кандидат физико-математических наук, доцент федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»; 420008, Казань, ул. Кремлевская, д. 18, к. 1; e-mail: kolchevaa@mail.ru; ORCID 0000–0002–1692–2558; SPIN 8376–1478; Author ID (Scopus) 6603495936;
- Меринов Сергей Николаевич врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения «Республиканский клинический онкологический диспансер Республики Марий Эл»; 424036, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22; e-mail: xhafabayer@yandex.ru; ORCID 0000–0001–5689–8815;
- Бусыгина Ольга Валерьевна врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения «Республиканский клинический онкологический диспансер Республики Марий Эл»; 424036, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22; ORCID 0000–0001–7513–2217; e-mail: busigina.olga@inbox.ru;
- *Михальцова Марина Алексеевна* врач-онколог отделения амбулаторной диагностики и лечения государственного бюджетного учреждения «Республиканский клинический онкологический диспансер Республики Марий Эл»; 424036, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, д. 22; e-mail: marina-mikhaltssova@yandex.ru; ORCID 0009–00844–3731; SPIN 5946–9603.

#### Information about the authors:

- *Dmitry V. Pasynkov* Cand. of Sci. (Med.), associate professor, head of the department of radiology and oncology in Mari State University, head of the department of radiology in Clinical Oncology Dispensary of Mari El Republic; Russia, 424036 Yoshkar-Ola, Osipenko St., 22; e-mail: passynkov@mail.ru; ORCID 0000–0003–1888–2307; SPIN 7264–3745; Author ID (Scopus) 57194777454; Researcher ID (WoS) HJH-2122–2023;
- *Ekaterina A. Romanycheva* radiologist, department of radiology in Clinical Oncology Dispensary of Mari El Republic; Russia, 424036 Yoshkar-Ola, Osipenko St., 22; SPIN 4232–1106; Author ID (Scopus) 57190967121; ORCID 0000–0002–0254–092X; e-mail: katerina.rrr@bk.ru;
- Ivan A. Egoshin junior researcher at Mari State University; Russia, 424001 Yoshkar-Ola, Lenin sq., 1; e-mail: jungl91@mail.ru; ORCID 0000-0003-0717-0734; SPIN 6250-9619; Author ID (Scopus) 57194087483;
- Alexey A. Kolchev Cand. of Sci. (Phys. And Math.), associate professor in Kazan (Volga region) Federal University; Russia, 424008 Kazan, Kremliovskaja St., 18; e-mail: kolchevaa@mail.ru; ORCID 0000-0002-1692-2558; SPIN-Kog 8376-1478; Author ID (Scopus) 6603495936;
- Serguei N. Merinov radiologist, department of radiology in Clinical Oncology Dispensary of Mari El Republic; Russia, 424036 Yoshkar-Ola, Osipenko St., 22; e-mail: xhafabayer@yandex.ru; ORCID 0000-0001-5689-8815;
- Olga V. Busygina radiologist, department of radiology in Clinical Oncology Dispensary of Mari El Republic; Russia, 424036 Yoshkar-Ola, Osipenko St., 22; e-mail: busigina.olga@inbox.ru; ORCID 0000-0001-7513-2217;
- Marina A. Mikhaltsova oncologist, department of out-patient diagnostics and treatment in Clinical Oncology Dispensary of Mari El Republic; Russia, 424036 Yoshkar-Ola, Osipenko St., 22; e-mail: marina-mikhaltssova@yandex.ru; ORCID 0009–0009–0844–3731; SPIN 5946–9603.

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 — Д.В. Пасынков, Е. А. Романычева; разработка и анализ данных — И.А. Егошин, А. А. Колчев, Е.А. Романычев, С. Н. Меринов, О.В. Бусыгина, М. А. Михальцова; подготовка рукописи — Д.В. Пасынков, Е. А. Романычева.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: DVP, EAR developed the concept and plan of the study; IAE, AAK, EAR EAR, SNM, OVB, SEK developed and data analysis; DVP, EAR prepared the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Adherence to conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Соответствие принципам этики: Исследование одобрено Комитетом по этике Казанской государственной медицинской академии — филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (протокол № 1/05 от 27 мая 2021 г.). Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: The study was approved by the Ethics Committee of the Kazan State Medical Academy, a branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian Ministry of Health (Protocol No. 1/05 from May 27, 2021). Informed consent was received from each patient.

Поступила/Received: 23.03.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- 1. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // CA Cancer J. Clin. 2021. Vol. 71, No. 3. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660.
- Шахзадова А.О., Старинский В.В., Лисичникова И.В. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году // Сибирский онкологический журнал. 2023. Т. 22, № 5. С. 5–13. [Shakhzadovaya A.O., Starinskiy V.V., Lisichnikova I.V. Oncology care to the population of Russia in 2022. Siberian Journal of Oncology, 2023, Vol. 22, No. 5, pp. 5–13 (In Russ.)]. doi: 10.21294/1814-4861-2023-22-5-5-13.
- Lauby-Secretan B., Scoccianti C., Loomis D., Benbrahim-Tallaa L., Bouvard V., Bianchini F., Straif K. Breast-cancer screening viewpoint of the IARC Working Group // The New England Journal of Medicine. 2015. Vol. 372, No. 24. P. 2353–2358. doi: 10.1056/NEJMsr1504363.
- Ali M.A., Czene K., Hall P., Humphreys K. Association of Microcalcification Clusters with Short-term Invasive Breast Cancer Risk and Breast Cancer Risk Factors // Sci. Rep. 2019. Vol. 9, No. 1. P. 1–8. doi: 10.1038/s41598-019-51186-w.
- 5. Громов А.И., Комин Ю.А., Мозеров С.А., Красницкая С.К. Ультразвуковой мерцающий артефакт в дифференциальной диагностике кальцинатов молочных желез // Медицинская визуализация. 2021. Т. 25, № 3. С. 157–166. [Gromov A.I., Komin Yu.A., Mozerov S.A., Krasnitskaya S.K. Twinkling artifact in differential diagnosis of mammary calcinates. *Medical Visualization*, 2021, Vol. 25, No. 3, pp. 157–166 (In Russ.)]. doi: 10.24835/1607-0763-1025.
- Bennani-Baiti B., Baltzer P.A. MR Imaging for Diagnosis of Malignancy in Mammographic Microcalcifications: A Systematic Review and Meta-Analysis // Radiology, 2017. Vol. 283, No. 3. P. 692–701. doi: 10.1148/radiol.2016161106.
- Masud R., Al-Rei M., Lokker C. Computer-Aided Detection for Breast Cancer Screening in Clinical Settings: Scoping Review // JMIR Med Inform. 2019. Vol. 7, No. 3. e12660. doi: 10.2196/12660.
- Rao A.A., Feneis J., Lalonde C., Ojeda-Fournier H. A Pictorial Review of Changes in the BI-RADS. Fifth Edition // Home Radio Graphics. 2016. Vol. 36, No 3. P. 623–639. URL: https://doi.org/10.1148/rg.2016150178.
- Egoshin I., Pasynkov D., Kolchev A., Kliouchkin I., Pasynkova O. A segmentation approach for mammographic images and its clinical value // IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS) (Tel-Aviv, Israel, November 13–15, 2017). Tel-Aviv, Israel, 2017.
   P. 1–6. doi: 10.1109/COMCAS.2017.8244764.
- Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Клюшкин И.В., Пасынкова О.О. Эффективность системы компьютерного анализа маммограмм в диагностике вариантов рака молочной железы, трудно выявляемых при скрининговой маммографии // Russian Electronic Journal of Radiology. 2019. Т. 9, № 2. С. 107–118. [Pasynkov D.V., Egoshin I.A., Kolchev A.A., Klyushkin I.V., Pasynkova O.O. The value of computer aided detection system in breast cancer difficult to detect at screening mammography. Russian Electronic Journal of Radiology, 2019, Vol. 9, No. 2, pp. 107–118 (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2019-9-2-107-118.
- 11. Хасанов Р.Ш., Тухбатуллин М.Г., Пасынков Д.В. Эффективность применения системы компьютерного анализа маммограмм при скрининге рака молочной железы: одноцентровое, проспективное, рандомизированное клиническое исследование // Вопросы онкологии. 2021. Т. 67, № 6. С. 777–784. [Khasanov R.Sh., Tukhbatullin M.G., Pasynkov D.V. The value of computer aided detection system for mammography in the breast cancer screening: single-center, prospective, randomized clinical trial. Questions of Oncology, 2021, Vol. 67, No. 6, pp. 777–784 (In Russ.)]. doi: 10.37469/0507-3758-2021-67-6-777-784.
- Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Романычева Е.А., Клюшкин И.В., Пасынкова О.О. Обнаружение и классификация скоплений микрокальцинатов на маммографических изображениях // Медицинская техника. 2024. № 1. С. 29–32. [Pasynkov D.V., Egoshin I.A., Kolchev A.A., Romanycheva E.A., Klyushkin I.V., Pasynkova O.O. Detection and classification of microcalcification clusters on mammographic images. Medical Engineering, 2024, No. 1, pp. 29–32 (In Russ.)].
- Chaudhury S., Rakhra M., Memon N., Sau K., Ayana M.T. Breast Cancer Calcifications: Identification Using a Novel Segmentation Approach // Comput. Math Methods Med. 2021. Vol. 2021, P. 9905808. doi: 10.1155/2021/9905808.
- 14. Guirguis M.S., Adrada B., Santiago L., Candelaria R., Arribas E. Mimickers of breast malignancy: imaging findings, pathologic concordance and clinical management // Insights Imaging. 2021. Vol. 12, No. 1, p. 53. doi: 10.1186/s13244-021-00991-x.
- Oliveira E.L., Freitas-Junior R., Afiune-Neto A., Murta E.F., Ferro J.E., Melo A.F. Vascular calcifications seen on mammography: an independent factor indicating coronary artery disease // Clinics (Sao Paulo). 2009. Vol. 64, No. 8. P. 763–767. doi: 10.1590/S1807-5932200900800009.
- Loizidou K., Skouroumouni G., Nikolaou C., Pitris C. An Automated Breast Micro-Calcification Detection and Classification Technique Using Temporal Subtraction of Mammograms // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 52785–52795. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980616.
- Gowri V., Valluvan K.R., Chamundeeswari V.V. Automated Detection and Classification of Microcalcification Clusters with Enhanced Preprocessing and Fractal Analysis // Asian Pac. J. Cancer Prev. 2018. Vol. 19, No. 11. P. 3093–3098. doi: 10.31557/APJCP.2018.19.11.3093.
- Brahimetaj R., Willekens I., Massart A., Forsyth R., Cornelis J., De Mey J., Jansen B. Improved automated early detection of breast cancer based on high resolution 3D micro-CT microcalcification images // BMC Cancer. 2022. Vol. 22, No. 1. P. 162. doi: 10.1186/s12885-021-09133-4.
- Veldkamp W.J.H., Karssemeijer N., Otten J.D.M., Hendriks J.H.C.L. Automated classification of clustered microcalcifications into malignant and benign types // Med. Phys. 2000. Vol. 27, No. 11. P. 2600–2608. doi: 10.1118/1.1318221.
- 20. Кузнецов А.А., Климова Н.В. Возможности программы поиска скоплений микрокальцинатов на цифровых маммограммах для повышения эффективности диагностики рака молочной железы // Вестник СурГУ. Медицина. 2022. Т. 53, № 3. С. 46–50. [Kuznetsov A.A., Klimova N.V. Possibilities of the program for searching for clusters of microcalcifications on digital mammograms to increase the efficiency of diagnosing breast cancer. Bulletin of Surgut State University Medicine, 2022, Vol. 53, No 3, pp. 46–50 (In Russ.)]. doi: 10.34822/2304-9448-2022-3-46-50.

УДК 616.24-073.756.8 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-82-91

## ПЕРФУЗИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПОЧЕК. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРФУЗИИ ПОЧЕК В НОРМЕ: СЛУЧАЙ-КОНТРОЛЬ

<sup>1,2</sup>М. Я. БеликоваФ, <sup>1</sup>М. А. МальцеваФ\*
 <sup>1</sup>Госпиталь для ветеранов войн, Санкт-Петербург, Россия
 <sup>2</sup>Институт мозга человека имени Н. П. Бехтеревой РАН, Санкт-Петербург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Перфузионная компьютерная томография (ПКТ) — это контрастная методика исследования, позволяющая оценить кровоток в корковом и мозговом слоях почечной паренхимы на уровне микроциркуляторного русла, влияние добавочных почечных сосудов и стенозов почечных артерий на гемодинамику в паренхиме почек.

**ЦЕЛЬ:** Оптимизировать методику перфузионной компьютерной томографии почек. Определить наиболее информативные показатели перфузии паренхимы почек в норме. Оценить взаимосвязь показателей перфузии с количеством почечных сосудов, наличием стенозов почечных артерий.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** ПКТ была выполнена 46 пациентам с отсутствием анамнестических и клинико-лабораторных данных о заболеваниях почек, проходивших обследование по поводу других патологических состояний, среди которых было 35 пациентов в возрасте от 20 до 90 лет (средний возраст — 63,1 год) без гемодинамически значимых стенозов и 11 пациентов в возрасте от 64 до 94 лет (средний возраст 80,3 года) со стенозами почечных артерий от 50% и выше. Показатели перфузии рассчитывались с использованием алгоритмов максимального наклона и деконволюции, строились кинетические кривые на графике «время-плотность», цветовые параметрические карты.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Выполнена числовая оценка показателей перфузии в кортикальном и мозговом слоях почек, качественный анализ состояния ее паренхимы на цветовых параметрических картах, проанализирована форма кинетических кривых на графике «время-плотность». Установлены изменения показателей перфузии в зависимости от возраста, количества и состояния почечных сосудов.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** В кортикальном слое почек отмечалось преобладание показателей скорости кровотока (BF), объема кровотока (BV), скорости возрастания плотности контрастного вещества (KB) в ткани (MSI), проницаемости стенки капилляров (PS) и более низкие значения показателей среднего времени прохождения KB (MTT) и времени достижения максимальной плотности KB в ткани (TTP) в сравнении с мозговым слоем. На цветовых параметрических картах BF, BV, MSI кортикальный слой характеризовался интенсивным красным окрашиванием, мозговой — желто-зеленым, на карте TTP определялось зеленое и синее окрашивание слоев соответственно. У пациентов старческого возраста отмечено снижение показателей BF, BV с содружественным удлинением TTP в кортикальном слое без изменения окрашивания на цветовых параметрических картах. На графике «плотность-время» кинетическая кривая коркового слоя характеризовалась появлением пика через 10 секунд после наступления пикового значения в брюшной аорте с дальнейшим продолжением кривой в виде плато, кинетическая кривая мозгового слоя характеризовалась появлеьнием после начала сканирования без формирования пиковых значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ПКТ является информативной методикой числовой и качественной оценки перфузии в паренхиме почек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: перфузионная компьютерная томография, почки, показатели перфузии в паренхиме почек в норме

\* Для корреспонденции: Мальцева Марина Анатольевна, e-mail: maltsevamarina.rg@gmail.com.

Для цитирования: Беликова М.Я., Мальцева М.А. Перфузионная компьютерная томография почек. Методика исследования. Показатели перфузии почек в норме: случай-контроль // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 82–91, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-82-91.

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

## PERFUSION COMPUTER TOMOGRAPHY OF THE KIDNEYS. RESEARCH TECHNIQUE. PERFUSION INDICATORS IN THE NORM: CASE-CONTROL

<sup>1,2</sup>Maria Ya. Belikova<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Marina A. Maltseva<sup>®</sup>\*

<sup>1</sup>The Hospital for Veterans of Wars, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>N. P. Behtereva Institute of the Human Brain of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** Perfusion computed tomography (PCT) is a contrast research technique that allows one to assess blood flow in the cortical and medulla layers of the renal parenchyma at the level of the microcirculatory bed, the influence of additional renal vessels and stenoses of the renal arteries on hemodynamics in the renal parenchyma.

**OBJECTIVE:** To optimize the technique of perfusion computed tomography of the kidneys. Determine the most informative indicators of perfusion in the renal parenchyma in the norm. Assess the relationship between perfusion parameters and the number of renal vessels, the presence of renal artery stenosis.

**MATERIALS AND METHODS:** PCT was performed in 46 patients with no anamnestic and clinical laboratory data on kidney disease who were undergoing examination for other pathological conditions, including 35 patients aged from 20 to 90 years (average age – 63.1 years) without hemodynamically significant stenosis and 11 patients aged from 64 to 94 years (mean age 80.3 years) with renal artery stenosis of 50% or higher. Perfusion indices were calculated using maximum slope and deconvolution algorithms, kinetic curves were plotted on a time-density graph, and color parametric maps.

**RESULTS:** A quantitative assessment of perfusion parameters in the cortical and medulla of the kidneys, a qualitative analysis of the state of its parenchyma on color parametric maps, and the shapes of kinetic curves on the time-density graph were analyzed. Changes in perfusion parameters were established depending on the age, number and condition of the renal vessels.

**DISCUSSION:** In the renal cortical layer, there was a predominance of indicators of blood flow velocity (BF), blood flow volume (BV), the rate of increase in the density of the contrast agent (CM) in the tissue (MSI), capillary wall permeability (PS) and lower values of the average transit time of the contrast agent (MTT) and the time to reach the maximum contrast agent density in the tissue (TTP) in comparison with the medulla. On the color parametric maps BF, BV, MSI, the cortical layer was characterized by intense red coloring, the medulla — yellow-green, on the TTP map green and blue coloring of the layers was determined, respectively. In elderly patients, there was a decrease in BF, BV with a concomitant lengthening of TTP in the cortical layer without changes in coloring on color parametric maps. On the density-time graph, the kinetic curve of the cortical layer was characterized by the appearance of a peak 10 seconds after the onset of the peak value in the abdominal aorta with further continuation of the curve in the form of a plateau; the kinetic curve of the medulla was characterized by a gradual moderate rise in the curve from 15 seconds after the start of scanning without the formation of peaks values.

CONCLUSION: PCT is an informative method for quantitative and qualitative assessment of perfusion in the renal parenchyma.

KEYWORDS: perfusion computed tomography, kidneys, perfusion parameters in the renal parenchyma are normal

### \* For correspondence: Marina A. Maltseva, e-mail: maltsevamarina.rg@gmail.com.

For citation: Belikova M.Ya., Maltseva M.A. Perfusion computer tomography of the kidneys. Research technique. Perfusion indicators in the norm: case-control // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 82–91, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-82-91.

Введение. Перфузионная компьютерная томография (ПКТ) — это контрастная методика исследования, позволяющая оценить кровоток в корковом и мозговом слоях почечной паренхимы на уровне мироциркуляторного русла, влияние добавочных почечных сосудов и стенозов почечных артерий на гемодинамику в паренхиме почек. В основе анализа и расчетов лежит изменение количества КВ в единицу времени в исследуемой зоне. С помощью специального пакета на рабочей станции методами максимального наклона кривой и деконволюции рассчитываются числовые значения показателей тканевой перфузии, строятся кинетические кривые на графике «время-плотность» и цветовые параметрические карты. В настоящее время существуют отдельные работы в отечественной и зарубежной литературе, посвященные оценке перфузии почек в диагностике онкологических заболеваний [1-5],

мочекаменной болезни [6, 7], отторжении аллотрансплантата [8], методика ПКТ у разных авторов имеет различия. Отдельных статей, посвященных перфузионным параметрам почек в норме, в доступной литературе нам не встретилось.

**Цель.** Оптимизировать методику ПКТ почек. Определить показатели перфузии в паренхиме почек в норме. Оценить взаимосвязь показателей перфузии с количеством почечных сосудов, наличием стенозов почечных артерий.

Материалы и методы. Одобрение этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. ПКТ была выполнена 46 пациентам с отсутствием анамнестических и клини-ко-лабораторных данных о заболеваниях почек, про-ходивших обследование по поводу других патологических состояний, среди которых 35 пациентов в возрасте от 20 до 90 лет (средний возраст — 63,1 год) без

гемодинамически значимых стенозов и 11 пациентов в возрасте от 64 до 94 лет (средний возраст 80,3 года) со стенозами почечных артерий от 50% и выше. Исследования проведены на компьютерном томографе GE 64 Optima 660. Протокол включал нативное исследование, КТ-перфузию с болюсным внутривенным введением 50 мл йодсодержащего КВ и динамическим сканированием на уровне почек в течение 60 с. Постпроцессинговая обработка данных проведена на рабочей станции Adwantage Workstation VS5 с использованием программного пакета CT Perfusion 4D Multi-Organ. Показатели перфузии рассчитывались с использованием алгоритмов максимального наклона и деконволюции, строились кинетические кривые на графике «время-плотность», цветовые параметрические карты.

Методика сканирования и постпроцессинговая обработка данных. Первым этапом выполнялось нативное сканирование, затем ПКТ почек и трехфазное постконтрастное сканирование органов брюшной полости, забрюшинного пространства и малого таза по стандартной программе. При проведении исследования пациент находился на столе в положении «лежа на спине» с поднятыми и заведенными за голову руками. Нативное сканирование выполнялось на неглубоком вдохе от мечевидного отростка до седалищных бугров. По полученным дились серии динамических сканирований в течение 60 с. Параметры сканирования: толщина среза — 5 мм; интервал реконструкции — 5 мм; тип сканирования axial-S Full; скорость вращения трубки — 1,0 с; напряжение на трубке — 80 кВ, сила тока 220 мА; ширина зоны сканирования — 80 мм; матрица — 512×512, общее время сканирования — 60 с. На последнем этапе дополнительно вводилось 50 мл КВ и выполнялось стандартное трехфазное сканирование брюшной полости, забрюшинного пространства и малого таза.

Полученные изображения обрабатывались на рабочей станции Adwantage Workstation VS5. Для параметрического анализа использовался программный пакет CT Perfusion 4D MultiOrgan.

По начальным изображениям в серии, не содержащим КВ, определялся базовый уровень плотности. Для расчета показателей перфузии в почках в качестве афферентного сосуда выбиралась брюшная аорта, на которую вручную выставлялся ROI (рис. 1, a) с автоматическим построением кинетических кривых на графике «плотность-время» (рис. 1,  $\delta$ ). На основании базовой плотности и полученных значений плотности КВ в аорте программным обеспечением рассчитывались основные показатели перфузии в зоне интереса с построением цветовых параметрических карт (рис. 2) и кинетических кривых «плотность-время».



Рис. 1. а — Тестовый нативный скан для определения базовой плотности в аорте; б — график с кинетической кривой «плотность-время», отражающей изменения плотности КВ во времени в аорте
 Fig. 1. a — Test native scan to determine the base density in the aorta; б — a graph with kinetic curve «density — time», reflecting changes in the density of the contrast agent over time in the aorta

изображениям выбиралась зона динамического сканирования для ПКТ. Ширина рамки сканирования составила 80 мм. Рамка позиционировалась таким образом, чтобы центр располагался на уровне ворот почек. Для уменьшения артефактов динамической нерезкости непосредственно перед ПКТ проводился инструктаж пациента о необходимости равномерного поверхностного дыхания, выполнялась фиксация передней брюшной стенки поясом шириной 40 см для ограничения дыхательных экскурсий.

После внутривенного болюсного введения 50 мл йодсодержащего КВ с концентрацией 350 мг/мл и скоростью 4,5 мл/с в обозначенной зоне интереса провоАнализировались следующие параметры перфузии: скорость кровотока (BF — blood flow, мл/100 г в минуту), объем кровотока (BV — blood volume, мл/100 г), среднее время прохождения KB (MTT mean transit time, с), время достижения максимальной плотности в ткани (TTP — time to peak, с), скорость возрастания плотности KB в ткани (MSI mean slope of increase, HU/c), показатель проницаемости стенки капилляров (PS — permeability surface-area product, мл/100 г в минуту). Для корректного сравнения показателей перфузии у разных пациентов измерения проводились на уровне почечных ворот в заднем сегменте. Рассчитанные показатели перфузии выводились в виде таблицы числовых значений (рис. 2).



Рис. 2. Сводная таблица числовых значений показателей перфузии в точке интереса

Fig. 2. Summary table of numerical values of the perfusion index at the point of interest

Результаты. Значения показателей перфузии почек в норме. Все исследуемые пациенты были разделены на возрастные группы, согласно классификации ВОЗ от 2016 г.: молодой возраст — 18–44 лет, средний возраст — 45–59 лет, пожилой возраст — 60–74 года, старческий возраст — 75–90 лет. Пациентов из группы долгожителей без стенозов почечных артерий в подборке не оказалось. Пациенты с гемодинамически значимыми стенозами почечных артерий были преимущественно старческого возраста.

На основании статистического анализа были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения параметров перфузии для кортикального и мозгового слоев почек во всей выборке пациентов (табл. 1) и для каждой возрастной группы в отдельности (табл. 2).

Из табл. 1 и 2 следует, что в норме почки характеризуются преобладанием в два и более раз показателей BF, BV и MSI, высоким значением показателя PS в кортикальном слое, в сравнении с мозговым, что свидетельствует об интенсивном кровотоке. При этом в мозговом слое были несколько более высокие значения MTT и в два раза длиннее показатели ТТР в сравнении с аналогичными показателями в кортикальном слое. Кроме того, отмечались различия показателей перфузии BF, BV и TTP в кортикальном слое почек, статистически значимые (p=0,000) при сравнении групп молодого и старческого возраста, в виде снижения значений скорости и объема кровотока и нарастания времени достижения максимальной плотности в ткани в соответствии с увеличением возраста.

Также были проанализированы показатели перфузии у пациентов с наличием добавочных почечных сосудов (табл. 3), проведено их сравнение с контралатеральной стороной, где отсутствовали данные изменения. Одностороннее наличие добавочных почечных артерий имело место у 10 пациентов, вен — у 6, в том числе и с ретроаортальным расположением вен.

При сравнении показателей перфузии почек, кровоснабжающихся несколькими почечными артериями с контралатеральными почками, имеющими одну питающую артерию, было выявлено статистически значимое различие показателей МТТ в кортикальном и BV в мозговом слоях почек с добавочными артериями (p=0,004 и p=0,028 соответственно) в виде их более низких значений.

При аналогичном сравнении значений показателей перфузии почек с несколькими венами с контралатеральными почками, имеющими по одной почечной вене, было выявлено статистически значимое различие показателей МТТ и PS в кортикальном слое почек с добавочными почечными венами (p=0,026 и p=0,009 соответственно), в виде более высоких значений МТТ и более низких значений PS. Остальные показатели перфузии статистически значимых различий не имели.

Дополнительно был проведен анализ показателей перфузии 11 пациентов, имеющих стенозы почечных артерий от 50% и выше (табл. 4), и их сравнение с группой пациентов, не имеющих сужения артерий почек.

У пациентов со стенозами почечных артерий наблюдались статистически значимые различия в виде более низких значений ВF и BV в кортикальном слое (p=0,009 и p=0,000 соответственно). Остальные показатели перфузии статистически значимых различий не имели.

При визуальной оценке цветовых параметрических карт BF (рис. 3, a) и BV, MSI (рис. 3, b) кортикальный слой характеризовался интенсивным красным окрашиванием, мозговой — желто-зеленым, на карте TTP (рис. 3,  $\delta$ ) определялось зеленое и синее окрашивание слоев соответственно.

У пациентов пожилого и старческого возраста значения показателей перфузии кортикального слоя BF, BV оказались ниже, а TTP выше, в сравнении с пациентами других возрастных групп, однако это не отразилось на окрашивании цветовых параметрических карт, поскольку показатели не выходили за пределы соответствующих цветовых диапазонов. Остальные показатели соответствовали нормальным значениям.

На цветовых параметрических картах изменения в окрашивании почек с дополнительными сосудами не отмечалось, поскольку числовые показатели не выходили из диапазона соответствующего окрашивания.

При наличии стеноза почечных артерий более чувствительной к данным изменениям оказалась цветовая

					Пока	затели пе	эрфузии в кор	тикальном и	MO3FOBOM	слоях по	чек в норм	е			L L	Габлица 1
					Perfusion	ı paramet	ers in the cor	tical and medu	ılla layers	of the kid	neys are no	ormal				Table 1
Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квар Нижний	тиль Верхний	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Квар <sup>т</sup> Нижний	гиль Верхний	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
				Корти	кальный (	слой						Moa	говой сло	й		
BF	222,63	203,75	118,60	380, 80	167,00	277,52	0,45	-0,84	78,50	75,42	30,80	143,10	61,74	93,49	0,40	-0,21
BV	26,85	27, 24	12,36	43,91	21,52	32,04	-0,10	-0,34	12,28	11,92	2,92	28,31	8,78	14,49	0,77	0,87
MTT	8,96	8,78	3,83	17,90	6,95	10,56	0,81	1,20	11,35	11,43	2,00	19,15	7,44	14,78	-0,30	-0,85
TTP	19,80	19,72	12,21	30,71	17,23	22,11	0,30	-0,02	45,62	48,87	21,20	62, 43	34,19	57,64	-0,42	-1,21
ISM	7,93	7,39	2,17	15,59	6,00	9,50	0,64	0,32	2,17	2,01	0,89	4,80	1,65	2,47	1,43	2,18
PS	72,77	78,96	13,76	130,90	53,38	93,62	-0,33	-0,69	47,48	46,96	22,75	115,30	33,88	55,21	1,29	3,62
															Ľ	Габлица 2
			Показал	гели перфу	узии в ко	ртикальн	юм и мозгово	и слоях почки	и в норме	у пациент	гов различ	ных возра	стных гр	упп		l r l
			Perfusi	ion parame	eters in th	1e cortica	l and medulla	layers of the k	cidney are	normal ir	ı patients c	of different	age grou	sd		Table 2
Показатель	Среднее	Мелиана	Миним	Максимим	KBap	тиль	Коэффициент	Коэффициент	Среднее	Мелиана	Миними	Максимим	Квар	ТИЛЬ	Коэффициент	Коэффициент
TIAL INCOMENT	значение	number.	m funning	m furnowner. r	Нижний	Верхний	асимметрии	эксцесса	значение	nunut/at.t		m funnanna - a	Нижний	Верхний	асимметрии	эксцесса
1	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11	12	13	14	15	16	17
								18-44 лет (п=	=0)							
				Кортин	хальный с	слой						Mo31	овой сло	ň		
BF	306,87	297,05	241,80	380, 80	270,75	354,02	0,42	-1,07	84,19	78,84	64, 83	113, 32	66,66	108, 21	0,53	-1,56
BV	32,25	32,47	26,20	40,47	28,39	35,50	0,40	-0,79	12,98	11,25	6,64	21,93	9,92	17,65	0,91	-0,35
MTT	7,70	7,58	4,58	11,01	6,07	9,35	0,17	-0,77	11,27	11,85	5,42	18,58	7,74	14, 13	0,16	-0,66
TTP	16,87	14,77	12,21	27,84	14,23	20,39	1,43	1,20	44,89	43,02	26,33	60,50	34,78	58,20	0, 11	-1,48
ISM	9,25	9,45	3,97	12,24	7,68	12,0	-0,86	-0,09	2,16	1,72	0, 89	4,66	1,26	2,70	1,15	0,45
PS	84,92	87,63	42,64	116,0	60,91	108,4	-0.51	-0,87	42,20	45,68	25,20	57,06	30,98	51,04	-0,29	-1,59
								45 <b>—</b> 59 лет (n=	=5)							
		-	-	Кортин	кальный с	слой					-	Moai	овой сло	ň.	-	
BF	253,06	241,70	156, 10	338,0	199,75	321,95	0,00	-1,83	94, 32	96,61	53,63	139,40	67, 62	112,85	0,04	-0,73
BV	31,41	31, 22	25,14	43,91	26,45	33,627	1, 19	1,51	14,71	13, 23	8,56	28, 31	10, 12	16,61	1,47	1,43
MTT	8,53	8,96	5,01	12,47	6,39	10, 19	0,075	-0.53	9,79	9,68	2,00	17, 32	5,59	14,80	-0,16	-1,19
TTP	17,93	18, 39	13,63	22,82	14,77	20,17	0,01	-0,79	46,43	53,14	26,05	60,60	33,72	56,07	-0.51	-1,58
ISM	9,19	7,23	5,87	15,59	6,01	13,04	0,834	-1,05	2,25	2,27	1,42	3,17	1,91	2,57	0,21	0, 22

DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

No. 3 (15) 2024

ы 2	4			2	2	7	1	0	9			8	1	0	6	7	6	ta 3		le 3	иент са		0	5	0	4	2	
таблиц 17	-0,7	_		0,3	-0,1	-0,5	-1,4	2,7	-0,0			-0,0	0,2	-1,0	0,2	2,8	3,3	Таблиг		Tab	Коэффии эксцес		0,1	2,7	-0,7	-1,3	-0,4	
кончание 16	0,20			0,70	-0,20	-0,35	-0,25	1,33	0,11			-0,07	0,72	-0,29	-1,18	1,88	1,83				Коэффициент асимметрии		0,88	1,29	-0,05	0, 34	0,69	
15	50,30	-	й	91,52	15,03	15,36	58,72	2,47	60,27		ň	82,24	14,63	15,74	56,70	2,42	62,42				тиль Верхний	ň	102,62	13,42	14,08	49,33	2,79	
14	26,30	-	овой сло	53,95	10,88	9,98	28,49	1,64	33,56		овой сло	50,79	7,44	7,47	46,40	1,69	42,88	ерии			Квар Нижний	овой сло	58,8	7,33	7,87	26, 36	1,62	
13	66,51	_	Мозг	143,10	19,72	19,15	62, 43	4,79	76,43		Мозг	111,90	24,82	17,74	58,50	4,80	115,30	льные арт		arteries	Максимум	Moar	139,40	23,80	17,29	55,56	3.40	
12	22,75	-		38,98	4,49	3,78	21,20	1,00	22,99			30,80	2,92	2,38	28, 12	1,28	28,72	лополните		g accessory	Минимум		52,08	4,49	5,86	24,36	1.00	2 2 4 -
11	45,28			71,21	12,28	11,95	44,59	2,03	47, 12			70,01	10,01	10,81	50,91	2,00	49,53	меющих		ontaining	Медиана		76,70	11,01	11,21	38,06	1.82	
10	41,30	15)	ĺ2	75,40	12, 42	12,09	43,85	2,15	47,48	=9)		67,39	11,35	11,30	49,03	2,26	55,74	х почек. и		î kidneys c	Среднее значение		82,53	11,20	11,29	37,55	2.07	
6	-1,68	0-74 .ner (n=		-0,09	-0,86	0,63	3,59	-0,90	-0,16	75-90 лет (n=		-0,06	0,21	-0,40	-0,33	-0,21	0,16	O3FOBOM C.109		ind medulla o	Коэффициент эксцесса		-0,88	-1,20	0,64	1,56	-0.32	
~	0,01	. y	>	0,91	-0,59	0,80	1,21	-0,06	0,16			1,05	-0,45	0,33	-0,41	0,59	-0,63	икальном и м		in the cortex a	Коэффициент асимметрии		0,55	-0,00	1,00	-0,80	0.20	
2	84,30	-	лой	248,52	31,97	12,10	20,99	8,78	87,51		лой	217,75	25,88	10,21	24,44	9,93	105,00	и в корт		ameters i	иль Верхний	лой	301,90	27,17	7,70	21,64	7.52	
9	19,59	-	альный с	144,55	20,80	8,12	18, 14	6,01	43,80		альный с.	167,20	19,85	6,74	19, 29	6,23	80,87	перфизи	of the days of the	usion par	Кварт Нижний ]]	альный с.	186,20	15,93	5,55	17,93	5.03	
5	107,20	-	Кортик	334,00	36, 35	17,90	30,71	10,06	130,90		Кортик	291,20	32,41	13, 15	26,45	13,80	128,50	оказатели		Perfi	Максимум	Кортик	380, 80	32,40	10, 19	23,51	9.34	
4	13,76	-		118,60	14,54	5,03	13,69	4,34	19,96			141,50	12,36	5,26	15,18	4,09	41,96		•		Минимум		162,20	12,36	4,58	12,75	4.09	
ç	65,45	-		175,55	28,71	9,83	19,58	7,25	68,47			181,95	23, 25	8,42	22, 42	7,46	92,81				Медиана		237,10	22,78	6,53	18,95	6.29	2
2	55,84	-		192,02	26,97	10,20	19,81	7,25	65,98			198,18	22,44	8,50	21,89	8,17	90,05				Среднее значение		247,79	22, 12	6,83	19,17	6.42	
1	PS	-		BF	BV	MTT	TTP	ISM	PS			BF	BV	MTT	TTP	MSI	ps				Показатель		BF	sxcBV	MTT	TTP	ISM	

## <u>№</u> 3 (15) 2024

## Лучевая диагностика и терапия

аблица 4	Table 4	оэффициент эксцесса		-0,21	0,87	-0,85	-1,21	2,18	3,62	аблица 5	Table 5		оэффициент эксцесса		-1,24	-0,66	-0,82	-0,70	2,37	1,41	
F		(оэффициент Касиметрии)	-	0,40	0,77	-0,30	-0,42	1,43	1,29	Ţ			(оэффициент Касимиетрии)	-	0,28	0,59	0,32	-0,89	1,41	1,14	
		иль <u></u> Зерхний		93,49	14,49	14,78	57,64	2,47	55,21	артерий	•	al arteries	иль <u></u> Зерхний		87,67	13,83	13,77	57,87	2,49	58,02	
НЫ		Кварт Нижний	овой слой	61,74	8,78	7,44	34,19	1,65	33,88	унечных	17 3	n une ren	Кварт Нижний  1	овой слой	51,96	7,03	5,87	34,20	1,25	33,38	
ельные ве	y veins	Максимум	Moar	143,10	28,31	19,15	62, 43	4,80	115,30	енозами по	•	t stenosis o	Максимум	Moar	102, 30	19,20	19,68	62, 30	4,90	100,30	
тинпопод х	g accessor	Минимум		30,80	2,92	2,00	21,20	0,89	22,75	нимыми ст		significan	Минимум		40,88	4,40	2,10	21,43	1,02	20,38	
имеющи	containin	Медиана		75,42	11,92	11,43	48,87	2,01	46,95	ески знач	-	namically	Медиана		69,44	9,64	9,45	52,92	1,79	42,77	
ях почек,	of kidneys	Среднее значение	-	75,65	9,21	9,51	53,05	2,06	57,32	одинамич	-	n nemoay	Среднее значение		69,66	10,60	9,87	47,84	2,04	46,85	
MO3FOBOM CJIC	and medulla e	Коэффициент эксцесса		-0,84	-0,34	1,20	-0,02	0,32	-0,70	ах почек с гем	r. 	or kigneys wil	Коэффициент эксцесса		-0,24	-1,27	0,41	-1,05	-0,74	-0,20	
отикальном и	in the cortex	Коэффициент асимметрии		0,47	-0,10	0,81	0,30	0,64	-0,33	40310B0M CJ05	1	duilary layers	Коэффициент асимметрии		0,65	-0.05	0,44	0,24	-0,12	0,26	
зии в кор	arameters	гиль Верхний	лой	277,52	32,04	10,56	22,11	9,50	93,62	льном и л	-	u and me	гиль Верхний	лой	203,52	25,58	10,81	25,42	8,83	83,66	
ли перфу	rfusion pa	Кварл Нижний	альный с	167,00	21,52	6,95	17,23	6,00	53,38	кортика		ne coruca	Кварл Нижний	альный с	133,70	15,90	6,21	17,74	5,00	34,89	
Показате	Pel	Максимум	Кортик	380,80	43,91	17,90	30,71	15,59	130,90	ерфузии в	•	neters in t	Максимум	Кортик	270,30	28,75	17,11	30,46	11,38	137,20	
		Минимум		118,60	12,36	3,83	12,21	2,17	13,76	азатели п	•	sion parai	Минимум		104, 10	13,68	2,65	14,94	3,84	13,18	
		Медиана	-	203,75	27, 24	8,78	19,72	7,39	78,95	Пок	u C	reru	Медиана		174,90	21,55	9,04	21,55	8,05	69,90	
		Среднее значение		175,28	31,44	12,13	23,04	9,13	68,00				Среднее значение		176,47	21,24	8,92	21,67	7,48	66,94	
		Показатель		BF	287BV	MTT	TTP	MSI	PS				Показатель		BF	BV	MTT	TTP	MSI	PS	

### DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

No. 3 (15) 2024

параметрическая карта MSI, на которой отмечалось появление участков желтого цвета на фоне красного окрашивания кортикального слоя, а также синее окрашивание мозгового слоя (рис. 4, *a*).



Рис. 3. Перфузионная компьютерная томография почек в норме. Цветовые параметрические карты: a - BF;  $\delta - TTP$ ;  $\beta - MSI$  Fig. 3. Normal perfusion computed tomography of the kid-

**Fig. 3.** Normal pertusion computed tomography of the kidneys. Color parametric maps: a - BF;  $\delta - TTP$ ; s - MSI

Кинетические кривые на графике «время-плотность» в кортикальном и мозговом слоях почек в норме имели различную форму. Корковый слой характеризовался появлением пика через 10 секунд после наступления пикового значения в брюшной аорте и дальнейшим продолжением кривой в виде плато, в мозговом слое с 15-й секунды после начала сканирования отмечался постепенный умеренный подъем кривой, без формирования пиковых значений (рис. 5).

Обсуждение. В норме почки характеризовались преобладанием показателей BF, BV, MSI, PS в кортикальном слое, MTT и TTP в мозговом слое. В соответствии с увеличением возраста отмечались различия показателей перфузии в кортикальном слое в виде постепенного снижения BF, BV и нарастания TTP, что свидетельствует о снижении интенсивности кровотока. На цветовых параметрических картах BF, BV, MSI кортикальный слой имел интенсивное красное окрашивание, мозговой — желто-зеленое, на карте TTP определялось зеленое и синее окрашивание слоев соответственно. В почках, имеющих добавочные



**Рис. 4.** Цветовая параметрическая карта MSI: a — стеноз левой почечной артерии на 75%, правой почечной артерии на 50%. Включения желтого цвета на фоне красного окрашивания кортикального слоя левой почки, синее окрашивание мозгового слоя обеих почек;  $\delta$  — перфузионная компьютерная томография почек в норме **Fig. 4.** Color parametric map MSI: a — stenosis of the left renal artery by 75%, of the right renal artery by 50%. Inclusions of yellow color against the background of red staining of the medulla of both kidneys;  $\delta$  — perfusion com-

puted tomography of the kidneys is normal



Рис. 5. График «время-плотность» отражающий изменение плотности КВ во времени в зоне интереса (кривая 2 соответствует установленной метке ROI на кортикальный слой почки, кривая 3 — на мозговой слой

почки) относительно кровотока в аорте (кривая 1) Fig. 5. Graph «density — time», reflecting the change in the density of the contrast agent over time in the area of interest (curve 2 corresponds to the established ROI mark on the cortical layer of the kidney, curve 3 — on the medulla of the kidney) relative to the blood flow in the aorta (curve 1)

#### DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

почечные артерии и вены, удалось зафиксировать статистически значимые изменения показателей перфузии, в сравнении с контралатеральными почками, не имеющими дополнительных сосудов, что может говорить о влиянии вариантов кровоснабжения на микроциркуляторное русло. При наличии нескольких почечных артерий отмечались более низкие значения МТТ в кортикальном слое и BV в мозговом слое. В случаях наличия добавочных почечных вен в кортикальном слое отмечалось преобладание показателей МТТ и более низкие значения PS. При этом изменений окрашивания на цветовых параметрических картах не выявлено, что объясняется сохранением показателей в пределах соответствующих цветовых диапазонов. При стенозах почечных артерий статистически значимые изменения показателей BF и BV в кортикальном

слое отражались на цветовых параметрических картах BF, MSI в виде появления участков желтого окрашивания в кортикальном слое, синего — в мозговом, что наглядно демонстрировало влияние стеноза на кровоток почки.

Заключение. Перфузионная компьютерная томография — это перспективно развивающаяся методика исследования, позволяющая без инвазивных вмешательств оценить функциональное состояние паренхимы почек, влияние на кровоток добавочных сосудов и гемодинамически значимых стенозов почечных артерий. В клинической практике знание нормальных перфузионных параметров почек при ПКТ может стать важной составляющей для дифференциальной диагностики воспалительных, ишемических, онкологических заболеваний почек.

#### Сведения об авторах:

Беликова Мария Яковлевна — доктор медицинских наук, врач-рентгенолог, заведующая отделением компьютерной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Госпиталь для ветеранов войн»; 193079, Санкт-Петербург, Народная ул. 21, к. 2; профессор отдела учебнометодической работы федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт мозга человека имени Н. П. Бехтеревой» Российской академии наук; 197376, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 9; e-mail: belikova.mariya@mail.ru; ORCID 0000–0002–6768–7711; SPIN-код 1707–489;

Мальцева Марина Анатольевна — врач-рентгенолог отделения компьютерной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Госпиталь для ветеранов войн»; 193079, Санкт-Петербург, Народная ул. 21, к. 2; e-mail: maltsevamarina.rg@gmail.com; ORCID 0000–0001– 5471–1607.

#### Information about authors:

- Mariya Ya. Belikova Dr. of Sci. (Med.), radiologist, head of the department of computed tomography of the St. Petersburg State Budgetary Health Institution «Hospital for War Veterans»; 193079, St. Petersburg, Narodnaya st. 21, k. 2; Professor of the Department of Educational and Methodological Work of the Federal State Budgetary Institution of Science «N. P. Bekhtereva Institute of the Human Brain» of the Russian Academy of Sciences; 197376, St. Petersburg, Akademika Pavlova str., 9; e-mail: belikova.mariya@mail.ru; ORCID 0000–0002–6768–7711; SPIN code 1707–489;
- Marina A. Maltseva Radiologist at the Computed Tomography Department of the St. Petersburg State Budgetary Institution of Healthcare «Hospital for War Veterans»; 193079, St. Petersburg, Narodnaya st. 21, k. 2; e-mail: maltsevamarina.rg@gmail.com; ORCID 0000–0001–5471–1607.
- 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. Я. Беликова, М. А. Мальцева; сбор и математический анализ данных — М. А. Мальцева; подготовка рукописи — М. А. Мальцева, М. Я. Беликова.
- Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *MYaB*, *MAM* aided in the concept and plan of the study; *MAM* provided collection and mathematical analysis of data; *MAM*, *MYaB* preparation of the manuscript.

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. Информированное согласие получено от каждого пациента. **Adherence to ethical standards.** The approval of the ethics committee was not required. Informed consent is obtained from each of the patient.

> Поступила/Received: 27.05.2023 Принята к печати/Accepted: 29.05.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- 1. Рубцова Н.А., Гольбиц А.Б., Крянева Е.В., Кабанов Д.О., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. Роль КТ-перфузии в диагностике солидных опухолей почек // Лучевая. *диагностика и терапия.* 2021. Т. 12, № 2. С. 70–78. [Rubtsova N.A., Golbite A.B., Kryaneva E.V., Kabanov D.O., Alekseev B.Y., Kaprin A.D. The role of ct-perfusion for diagnostic of solid renal tumors. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2021, Vol. 12, No. 2, pp. 70–78 (In Russ.)]. http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-70-78.
- Deniffel D., Boutelier T., Labani A., Ohana M., Pfeiffer D., Roy C. Computed Tomography Perfusion Measurements in Renal Lesions Obtained by Bayesian Estimation, Advanced Singular-Value Decomposition Deconvolution, Maximum Slope, and Patlak Models: Intermodel Agreement and Diagnostic Accuracy of Tumor Classification // Investigative Radiology. 2018. Vol. 53, No. 8. P. 477–485. doi: 10.1097/RLI.000000000000477.

- 3. García-Figueiras R., Goh V.J., Padhani A.R., Baleato-González S., Garrido M., León L., Gómez-Caamaño A. CT perfusion in oncologic imaging: a useful tool? // AJR Am. J. Roentgenol. 2013. Vol. 200, No. 1. P. 8–9. doi: 10.2214/AJR.11.8476.
- Chen Y., Zhang J., Dai J., Feng X., Lu H., Zhou C. Angiogenesis of renal cell carcinoma: perfusion CT findings // Abdom. Imaging. 2010. Vol. 35. P. 622–628. https://doi.org/10.1007/s00261-009-9565-0.
- Fan A.C., Sundaram V., Kino A., Schmiedeskamp H., Metzner T.J., Kamaya A. Early Changes in CT Perfusion Parameters: Primary Renal Carcinoma Versus Metastases After Treatment with Targeted Therapy // Cancers (Basel). 2019. Vol. 11, No. 5. P. 608. doi: 10.3390/cancers11050608.
- 6. Александрова К.А., Серова Н.С., Руденко В.И., Капанадзе Л.Б., Песегов С.В., Фиев Д.Н., Мискарян Т.И. Возможности КТ-перфузии в оценке почечного кровотока у пациентов с мочекаменной болезнью // *REJR*. 2019. Т. 9, № 1. С. 108–117. [Alexandrova K.A., Serova N.S., Rudenko V.I., Kapanadze L.B., Pesegov S.V., Fiev D.N., Miskaryan T.I. Opportunities of CT-perfusion in the evaluation of renal blood flow in patients with urolithiasis. *REJR*, 2019, Vol. 9, No. 1, pp. 108–117. (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2019-9-1-108-117.
- Cai X.R., Zhou Q.C., Yu J., Feng Y.Z., Xian Z.H., Yang W.C., Mo X.K. Assessment of renal function in patients with unilateral ureteral obstruction using whole-organ perfusion imaging with 320-detector row computed tomography // PLoS One. 2015. Vol. 10, No. 4. P. 9–15. doi: 10.1371/journal.pone.0122454.
- Helck A., Wessely M., Notohamiprodjo M., Schönermarck U., Klotz E., Fischereder M., Schön F., Nikolaou K., Clevert D.A., Reiser M., Becker C. CT perfusion technique for assessment of early kidney allograft dysfunction: preliminary results // Eur. Radiol. 2013. Vol. 23, No. 9. P. 2475–2481. doi: 10.1007/s00330-013-2862-6.

### Уважаемые коллеги!

#### Библютека журнала «Лучевая диагностика и тералия»

СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ АНАЛИЗА ЛУЧЕВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Под редакцией чаетка-хорресполдента РАИТ. И. Трофимновой Руководство для врачей



Библиотека журнала «Лучевая диагностика и терапия» пополнилась руководством для врачей, которое 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, 2023). При его подготовке были использованы материалы, обсуждавшиеся на одно-

именной Международной ежегодной телеконференции 15 декабря 2023 г. (Санкт-Петербург). Руководство для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения. Том VIII» 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.

УДК 616.831-001.46-073 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-92-105

## ВЫПОЛНЕНИЕ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПАЦИЕНТАМ С ОГНЕСТРЕЛЬНЫМИ РАНЕНИЯМИ: ПАМЯТКА ВРАЧАМ-РЕНТГЕНОЛОГАМ

<sup>1</sup>Ю. А. Васильев**Ф**, <sup>1</sup>Д. С. Семенов**Ф**<sup>\*</sup>, <sup>1</sup>А. В. Петряйкин**Ф**, <sup>2</sup>Ю. Н. Васильева**Ф**, <sup>1,3,4</sup>В. А. Ульянова**Ф**, <sup>5</sup>Ш. Р. Абдель-Керим**Ф**, <sup>5</sup>Н. Б. Петрова**Ф**, <sup>1</sup>А. К. Сморчкова**Ф**, <sup>1</sup>Д. Е. Шарова**Ф** 

<sup>1</sup>Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский университет медицины, Москва, Россия

<sup>3</sup>Главный клинический госпиталь, Москва, Россия

<sup>4</sup>Городская клиническая онкологическая больница № 1, Москва, Россия

<sup>5</sup>Городская клиническая больница имени В. П. Демихова, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Безопасность проведения магнитно-резонансной томографии (MPT) у пациентов с металлическими инородными телами — важный аспект, которому уделено множество научных работ и рекомендаций. Вопрос о проведении MPT у пациентов с имплантированными медицинскими устройствами достаточно глубоко исследован. Тем не менее в отношении огнестрельных ранений отсутствуют четкие инструкции для практикующих специалистов, а большинство рекомендаций сводится к отказу от выполнения исследования при малейшем сомнении в его безопасности.

**ЦЕЛЬ:** Систематизировать информацию о безопасности и качестве проведения МРТ у пациентов с огнестрельными ранениями, а также разработать практические рекомендации для врачей-рентгенологов.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Выполнен анализ и обобщение основных отечественных и зарубежных рекомендаций по обеспечению безопасности при проведении МРТ, общепринятых классификаций и механизмов огнестрельных ранений.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Представлен обзор физических факторов риска при проведении МРТ, причины их возникновения, рекомендации по минимизации. Рассмотрено влияние металлических объектов на появление артефактов на МРТ-изображениях. Разработан алгоритм принятия решения о безопасности выполнения МРТ пациенту с ранением пулей или дробью. В качестве наглядной иллюстрации применения данного алгоритма представлены два клинических наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Проведение МРТ при огнестрельных ранениях возможно, но требует тщательного анализа рисков и важности диагностической информации. Опрос пациента в данных ситуациях часто неинформативен, поэтому для выявления металлических инородных тел методами выбора являются рентгенография или компьютерная томография. Для минимизации рисков при проведении МРТ необходимо заранее подготовить протокол сканирования и контролировать состояние пациента после каждой импульсной последовательности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитно-резонансная томография, безопасность, огнестрельные ранения

\* Для корреспонденции: Семенов Дмитрий Сергеевич, e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

Для цитирования: Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Петряйкин А.В., Васильева Ю.Н., Ульянова В.А., Абдель-Керим Ш.Р., Петрова Н.Б., Сморчкова А.К., Шарова Д.Е. Выполнение магнитно-резонансной томографии пациентам с огнестрельными ранениями: памятка врачам-рентгенологам // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 92–105, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-92-105.

## PERFORMING MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN PATIENTS WITH GUNSHOT WOUNDS: A GUIDE FOR RADIOLOGISTS

<sup>1</sup>Yuri A. Vasilev<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Dmitriy S. Semenov<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Alexey V. Peraikin<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Yulia Y. Vasileva<sup>®</sup>, <sup>1,3,4</sup>Violetta A. Ulyanova<sup>®</sup>, <sup>5</sup>Shuan Rashad Abdel-Kerim<sup>®</sup>, <sup>5</sup>Natalia B. Petrova<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Anastasia K. Smorchkova<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Daria E. Sharova<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Russian University of Medicine, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Main Clinical Hospital, Moscow, Russia

<sup>4</sup>City Clinical Oncology Hospital No. 1, Moscow, Russia

<sup>5</sup>V. P. Demikhov City Clinical Hospital, Moscow, Russia

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

**INTRODUCTION:** The safety of magnetic resonance imaging (MRI) in patients with metallic foreign bodies is an important aspect that has been the subject of many scientific papers and guidelines. The issue of MRI in patients with implanted medical devices is well researched. However, for gunshot wounds, there are no clear guidelines for practitioners, and most recommendations are to refuse to perform the study if there is the slightest doubt about its safety.

**OBJECTIVE:** To systematize information on the safety and quality of MRI in patients with gunshot wounds and to develop practical guidelines for radiologists.

**MATERIALS AND METHODS:** We have analyzed and summarized the main domestic and foreign recommendations for ensuring safety during MRI, generally accepted classifications and mechanisms of gunshot wounds.

**RESULTS:** A review of physical risk factors in MRI, their causes, and recommendations for their minimization is presented. The influence of metallic objects on the appearance of artefacts on MRI images is considered. The algorithm of decision making on the safety of MRI in a patient with a bullet or shotgun wound is given. Two clinical observations are presented to illustrate the application of this algorithm.

**CONCLUSION:** Performing MRI in gunshot wounds is feasible but requires careful analysis of the risks and the importance of diagnostic information. Interviewing the patient in these situations is often uninformative, so radiography or CT are the methods of choice for detection of metallic foreign bodies. To minimize the risks of MRI, a scan protocol should be prepared in advance and the patient should be monitored after each pulse sequence.

KEYWORDS: magnetic resonance imaging, safety, gunshot wounds

\* For correspondence: Semenov Dmitry Sergeevich, e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

For citation: Vasilev Yu.A., Semenov D.S., Petraikin A.V., Vasileva Yu.N., Ulyanova V.A., Abdel-Kerim Sh.R., Petrova N.B., Smorchkova A.K., Sharova D.E. Performing magnetic resonance imaging in patients with gunshot wounds: a guide for radiologists // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 92–105, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-92-105.

Введение. Проведение магнитно-резонансной томографии (МРТ) у пациентов, в организме которых находятся инородные металлические или другие объекты, связано с определенными рисками. В частности, это нагрев, смещение или поворот таких объектов под действием электромагнитных полей. Также стоит учесть возникновение артефактов на томографических изображениях, что может затруднить интерпретацию результатов исследования. Безопасность пациентов при проведении МРТ — важный аспект, которому уделено множество научных работ и рекомендаций<sup>1,2,3,4,5</sup>[1]. Вопрос о проведении МРТ у пациентов с имплантированными медицинскими устройствами также достаточно глубоко исследован<sup>6</sup>. Однако в отношении огнестрельных ранений отсутствуют четкие инструкции для практикующих специалистов, а большинство рекомендаций сводится к отказу от выполнения исследования при малейшем сомнении в его безопасности.

**Цель.** Систематизировать информацию о безопасности и качестве проведения МРТ у пациентов с огнестрельными ранениями, а также разработать практические рекомендации для врачей-рентгенологов.

Материалы и методы. Виды огнестрельных ранений. В современных военных конфликтах используются ручное огнестрельное оружие, мины, гранаты, артиллерия, танки, полевые орудия и гаубицы, минометы, системы залпового огня и ракетные комплексы, а также авиация. В целом этот арсенал можно классифицировать на стрелковое, с основным поражающим фактором в виде пули, и взрывное оружие, которое воздействует на цель с помощью ударной волны и осколков [2].

С точки зрения лучевой диагностики критически важно учитывать, что огнестрельное оружие ближнего боя, такое как пистолеты и дробовики, часто использует пули из мягких материалов, например, свинца. Однако для увеличения дальности и поражающей спо-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Петряйкин А.В., Семенов Д.С., Васильев Ю.А., Кивасёв С.А. и др. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации / Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. Вып. 63. М., 2019. 56 с.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Сергунова К.А., Семенов Д.С., Васильев Ю.А., Ахмад Е.С., Петряйкин А.В., Кудрявцев Н.Д. и др. Методические рекомендации по безопасности проведения магнитно-резонансной томографии для рентгенолаборантов / Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. Вып. 43. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. 44 с.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> The Society and College of Radiographers and the British Association of MR Radiographers. Safety in Magnetic Resonance Imaging. The Society and college of Radiographers. London: Quartz House, 2019. 36 p.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Medicines and Healthcare products Regulatory Agency (MHRA). Safety Guidelines for Magnetic Resonance Equipment in Clinical Use. MHRA. 2021. 86 p.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists. MRI Safety Guidelines. 3.0. Sydney, 2021. 36 p.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Бронов О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.

собности, применяются пули с начальной скоростью 700-900 м/с или более, которые обычно состоят из тяжелого ядра (например, свинцового) и прочной стальной оболочки. Бронебойные пули могут включать такие материалы, как высокоуглеродистая сталь или карбид вольфрама. Кроме того, применяются пули сложной конструкции: разрывные (со взрывчаткой) и фрагментирующиеся (разламывающиеся на части при попадании).

Взрывные устройства — мины, гранаты, артиллерийские снаряды, бомбы и т.д. — обычно содержат взрывчатку, помещенную в прочный корпус, детонатор и, зачастую, мелкие поражающие элементы (шарики, шрапнель и т.п.). В результате взрыва такого устройства в тело могут попасть как отдельные части снаряда, так и различные сопутствующие материалы, включая частицы грунта или сооружений.

Разнообразие оружия, используемого в боевых действиях, влечет за собой необходимость классификации ранений. Так, Российская ассоциация нейрохирургов предлагает дифференцировать огнестрельные ранения по типу снаряда (пулевые, осколочные и ранения специальными снарядами), по характеру ранения (одиночные, множественные, сочетанные и комбинированные), а также по характеру раневого канала (касательные, слепые и сквозные)<sup>1</sup>. Если пациента спасти не удается, более точная категория ранения определяется уже с помощью танаторадиологических исследований [3].

В учебнике Военно-медицинской академии представлена классификация, учитывающая этиологию ранения (огнестрельные, пулевые и осколочные, минно-взрывные), природу раневого канала (слепые, сквозные, касательные, рикошетирующие) и отношение к полостям (проникающие и непроникающие)<sup>2</sup>. В недавнем обзоре, посвященном травмам черепа и головного мозга, упоминается дополнительная категория — взрывные травмы, возникающие в результате воздействия метательных снарядов или ударной волны [4].

Магнитно-резонансная томография является методом выбора при оценке состояния мягких тканей, включая головной и спинной мозг, суставов, внутренних органов и других структур. Однако, с учетом существующих рисков, у врача-рентгенолога возникает задача прогнозирования воздействия электромагнитных полей томографа на инородные объекты в теле пациента. Каждый клинический случай уникален и должен быть рассмотрен индивидуально, причем факторы риска следует оценивать независимо друг от друга, а решение принимать на основании комплексного анализа. К сожалению, в таких условиях практически невозможно предложить универсальный подход к прогнозированию, хотя разработка алгоритма диагностики для узкой категории клинических случаев возможна<sup>3</sup>. Для врача критически важно понимать физические основы возникающих эффектов, поэтому ниже будут последовательно рассмотрены все факторы риска и сформулированы рекомендации по их минимизации. Также в данной работе авторы предлагают концепцию MP-совместимости инородных объектов в теле пациента, аналогичную таковой для имплантируемых медицинских изделий.

Факторы риска при проведении МРТ пациентам с огнестрельными ранениями. Втягивание и поворот. Магнитно-резонансный томограф создает магнитное поле высокой индукции, обычно 1,5 или 3 Тл. Это поле постоянно присутствует в кабинете МРТ, даже тогда, когда исследование не проводится.

Когда объекты с ненулевой магнитной восприимчивостью попадают в область действия этого магнитного поля, возникает сила, направленная к изоцентру томографа. Величина этой силы зависит от физических свойств объекта и величины индукции (точнее, градиента индукции) поля в данной точке пространства (рис. 1). Эта сила может начать проявляться уже на входе в процедурную МРТ (воздействие за ее пределами можно считать незначительным) и достигает максимума у торца гентри. В зависимости от свойств попавшего в организм объекта, максимальное значение этой силы может варьироваться от 0,2 мН для стентов [5] до 4,4 Н (что эквивалентно весу около 440 г) для пули или дроби [6].

Кроме того, ферромагнитные объекты имеют тенденцию к ориентации вдоль линий индукции магнитного поля (рис. 2). Это приводит к возникновению крутящего момента, который стремится повернуть объект. Интенсивность этого момента также зависит от свойств объекта и величины индукции, достигая максимума в изоцентре (рис. 3), за исключением случаев, когда объект уже ориентирован вдоль изолинии.

В результате воздействие магнитных полей может привести к смещению или повороту таких металлических объектов, как пули и осколки, и к повреждению окружающих тканей. Это представляет собой серьезный риск для пациента при проведении МРТ.

Считается, что значения силы и крутящего момента, равные тем, которые возникают под действием гравитации, являются безопасными. Это

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Ассоциация нейрохирургов России. Клинические рекомендации по лечению огнестрельных и взрывных ранений черепа и головного мозга. СПб., 2015.

 $<sup>^2</sup>$  Гуманенко Е.К. Боевая хирургическая травма: учебное пособие. СПб.: Военно-медицинская академия, 1997. 33 с.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ульянова В.А., Васильев Ю.А., Васильева Ю.Н., Душкова Д.В., Бажин А.В., Ахмад Е.С., Сергунова К.А., Петряйкин А.В., Семенов Д.С. Патент № RU 2714082. Способ диагностики огнестрельных ранений позвоночника с помощью магнитно-резонансной и рентгеновской компьютерной томографии. 2020. Доступно по: https://i.moscow/patents/ru2714082c1\_20200211. Ссылка активна на 15.03.2024.



Рис. 1. Величина силы втягивания в зависимости от расстояния до изоцентра магнита, представлена цветовым градиентом (красный — наибольшая величина, зеленый — наименьшая величина). Размеры указаны для примера и могут в значительной степени отличаться от аппарата к аппарату

**Fig. 1.** The magnitude of the retraction force depending on the distance to the magnet isocenter, represented by a color gradient (red is the largest value, green is the smallest value). The dimensions are given as an example and may vary significantly from device to device

особенно важно для свежих (до 6 недель) травм, когда процесс заживления тканей еще не завершен.

С учетом особенностей воздействия магнитных полей на ферромагнитные объекты, можно сделать



**Рис. 2.** Примерная диаграмма расположения линий индукции магнитного поля (красные стрелки) в МРТ. Справа от стола пациента схематично расположен возможный поворот вносимого в поле металлического предмета (красный объект), с возникновением крутя-

щего момента (черная пунктирная стрелка) Fig. 2. Approximate diagram of the location of magnetic

field lines (red arrows) in MRI. To the right of the patient's table, a possible rotation of a metal object brought into the field (red object) is schematically located, with the occurrence of a torque (black dotted arrow)

у пациента в стопе находится небольшой инородный объект, то MPT головного мозга, скорее всего, не приведет к негативным последствиям. Также не будет воз-



**Рис. 3.** Диаграмма величины индукции магнитного поля: *а* — вид сбоку; *б* — вид сверху. Величины указаны для примера и могут отличаться от аппарата к аппарату

**Fig. 3.** Diagram of magnetic field induction magnitude: a — side view;  $\delta$  — top view. The values are given as an example and may vary from device to device

вывод, что минимальная сила будет действовать на них на наибольшем расстоянии от торца гентри и прямо в центре магнита. Это означает, что если

действия силы притяжения на такой объект при сканировании стопы, если ее разместить в центре магнита. Однако стоит помнить, что при перемещении стола пациента объект будет временно подвержен максимальной силе притяжения.

Для минимизации влияния вращающего момента, позиция пациента должна быть такой, чтобы объект располагался вдоль линий индукции магнитного поля (вдоль оси Z в центре магнита). Здесь стоит отметить, что на практике весьма сложно уложить и переместить пациента таким образом, чтобы инородный объект всегда был правильно позиционирован относительно магнитного поля. И поэтому минимизация влияния вращающего момента актуальна только в ситуациях, когда нет риска травмы тканей из-за вращения (объект размером не более 2-3 см, как минимум 6 недель после травмы) для обеспечения безопасности пациента. Отметим также, что все передвижения пациента в кабинете МРТ должны быть настолько медленными, насколько это возможно (в том числе при перемещении стола томографа). Это связано с тем, что перемещение металлического объекта относительно изоцентра равносильно резкому изменению индукции магнитного поля и может привести к тем же негативным последствиям.

В то время как втягивание имплантированных медицинских изделий в МРТ можно в некоторой степени точно предсказать на основе анализа документации, определение свойств инородного объекта, полученного в результате огнестрельного ранения значительно более сложная задача<sup>1</sup>. Тем не менее мы предлагаем некоторые рекомендации.

Прежде всего, необходимо оценить состояние окружающих тканей с помощью компьютерной томографии (КТ) или рентгеновского обследования. Если с момента ранения (или оперативного вмешательства) прошло менее 2–6 недель, даже незначительное взаимодействие пули или осколка с магнитным полем может привести к травме.

Затем следует определить положение и размеры инородных тел. Даже при очевидном огнестрельном ранении заранее невозможно точно судить о размерах, количестве и положении объектов, поскольку существует большое количество снарядов, которые деформируются, распадаются на части и оставляют мелкие частицы в раневом канале. На этом этапе важно понимать, что только небольшие объекты, расположенные далеко от кровеносных сосудов и жизненно важных органов, могут быть относительно безопасными после заживления окружающих тканей.

Американское общество рентгенологов рекомендует использовать сильный постоянный магнит (>0,1 Тл) и ферромагнитные детекторы для определения свойств неизвестных инородных объектов<sup>2</sup>. Следует отметить, что чувствительность магнитов к ферромагнитным объектам уменьшается пропорционально квадрату расстояния, поэтому этот подход применим только для инородных тел, находящихся недалеко от поверхности кожи. Очевидно, что при наличии риска травмы тканей из-за смещения осколка или пули, использование магнита небезопасно. Оптимальным в данном случае решением является использование ферромагнитных детекторов рамочного или стоечного типа — они позволяют безопасно и достаточно эффективно выявлять инородные тела, которые могут взаимодействовать с магнитным полем<sup>1</sup>. Однако в практике российских медицинских организаций данные устройства пока не получили широкого распространения.

Нагрев инородных тел в организме пациента во время проведения МРТ может произойти исключительно во время самого исследования. Это происходит, когда под воздействием переменных (радиочастотного В<sub>1</sub> и градиентного В<sub>гр</sub>) магнитных полей в токопроводящих материалах возникает электрический ток. Энергия, возникающая при протекании этого тока, частично превращается в тепло из-за электрического сопротивления.

Согласно физическим законам, радиочастотный нагрев достигает максимума в областях с наибольшей величиной поля  $B_1$  (рис. 4, *a*). Объекты с большой поверхностью (3–4 см и более) подвержены нагреву под воздействием переменных полей из-за индуцированных вихревых токов (токов Фуко) в областях с максимальной величиной градиентного поля (рис. 4, *б*). Важно, что плотность вихревых токов в МРТ сильно смещается к поверхности проводников, что приводит к их неравномерному нагреву.

Безопасным считается увеличение температуры тканей пациента на 1° С за время MP-исследования<sup>2</sup>. Важно упомянуть эффект антенны, когда определенная длина токопроводящего объекта (около 13 см для поля 3 Тл и 26 см для поля 1,5 Тл) может вызвать критический нагрев до 20–60° С [8]. Риск такого эффекта особенно велик при расположении проводника на периферии гентри параллельно оси Z томографа. В то же время небольшие одиночные объекты до 3 см несут низкий риск значимого нагрева<sup>3</sup>.

Учитывая пространственное распределение электромагнитных полей во время сканирования, можно предположить, что нагрев любых объектов за пределами гентри томографа на некотором расстоянии от торца будет минимальным. Максимальный

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Бронов О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Петряйкин А.В., Семенов Д.С., Васильев Ю.А., Кивасёв С.А. и др. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации / Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. 2019. Вып. 63. С. 56.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> U.S. Food and Drug Administration. Testing and Labeling Medical Devices for Safety in the Magnetic Resonance (MR) Environment: Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff, 2021. 32 p.



**Рис. 4.** Зоны максимального нагрева токопроводящих инородных объектов под действием радиочастотного (*a*) и градиентных (б) магнитных полей

Fig. 4. Zones of maximum heating of conductive foreign objects under the influence of radio frequency (a) and gradient ( $\delta$ ) magnetic fields

радиочастотный нагрев можно ожидать в центре магнита, вблизи внутренней поверхности туннеля. Максимальный градиентный нагрев, в свою очередь, обнаруживается у торцов гентри. Для визуализации влияющих факторов приведем также результаты обзора Winter и соавт., посвященного нагреву имплантов в МРТ (табл. 1) [9].

токола сканирования на количество энергии, передаваемое пациенту (определяется коэффициентом SAR) и, как следствие, инородному объекту, во время исследования. Его можно минимизировать, увеличив время TR, уменьшив длину ETL, угол FA и количество заполнений в направлении фазового кодирования. Однако стоит отметить, что все эти

Таблица 1

Качественное сравнение радиочастотного и градиент-индуцированного нагрева в зависимости от объекта и параметров импульсных последовательностей [9]

Table 1

Qualitative comparison of radio frequency (RF) and gradient-induced heating depending on the object and parameters of the pulse sequences [9]

Параметр	Радиочастотный нагрев	Градиент-индуцированный нагрев
Размер	Наиболее критично: длина порядка четверти — поло- вины длины РЧ-волны в ткани	Наиболее критично: массивный имплант
Форма	Наиболее критично: вытянутый, с заостренными кон- цами и несколько близкорасположенных имплантов	Наиболее критично: большое поперечное сечение
Материал	Значение электропроводности не столь важно. Высо- кая теплопроводность снижает температуру «горя- чих точек» (hotspots)	Высокая электропроводность приводит к возникнове- нию больших вихревых токов. Например, сплав CoCrMo нагревается на 60% больше по сравнению с Ti-6Al-4V. Теплопроводность оказывает меньшее влияние
Положение	Наиболее критично: области с наибольшим фоновым электрическим полем Е. В обычной body-катушке это поле увеличивается радиально по мере удале- ния от оси катушки. В осевом направлении поле равномерно распределено в пределах зоны покры- тия катушки; также поле может в значительной сте- пени выходить за пределы катушки	Не критично: в изоцентре Критично: зоны с максимальным значением поля В <sub>G</sub> — на концах градиентных катушек, т.е. за пред- елами области визуализации. В радиальном направ- лении В <sub>G</sub> монотонно увеличивается с удалением от оси магнита; в осевом направлении максимум достигается на расстоянии 30–50 см от изоцентра, в зависимости от градиентной катушки
Ориентация	Наиболее критично: имплант вытянут вдоль вектора фонового поля Е (параллельно оси магнита для тра- диционных body-катушек)	Наиболее критично: большое поперечное сечение импланта перпендикулярно вектору поля B <sub>G</sub> с мак- симальной амплитудой

Таким образом, для минимизации рисков необходимо обеспечить правильное пространственное расположение инородного объекта относительно изоцентра МРТ. Кроме того, важно учесть влияние произменения неизбежно приводят к ухудшению контрастности и разрешающей способности.

Артефакты. Металлические объекты в области сканирования приводят к неоднородности магнитного

поля в MPT (и рассеиванию рентгеновского излучения в KT). В результате на изображениях появляются артефакты, которые могут значительно затруднить интерпретацию результатов исследования (рис. 5). Combination — комбинация изображений с переменным резонансом при множественных повторах, General Electric Company, США), в том числе использующие метод view-angle-tilting (VAT).



**Рис. 5.** Пример артефактов от металла: МРТ головного мозга у пациента с пулевым ранением в левой височной области, визуализация неинформативна

Fig. 5. Example of metal artifacts: MRI of the brain in a patient with a bullet wound in the left temporal region, the visualization is not informative

Причинами возникновения таких артефактов являются потеря или некорректная пространственная регистрация сигнала и некорректное подавление сигнала от жира и воды. Важно, что в большинстве случаев влияние артефактов на качество визуализации может быть значимо снижено. Ранее были подробно рассмотрены методы подавления артефактов от различных металлоконструкций в MPT<sup>1,2</sup>. Краткое резюме данных методов приведено в табл. 2. Аналогичные решения предлагают и другие компании. В большинстве случаев это сложные программные модули с аппаратной составляющей, пользовательский интерфейс которых представлен заранее настроенным протоколом. Их использование часто позволяет значимо снизить влияние артефактов без применения специальных знаний. Такие методы могут быть рекомендованы к применению при обследовании пациентов с огнестрельными ранениями.

Таблица 2

	Methods for suppressing metal artifacts in MRI
Виды артефактов	Методы снижения артефактов
Потеря и усиление сигнала	Использование ИП со спиновым эхо или FSE (TSE, RARE), уменьшение толщины среза, увеличение размера матрицы, использование параллельного сбора данных и др.
Некорректное жироподавление	Применение ИП STIR или технологии Dixon
Некорректное подавление сигнала от воды	Применение режимов с недекартовым заполнением k-пространства (например, PROPELLER FLAIR)
Геометрические искажения	Расширение полосы пропускания приемника (в совокупности с другими методиками)

Способы подавления артефактов от металла в МРТ

Table 2

Существуют также и готовые решения от производителей магнитно-резонансных томографов, такие как SEMAC© (Slice Encoding for Metal Artifact Correction — компенсация магнитного артефакта с кодированием среза, Siemens AG,  $\Phi$ PГ) и MAV-RIC© (Multiacquisition Variable-Resonance Image На этом перечень основных рисков, возникающих при проведении исследований из-за наличия инородных объектов в теле пациента, заканчивается. Существуют и иные факторы риска, такие как нарушение работы активных имплантируемых медицинских изделий, тошнота и головокружение в условиях

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Бронов О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Панина О.Ю. и др. Артефакты от металлоконструкций в магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2022. 40 с.

воздействия сильного магнитного поля, магнитофосфены, риск травмы органов слуха и др., однако они выходят за рамки данной работы.

Сложность определения количественных характеристик металлического инородного тела, влияющих на безопасность проведения МР-исследования (детализированные размеры объекта, расположение в системе координат томографа, химический состав инородного тела, давность травмы), в значительной степени затрудняет принятие решения, однако, с учетом рассмотренных аспектов, можно предложить следующую стратификацию риска осложнений при выполнении МРТ пациентам с инородными объектами, попавшими в организм в результате огнестрельного ранения (табл. 3).

В фантомном исследовании, посвященном оценке безопасности выполнения MPT пациентам с огнестрельными ранениями (включено 12 видов пуль для опасности выполнения МРТ в случаях, когда КТ позволяет четко визуализировать пулю.

### Алгоритм выполнения МРТ пациенту с огнестрельным ранением

1. Произведите сбор анамнеза у пациента, учитывая при этом информацию о типе травмы, времени происшествия, а также выполнении медицинских процедур. Помимо этого, важно установить, проводились ли операции по удалению осколков или замене поврежденных тканей.

2. Оцените общее состояние пациента, а также выявите при наличии возможные осложнения, связанные с ранением. Важно учитывать место ранения, наличие гематом, отеков и воспалительных процессов.

3. Выполните компьютерную томографию или рентгенографию области ранения, прилежащих анатомических зон, а также областей, имеющих следы ранений, для определения характеристик ино-

Таблица З

Стратификация риска осложнений при выполнении МРТ пациентам с инородными объектами, попавшими в организм в результате огнестрельного ранения, металлических имплантов и аппаратов наружной фиксации

Table 3

Stratification of the risk of complications when performing MRI in patients with foreign objects entering the body as a result of a gunshot wound, external fixation device

Риск осложнений	Характеристики инородных объектов
Низкий риск осложнений	<ul> <li>Небольшие объекты (до 5 мм), через 6 недель после ранения не прилегающие к кровеносным сосудам, жизненно важным органам и критически опасным анатомическим областям<sup>*</sup> и не располагающиеся в них.</li> <li>Небольшие объекты (до 1 см) вне изоцентра магнита или до 3–4 см вне гентри, через 6 недель после ранения (пример: МРТ головного мозга при наличии осколков в нижних конечностях)</li> </ul>
Высокий риск осложнений	<ul> <li>При сканировании инородный объект должен быть расположен в изоцентре магнита, но существует риск смещения при перемещении пациента на столе МРТ (пример: МРТ конечности при огнестрельном ранении конечности).</li> <li>При сканировании токопроводящий объект будет расположен вблизи передающей РЧ-катушки, в том числе у внутренней поверхности гентри — риск РЧ-нагрева (пример: МРТ головного мозга при наличии инородных объект объект объект смещен к торцу гентри относительно изоцентра — риск градиентного нагрева и вибраций</li> </ul>
Строго противо- показано	<ul> <li>Внешние металлоконструкции (аппараты наружной фиксации различных конструкций), металлические импланты за исключением МР-совместимых<sup>**</sup>.</li> <li>Инородный объект располагается в жизненно важных органах и критически опасных анатомических областях<sup>*</sup>, кровеносных сосудах, либо прилежит к ним.</li> <li>Свежая травма/ранение — объект может сместиться<sup>***</sup></li> </ul>

\* Жизненно важные (сердце, мозг, легкие, почки, печень) и иные (железы внутренней секреции) паренхиматозные органы, полые органы пищеварительной и мочеполовой системы, глаза и содержимое орбит.

\*\* Безопасность выполнения МРТ у пациентов с аппаратами наружной фиксации и наличии имплантов обсуждена ранее [7].

\*\*\* Травма/ранение до 6 недель (фаза фиброзного рубцевания)<sup>1</sup>.

пистолетов и дробовиков) авторы показывают отсутствие значимых негативных эффектов для неферромагнитных объектов, таких как дроби и свинцовые пули без оболочки [10]. При этом отмечено, что пули, пробивающие твердые ткани и проникающие глубоко в тело пациента, наверняка выпущены с высокой скоростью и могут иметь ферромагнитные элементы. Авторы считают уместным привести этот алгоритм принятия решения о безродного объекта. Основным фактором риска в данном контексте является потенциальное наличие артефактов от металлических конструкций, вызванных рассеиванием излучения. Несмотря на это, радиологические методы позволяют получить важную информацию о состоянии окружающих инородный объект тканей и свойствах самого объекта. Важно учесть расположение и размер объектов, состояние окружающих тканей.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Ахмад Е.С., Дарий О.Ю., Бронов О.Ю., Сергунова К.А. и др. Особенности проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантами и металлоконструкциями. М.: Издательские решения, 2022. 172 с.



Рис. 6. Алгоритм принятия решения о безопасности выполнения МРТ пациенту с ранением пулей или дробью [10] Fig. 6. Algorithm for making a decision on the safety of performing MRI on a patient injured by a bullet or shot [10]

4. Проведите оценку состояния пациента, чтобы определить, подходит ли он для проведения МРТ. Должны быть учтены общее состояние здоровья пациента и возможные осложнения, вызванные ранением. В случае, если пациент находится в критическом состоянии или нестабилен, МРТ может быть отложена до стабилизации состояния пациента.

5. Обсудите данную ситуацию с хирургом или травматологом, которые участвовали в лечении пациента или удалении осколков. Они могут представить ценную информацию о состоянии пациента и помочь определить целесообразность проведения МРТ. Важно взаимодействовать с другими специалистами — неврологами, кардиологами или анестезиологами, чтобы принять коллегиальное решение о проведении МРТ. Они могут предоставить дополнительную информацию о состоянии пациента и возможных рисках.

6. На основе собранной информации, мнений других специалистов и возможных альтернативных методов диагностики примите решение о проведении МРТ для пациента с огнестрельным ранением. При этом важно оценить потенциальные риски и преимущества МРТ в сравнении с альтернативными методами (например, ультразвуковой диагностикой).

7. В случае принятия решения о проведении МРТ проинформируйте пациента о процедуре, связанных с ней рисках и преимуществах, а также о возможных альтернативных методах диагностики. Обязательно получите согласие пациента на процедуру в письменной форме.

8. Согласуйте дату и время проведения МРТ с пациентом и медицинским персоналом, участвующим в процедуре. Убедитесь, что всё необходимое оборудование и персонал будут доступны в запланированное время.

9. Заблаговременно подготовьте протокол сканирования, используя фантом или здорового добровольца.

10. Во время проведения МРТ внимательно следите за состоянием пациента, чтобы немедленно обнаружить любые возможные осложнения или реакции на процедуру.

11. После окончания каждой ИП тщательно анализируйте полученные изображения: особое внимание уделите области огнестрельного ранения, состоянию окружающих тканей и органов, а также наличию возможных осложнений.

12. Подробно опишите подверженные артефактам зоны, отметив локализации или ИП, которые невозможно интерпретировать.

13. Сделайте запись об успешном выполнении МРТ или о возникших осложнениях в карте пациента так, чтобы по прошествии времени по ней можно было бы судить о безопасности повторного выполнения исследования.

В качестве иллюстрации предложенного подхода к определению риска выполнения МРТ-исследования при наличии металлических инородных тел приводим два клинических наблюдения.

Клиническое наблюдение № 1. Пациент Э-п, 45 лет, минно-взрывная травма от 10.11.2022 г. Осколочное ранение левого глаза; OS: рубцовая деформация век, анофтальм. Слепое осколочное ранение правого плеча и предплечья, открытый перелом хирургической шейки правой плечевой кости. Посттравматический остеомиелит головки правой плечевой кости. Открытый оскольчатый перелом правой лучевой кости со смещением отломков. Плексопатия справа. Состояние после операции от 07.06.2023 г.: комплексная пластика глазной щели. Судорожный синдром. Жалобы: боли в области ранений, отсутствие активных движений в правой кисти, головные боли, периодические судорожные приступы.

Текущая госпитализация с 31.05.2023 г. С учетом анамнеза, установленного ранее диагноза рекомендована МРТ головного мозга с целью уточнения

характера внутричерепных повреждений, а также КТ органов грудной клетки, правой верхней конечности.

При компьютерной томографии была выполнена топограмма анатомических областей: голова, шея, грудная клетка, брюшная полость с захватом правой верхней конечности (рис. 7). отрезка XI ребра. Следует отметить, что ранее не был удален металлический осколок в левом легком, вероятно, ошибочно определяемый как кальцинат. Учитывая расположение металлических осколков в левом легком, в параорбитальной области слева, было решено воздержаться от выполнения MPT



Рис. 7. Компьютерно-томографическое исследование пациента Э-п, 45 лет, минно-взрывная травма от 10.11.2022. Данный пациент соответствует строке 3 табл. 3 — «Строго противопоказано», пояснение в тексте. Анатомические области на изображениях: *a* — общая топограмма торса; *б* — осколок в правой подключичной области; *в* — осколок в левом легком; *г* — осколок в правой плечевой кости; *д* — общая топограмма головы; *е* — осколки в левой интра- и параорбитальной областях; *ж* — область левой орбиты; *з* — левые прямая и медиальная орбитальные извилины

**Fig. 7.** Computed tomographic examination of patient E-p, 45 years old, mine blast injury dated November 10, 2022. This patient corresponds to line 3 of table 3 — «Strictly contraindicated», explanation in the text. Anatomical areas in the images: a — general topogram of the torso;  $\delta$  — a fragment in the right subclavian region; a — a fragment in the left lung; e — a fragment in the right humerus;  $\partial$  — general topogram of the head; e — fragments in the left intraand paraorbital areas;  $\pi$  — area of the left orbit; a — left rectus and medial orbital gyri

Выявлены три крупных (рис. 7, *a*) осколка металлической плотности (3071 HU) и ряд более мелких в области головы — параорбитальной области слева (рис. 7,  $\partial$ ). При сканировании в спиральном режиме (стандартные 120 кВ, адаптивный ток, MAR (Metal Artefact Reduction), толщина среза реконструкции 0,62 и 1,25 мм) было показано, что наиболее крупные металлические осколки располагаются: в подключичной области справа, поверхностно, размером 10×7 мм (рис. 7, б); в периферических отделах 9-го сегмента нижней доли левого легкого у VIII ребра, размером  $11 \times 11$  мм (рис. 7, в); в области перелома верхней трети плечевой кости (рис. 7, г), параорбитально слева. Отмечен раневой ход большого срока давности через десятый межреберный промежуток с консолидированным краевым переломом заднего

головного мозга (строка 3 табл. 3), выполнив компьютерную томографию.

Таким образом, согласно табл. З «МР-совместимость инородных объектов, попавших в организм в результате огнестрельного ранения», данный пациент соответствует строке З «Строго противопоказано». При удалении осколка из левого легкого риск будет соответствовать строке 2 «Высокий риск осложнений».

При проведении компьютерной томографии детально определены инородные тела — мелкие осколки металлической плотности интра- и параорбитально слева (до 5 мм) (рис. 7, *e*). Плотность всех выявленных осколков (3071 HU) соответствует верхнему порогу корректно определяемой плотности. Отмечены частично консолидированные переломы крыши левой орбиты и внутренней пластинки лобной пазухи (рис. 7, *ж*). Выявлены ушибы с последующей кистозно-глиозной трансформацией прямой и медиальной орбитальных извилин (рис. 7, *з*).

Клиническое наблюдение 2. Пациент У-к, 32 года минно-взрывная травма от 04.10.2022 г. Сквозное осколочное ранение правой ягодичной области с открытым многооскольчатым чрезвертельным переломом правой бедренной кости с формированием очага остеомиелита, секвестрэктомией, пластикой местными тканями. Ампутация левой нижней конечности на уровне нижней трети бедра. Обширные заживающие поверхностные раны верхних конечностей, правой нижней конечности. Проведены множественные этапные операции, включающие вторичную хирургическую обработку, реампутации, пластики местными тканями раны области правого тазобедренного сустава. Петлевая сигмостомия, колостома в левой подвздошной области.

Жалобы пациента: ограничение подвижности, резкое ограничение произвольных движений правой нижней конечностью, интенсивные боли в поясничной области.

Текущая госпитализация с 17.06.2023 г. Учитывая данные сопроводительной медицинской документации, анамнеза и осмотра, было принято решение о выполнении КТ всего тела (panCT). При этом на топограмме (рис. 8, *a*) были определены два небольших участка, подозрительных на инородные тела металлической плотности — в мягких тканях кна-



Рис. 8. Компьютерно-томографическое и магнитно-резонансные исследования пациента У-к 32 года, минновзрывная травма от 04.10.2022 г. Данный пациент соответствует строке 1 таблицы 3 — «Низкий риск осложнений», объяснение в тексте. Анатомические области и режимы сканирования: *a* — общая топограмма; *б* — осколок в области левой жевательной мышцы; *в* — осколок в области передней зубачатой мышцы слева; *с* — правый тазобедренный сустав; *д* — компьютерно-томографическое изображение поясничного отдела позвоночника; *е* сагиттальное магнитно-резонансное изображение поясничного отдела позвоночника в режиме STIR; *ж* — сагиттальное магнитно-резонансное изображение поясничного отдела позвоночника в режиме 3D LAVA Flex с жироподавлением после внутривенного контрастного усиления; *з* — корональное магнитно-резонансное изображение поясничного отдела позвоночника в режиме 3D STIR Cube

**Fig. 8.** Computed tomography and magnetic resonance studies of patient U, 32 years old, mine-explosive injury dated October 4, 2022. This patient corresponds to line 1 of Table 3 — «Low risk of complications», explanation in the text. Anatomical areas and scanning modes: a — general topogram;  $\delta$  — a fragment in the area of the left masseter muscle; a — a fragment in the area of the serratus anterior muscle on the left; a — right hip joint;  $\partial$  — computed tomographic image of the lumbar spine; e — sagittal magnetic resonance image of the lumbar spine in STIR mode;  $\pi$  — sagittal magnetic resonance image of the lumbar spine in 3D LAVA Flex mode with fat suppression after intravenous data areas and scannes in the area of the lumbar spine in the are

contrast enhancement; 3 - coronal magnetic resonance image of the lumbar spine in 3D STIR Cube mode

Лучевая диагностика и терапия

ружи от ветви нижней челюсти слева и в проекции левого легкого. При выполнении спирального КТ-сканирования отмечено инородное тело металлической плотности (до 3 мм) в подкожно-жировой клетчатке над левой жевательной мышцей (рис. 8,  $\delta$ ). Второе ( $6 \times 4$  мм) отмечено кнаружи от VII ребра в передней зубчатой мышце слева (рис. 8,  $\beta$ ). Оба инородных тела имели рентгеновскую плотность 3071 HU, что соответствует металлу. Дополнительных инородных тел выявлено не было.

При выполнении КТ всего тела были уточнены описанные ранее патологические процессы: обширные рубцовые изменения мягких тканей голени и бедра, течение остеомиелита правого тазобедренного сустава, неконсолидированный перелом проксимального отдела правой бедренной кости с визуализацией раневых ходов (рис. 8, г), состояние после ампутации на уровне нижней трети левого бедра (рис. 8, a). В качестве находки, не указанной в переводном эпикризе, был отмечен спондилит, тел позвонков LI-IV с подозрением на спондилодисцит (рис. 8,  $\partial$ ). Учитывая полученные данные о металлических инородных телах, пациент был классифицирован как имеющий низкий риск осложнений согласно табл. 3, что позволило выполнить МРТ позвоночника. Отмеченные инородные тела металлической плотности (до 3 мм) располагались в подкожно-жировой клетчатке лица над левой жевательной мышцей (рис. 8, б), соответствовали формулировке строки 1 табл. 3 — «небольшие объекты (до 5 мм), через 6 недель после ранения не прилегающие к кровеносным сосудам, жизненно важным органах и критически опасных анатомических областях и не располагаются в них». Второе (6×4 мм), кнаружи от VII ребра в передней зубчатой мышце слева (рис. 8, в), соответствует формулировке строки 1 табл. 3 — «небольшие объекты до 1 см вне изоцентра магнита, до 3-4 см вне гентри через 6 недель после ранения (пример: МРТ головного мозга при наличии осколков в нижних конечностях)».

При МРТ позвоночника определены изменения по типу спондилита L<sub>I-IV</sub>, спондилодисцита, эпидурита, двустороннего псоита, миозита подвздошных

и ягодичных мышц. На рис. 8 представлены МРТ изображения в режимах STIR (рис. 8, e), 3D LAVA Flex с жироподавлением после внутривенного контрастного усиления (рис. 8,  $\mathcal{M}$ ), а также 3D STIR Cube (рис. 8, 3).

Заключение. Выполнение МРТ-исследования пациентам с огнестрельным ранением в ряде случаев возможно, но требует тщательного анализа рисков и важности диагностической информации, полученной при исследовании с учетом доступных альтернативных методов диагностики и состояния пациента. Предложена классификация рисков выполнения МРТ-исследования в зависимости от размера металлического осколка, его локализации, давности травмы: низкий риск осложнений, высокий риск осложнений, строго противопоказано. Опыт работы с данной категорией пациентов показывает, что чаще встречаются множественные мелкие металлические инородные объекты (крупные осколки, как правило, удаляются при первичном хирургическом вмешательстве). С другой стороны, часто применяются МРнесовместимые устройства внешней и внутренней фиксации и внешние носимые устройства, такие как аппараты для лечения отрицательным давлением.

Опрос пациента в такой ситуации зачастую неинформативен из-за высокой вероятности множественных ранений и многократных медицинских вмешательств. Методом выбора для того, чтобы достоверно установить наличие металлических инородных объектов, в данном случае является рентгенография или компьютерная томография, которая может быть выполнена в режиме предварительного сканирования всего тела и далее — локально применительно к областям с инородными объектами.

С целью минимизации рисков при выполнении MPT-исследования у пациента с металлическими осколками следует заранее подготовить протокол сканирования, контролировать состояние пациента после каждой импульсной последовательности. По завершении диагностической процедуры следует сделать соответствующую запись о выполненном MPTисследовании, так как для данной категории пациентов высока вероятность назначения MPT в будущем.

### Сведения об авторах:

Васильев Юрий Александрович — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог, директор государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике Департамента здравоохранения Москвы; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0002-5283-5961;

Семенов Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, руководитель отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–4293–2514

Петряйкин Алексей Владимирович — доктор медицинских наук, доцент, главный научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», врач-рентгенолог; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com; ORCID 0000–0003–1694–4682;

- Васильева Юлия Николаевна кандидат медицинских наук, ассистент кафедры лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, врач-рентгенолог; 127006, Москва, ул. Долгоруковская, д. 4; e-mail: drugya@yandex.ru; ORCID 0000–0003–4955–2749;
- Ульянова Виолетта Алексеевна врач-рентгенолог отдела экспертизы и качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; врач-рентгенолог федеральное казенное учреждение здравоохранения «Главный клинический госпиталь Министерства внутренних дел России»; 123060, Москва, ул. Народного Ополчения, д. 35; врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская клиническая онкологическая больница № 1 Департамента здравоохранения города Москвы»; 117152, Москва, Загородное шоссе, д. 18А, стр. 7; е-mail: violettaalekseevna@bk.ru; ORCID 0009–0002–7008–8151;
- Абдель-Керим Шуан Рашад врач-рентгенолог диагностического отделения Московского клинического центра инфекционных болезней «Вороновское» государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская клиническая больница имени В.П.Демихова Департамента здравоохранения города Москвы»; 142165, Москва, поселение Вороновское, квартал № 10; e-mail: shuan.ak@gmail.com; ORCID 0009–0002–9283–0302;
- Петрова Наталья Борисовна врач-рентгенолог, заведующая диагностическим отделением Московского клинического центра инфекционных болезней «Вороновское» государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская клиническая больница имени В. П. Демихова Департамента здравоохранения города Москвы»; 142165, Москва, поселение Вороновское, квартал № 10; e-mail: 5rovanb@mail.ru; ORCID 0009–0001–3436–430Х;
- Сморчкова Анастасия Кирилловна младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», врач-рентгенолог; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: SmorchkovaAK@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–9766–3390;
- Шарова Дарья Евгеньевна заместитель руководителя отдела инновационных технологий государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0001-5792-3912.

Information about the authors:

- Yuri A. Vasilev Cand. of Sci. (Med.), CEO of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department», senior consultant for Radiology and Instrumental Diagnostics of the Moscow Healthcare Department; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–5283–5961;
- Dmitriy S. Semenov Cand. of Sci. (Tech.), Head of Standardization and Quality Control Department of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–4293–2514;
- *Alexey V. Petraikin* Dr. of Sci. (Med.), Assistant Professor, Chief Researcher of the Standardization and Quality Control Department of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com; ORCID 0000–0003–1694–4682;
- Yulia N. Vasileva Cand. of Sci. (Med.), assistant of the Department of Radiology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 127006, Moscow, Dolgorukovskaya st., 4; e-mail: drugya@yandex.ru; ORCID 0000– 0003–4955–2749;
- Violetta A. Ulyanova radiologist, Department of Expertise and Quality of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; Federal Government Healthcare Institution «Main Clinical Hospital of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation»; State Budgetary healthcare institution of the Moscow city «City Clinical Oncology Hospital No. 1 of the Moscow Health Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24, bld. 1; 117152, Moscow, Narodnogo Opolcheniya st., 35; 117152, Moscow, 18A, Zagorodnoe sh., bld. 7; e-mail: violettaalekseevna@bk.ru;
- Shuan R. Abdel-Kerim radiologist, Diagnostics Department of the Moscow Clinical Center of Infectious Diseases «Voronovskoye», State Budgetary healthcare institution «V. P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Health Department»; 142165, Moscow, settlement Voronovskoye, Quarter No. 10; e-mail: shuan.ak@gmail.com; ORCID 0009–0002–9283–0302;
- Natalia B. Petrova radiologist, Head of the Diagnostics Department of the Moscow Clinical Center of Infectious Diseases «Voronovskoye», State Budgetary healthcare institution «V.P. Demikhov City Clinical Hospital of the Moscow Health Department»; 142165, Moscow, settlement Voronovskoye, Quarter No. 10; e-mail: 5rovanb@mail.ru; ORCID 0009–0001–3436–430X;
- Anastasia K. Smorchkova junior researcher of Standardization and Quality Control Department of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka st., 24 bld. 1; e-mail: SmorchkovaAK@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–9766–3390;
- Daria E. Sharova deputy head of the Department of Innovative Technologies of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, 24 Petrovka st., bld. 1; e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru; ORCID 0000-0001-5792-3912.
- Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования Ю. А. Васильев, Д. Е. Шарова; сбор и анализ данных Д. С. Семенов, А. В. Петряйкин, Ю. Н. Васильева, В. А. Ульянова, Ш. Р. Абдель-Крим, Н. Б. Петрова; подготовка рукописи А. К. Сморчкова.
- Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: YuAV, DESh aided in the concept and plan of the study; DSS, AVP, YNV, VAU, ShRA-K, NBP provided collection and analysis of data; AKS preparation of the manuscript.

- Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (№ ЕГИСУ: № 123031500007-6) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы, государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.
- Funding: This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled «Research program to further the standardization, safety and quality of magnetic resonance imaging» (USIS No. 123031500007-6) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 «On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025» issued by the Moscow Health Care Department.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение 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 is obtained from each of the patient.

> Поступила/Received: 15.04.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- 1. Greenberg T.D., Hoff M.N., Gilk T.B., Jackson E.F., Kanal E., McKinney A.M. et al. ACR guidance document on Mr Safe Practices: Updates and critical information 2019 // Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2019. Vol. 51, No. 2. P. 331–338. doi: 10.1002/jmri.26880.
- 2. Швырков М.Б. Огнестрельные ранения лица и функциональные нарушения // Российский стоматологический журнал. 2017. Т. 21, № 3. С. 152–157. [Shvyrkov M.B. Gunshot wounds of face and functional disorders. Russian Dental Journal, 2017, Vol. 21, No. 3, pp. 152–157 (In Russ.)]. doi: 10.18821/1728-2802.
- 3. Щеголев А.И., Туманова У.Н. Посмертные лучевые исследования в мировом и отечественном здравоохранении: анализ литературы и мнений российских специалистов // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 3. С. 369–383. [Shchegolev A.I., Tumanova U.N. Postmortem Radiology Studies in global and National Healthcare: Literature Analysis and perspectives of Russian specialists. Digital Diagnostics, 2023, Sept. 26, Vol. 4, No. 3, pp. 369–383 (In Russ.)]. doi: 10.17816/DD375328.
- 4. Гизатуллин Ш.Х., Станишевский А.В., Свистов Д.В. Боевые огнестрельные ранения черепа и головного мозга // Вопросы нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко. 2021. Т. 85, № 5. С. 124–131. [Gizatullin Sh.Kh., Stanishevsky A.V., Svistov D.V. Combat gunshot skull and brain injuries. Issues of neurosurgery named after N.N.Burdenko,, 2021, Vol. 85, No. 5, pp. 124–131 (In Russ.). doi: 10.17116/neiro202185051124.
- Lopič N., Jelen A., Vrtnik S., Jagličic Z., Wencka M., Starc R. et al. Quantitative determination of magnetic force on a coronary stent in MRI // Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2013. Vol. 37, No. 2. P. 391–397. doi: 10.1002/jmri.23831.
- 6. Martinez-del-Campo E., Rangel-Castilla L., Soriano-Baron H., Theodore N. Magnetic resonance imaging in lumbar gunshot wounds: an absolute contraindication? // Journal of neurosurgery. 2014. Vol. 37, No. 1. P. E13. doi: 10.3171/2014.7.FOCUS1496.
- 7. Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Петряйкин А.В., Кивасев С.А., Семенов Д.С., Васильев Ю.А. и др. Безопасность проведения магнитно-резонансного исследования пациентам с имплантируемыми медицинскими изделиями // Бюллетень НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН. 2019. Т. 20, № 4. С. 313–323. [Sergunova K.A., Ahmad E.S., Petraikin A.V., Kivasev S.A., Semenov D.S., Vasilev Yu.A. et al. Safety of magnetic resonance examination patients with implantable medical devices. *Bulletin* of the National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery named after A.N.Bakulev of the Russian Academy of Medical Sciences, 2019, Vol. 20, No. 4, pp. 313–323 (In Russ.)]. doi: 10.24022/1810-0694-2019-20-4-313-323.
- 8. Panych L.P., Madore B. The physics of MRI safety // Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2018. Vol. 47, No. 1. P. 28–43. doi: 10.1002/jmri.25761.
- Winter L., Seifert F., Zilberti L., Murbach M., Ittermann B. MRI-Related Heating of Implants and Devices: A Review // Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2020. Vol. 53, No. 6. P. 1646–1665. doi: 10.1002/jmri.27194.
- Fountain A.J., Corey A., Malko J.A., Strozier D., Allen J.W. Imaging appearance of ballistic wounds predicts bullet composition: Implications for MRI safety // American Journal of Roentgenology. 2021. Vol. 216, No. 2. P. 542–551. doi: 10.2214/AJR.20.23648.

# НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ / PRACTICAL CASES

УДК 616.33/.34-006-072.1(075.8) http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-106-113

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ СУБЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЖЕЛУДКА: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

*Н. Н. Варламова*®\*, *С. С. Хамид*®, *Ю. В. Минькова* Многопрофильная клиника «Скандинавия», Санкт-Петербург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Субэпителиальные образования (СубЭО) верхних отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) имеют в большинстве случаев бессимптомный характер и являются диагностической находкой при рутинных исследованиях. С учетом риска малигнизации некоторых СубЭО на сегодняшний день остается актуальным вопрос о тактике лечения: наблюдение или оперативное вмешательство.

**ЦЕЛЬ:** Продемонстрировать диагностические возможности на амбулаторном этапе при выборе наблюдательной тактики у пациентки с СубЭО.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Продемонстрировано динамическое наблюдение женщины 68 лет со случайно выявленным СубЭО. Пациентка наблюдалась у гастроэнтеролога с 2005 г. с диагнозом функциональное расстройство желчного пузыря и сфинктера Одди. В августе 2022 г. при обращении в клинику с жалобами на боли в области эпигастрия и изжогу были проведены следующие исследования: гастроскопия (ФГДС), эндоскопическое ультразвуковое исследование (ЭУС) с тонкоигольной пункцией, трансабдоминальное УЗИ (ТА УЗИ), компьютерная томография (КТ) брюшной полости, в ходе которых было диагностировано подслизистое образование желудка. Картина более соответствует гастроинтестинальной стромальной опухоли (ГИСО). С учетом небольших размеров образования была выбрана тактика наблюдения. На момент 12.2023 г. по результатам контрольных исследований СубЭО без динамики.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Период наблюдения составил 17 месяцев, результаты проведенных контрольных исследований оправдали выжидательную тактику и позволили избежать неоправданных оперативных вмешательств, интраоперационных осложнений. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Совместное использование ТА УЗИ с эндоскопией способствует более качественному проведению дифференциальной диагностики и выбору адекватной тактики ведения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** субэпителиальное образование, трансабдоминальное ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерная томография (КТ), фиброгастродуоденоскопия (ФГДС), эндоскопическая ультрасонография (Эндо-УЗИ, ЭУС)

\* Для корреспонденции: Варламова Наталья Николаевна, e-mail: topsi2005@mail.ru

Для цитирования: Варламова Н.Н., Хамид С.С., Минькова Ю.В. Информативность диагностических методов визуализации при выявлении субэпителиальных образований желудка: клинический случай // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 106–113, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-106-113.

## INFORMATIVE VALUE OF DIAGNOSTIC IMAGING METHODS IN THE DETECTION OF SUBEPITHELIAL FORMATIONS OF THE STOMACH: A CLINICAL CASE

Natalia N. Varlamova®\*, Sergey S. Hamid®, Yuliya V. Minkova® Multidisciplinary clinic «Scandinavia», St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** Subepithelial formations (SubEO) of the upper gastrointestinal tract (GI tract) are asymptomatic in most cases, and are a diagnostic finding in routine studies. Given the risk of malignancy of some SubEO, the question of treatment tactics remains relevant today: observation or surgical intervention.

<sup>©</sup> Авторы, 2024. 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

**PURPOSE:** To demonstrate diagnostic capabilities at the outpatient stage when choosing observational tactics in a patient with SubEO.

**MATERIALS AND METHODS:** A dynamic observation of a 68-year-old woman with a randomly identified SubEO was demonstrated. The patient has been observed by a gastroenterologist since 2005 with a diagnosis of functional disorder of the gallbladder and sphincter of Oddi. In August 2022, when contacting the clinic with complaints of epigastric pain and heartburn, the following studies were performed: gastroscopy (FGDS), endoscopic ultrasound (EUS) with fine needle puncture, transabdominal ultrasound (TAUZI), computed tomography (CT) of the abdominal cavity, during which a submucosal formation of the stomach was diagnosed. The picture is more consistent with a gastrointestinal stromal tumor (GISO). Given the small size of the formation, the surveillance tactic was chosen. At the time of 12.2023, according to the results of control studies of the SubEO without dynamics. **RESULTS:** The follow-up period was 17 months, the results of the control studies justified the wait-and-see tactics and allowed avoiding unjustified surgical interventions and intraoperative complications.

**CONCLUSION:** The combined use of TAUZI with endoscopy contributes to a better differential diagnosis and the choice of adequate treatment tactics.

**KEYWORDS:** subepithelial formation, transabdominal ultrasound (US), computed tomography (CT), fibrogastroduodenoscopy (FGDS), endoscopic ultrasonography (EUS)

### \* For correspondence: Natalia N. Varlamova, e-mail: topsi2005@mail.ru

For citation: Varlamova N.N., Hamid S.S., Minkova Yu.V. Informative value of diagnostic imaging methods in the detection of subepithelial formations of the stomach: a clinical case // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 106–113, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-106-113.

**Введение.** Субэпителиальные (подслизистые, субмукозные) образования верхних отделов желудочно-кишечного тракта представляют собой гетерогенную группу новообразований, общим признаком которых является локализация опухоли в подслизистом слое и неизмененная слизистая оболочка. При морфологическом исследовании подслизистые образования имеют различное происхождение мышечное, неврогенное, сосудистое и смешанное, а также опухолеподобные образования: ретенционные и/или дупликационные кисты, дистопию ткани поджелудочной железы, бруннеромы (гиперплазия бруннеровых желез) [1]. Субэпителиальные образования составляют 5% всех новообразований верхних отделов желудочно-кишечного тракта [2].

Наиболее часто подслизистые новообразования локализуются в желудке (60%), реже в пищеводе (30%), двенадцатиперстной кишке (10%) и встречаются с одинаковой частотой у мужчин и женщин, преимущественно после 50 лет [3]. У детей субмукозные опухоли встречаются крайне редко [4].

С учетом бессимптомного течения субэпителиальные образования являются диагностической находкой и встречаются в 0,4% случаев при эндоскопическом и/или рентгенологическом исследовании по поводу различной гастропатологии [5, 6].

На рентгенограммах подслизистые опухоли выявляются как пристеночные дефекты наполнения округлой или овальной формы (рис. 1) [7, 8]. Складки слизистой оболочки на месте дефекта наполнения не обрываются, а обходят дефект (рис. 2), что свидетельствует о подслизистом расположении опухоли [7, 8].

Ведущая роль в диагностике подслизистых образований принадлежит эндоскопическим исследова-

ниям. Важным эндоскопическим ориентиром субэпителиальной опухоли является неизмененная сли-



**Рис. 1.** Рентгенография желудка. По малой кривизне на границе верхней и средней трети тела желудка — округлый дефект наполнения с четкими ровными контурами [7, 8]

**Fig. 1.** Radiography of the stomach. Due to the small curvature at the border of the upper and middle third of the stomach body, there is a rounded filling defect with clear, even contours [7, 8]

зистая оболочка, которая покрывает «выбухающий» в просвет органа дефект стенки. Еще один
отличительный признак, позволяющий диагностировать подслизистую опухоль, — это признак Шиндлера: конвергенция складок слизистой оболочки к опухоли в виде дорожек или «мостиков» между новообразованием и окружающей слизистой у пациентов с подслизистыми новообразованиями в 82,5% случаев удавалось визуализировать опухоль. При этом автор подчеркивает, что исследование информативно только при больших размерах новообразований (больше 5 см) [16, 17].



**Рис. 2.** Рентгенологическое исследование: центральный дефект наполнения овальной формы с четкими ровными контурами, гладкой поверхностью, складки слизистой оболочки не обрываются, а обходят дефект наполнения; нарушения эластичности нет [7, 8]

**Fig. 2.** Radiographical examination: the central filling defect is oval in shape with clear, even contours, smooth surface, the folds of the mucous membrane do not break off, but bypass the filling defect; there is no violation of elasticity [7, 8]

оболочкой [9]. Характерным симптомом подслизистых новообразований является то, что слизистая оболочка над опухолью при захвате ее биопсийными щипцами приподнимается в виде «паруса» или «шатра». Также характерен симптом подушки: поверхность опухоли эластичная и может быть вдавлена при компрессии ее биопсийными щипцами (например, при липоме)[10].

Однако эндоскопическое исследование не имеет четких критериев для дифференциальной диагностики между субэпителиальным новообразованием и экстраорганной компрессией. Также при ФГДС невозможно определить ни структуру образования, ни слой стенки полого органа, из которого оно исходит. Подслизистая локализации новообразований не дает возможности выявить их морфологическую природу при биопсии [11]. Точность эндоскопии в идентификации подслизистых образований редко превышает 40% [12–14].

Несмотря на невысокую чувствительность, неинвазивные лучевые методы, такие как мультиспиральная компьютерная томография (MCKT), магнитнорезонансная томография (MPT), трансабдоминальное ультразвуковое исследование (TA УЗИ), широко используются в качестве дополнительных методов диагностики [15].

По данным профессора онколога К. Futagami (университет Фукуока, Япония) при выполнении УЗИ желудка, предварительно заполненного водой,

С внедрением в хирургическую практику метода эндосонографии (ЭУС) возможности диагностики и дифференциальной диагностики подслизистых новообразований и неопухолевых новообразований стенок желудочно-кишечного тракта значительно расширились. В настоящее время наличие подслизистого новообразования является классическим показанием к назначению эндосонографии. Этот метод позволяет не только достоверно различать образования стенки и экстраорганные структуры, но и определять слой, из которого исходит образование, и его внутреннюю эхоструктуру. ЭУС позволяет визуализировать не только патологические эхоструктурные изменения в стенке желудка, но и саму желудочную стенку, а тем самым более детально определить послойную локализацию образования.

По данным одного из мультицентровых немецких исследований, эндоскопические методы диагностики подслизистых новообразований и экстраорганной компрессии имеют чувствительность 87% и специфичность 29% [18]. В другом японском исследовании с 1980 по 1987 г. оценивались результаты сравнения точности ЭУС, ТА УЗИ и МСКТ в дифференциальной диагностике между образованиями стенки и экстраорганной компрессией у 441 пациента (таблица) [19].

Так, в таблице наглядно представлена точность эндосонографии, достигающая 100%, по сравнению с ТА УЗИ (22%) и МСКТ (28%).

### Таблица Сравнительная оценка точности инструментальных методов исследований в выявлении подслизистых образований

Table Comparative assessment of the accuracy of instrumental research methods in the identification of submucosal formations

Метод исследования	ЭУС	ТА УЗИ	МСКТ
Точность, %	100,0	22,0	28,0

Высокая точность эндосонографии объясняется тем, что визуализируемые слои стенки коррелируют с анатомическими слоями при выполнении гистологического исследования [20]. Известно, что при частоте ультразвукового сигнала 7,5 МГц визуализируется 5 слоев стенки желудка. Чем выше частота сканирования, тем выше разрешение. При частоте 10–12 МГц в стенке желудка визуализируется 7 слоев, а при частоте 20 МГц описывают до 9 слоев [21–24].

Для демонстрации диагностических возможностей на амбулаторном этапе приводим случай из собственной практики. Исследования выполнены в соответствии с этическими принципами проведения медицинских исследований. На проведение исследований было получено информированное согласие. впервые выявлено подслизистое образование в средней трети тела желудка по передней стенке округлой формы размером около 15 мм, при инструментальной пальпации — плотноэластичной консистенции, умеренно смещаемое, слизистая оболочка над образованием не изменена.

В сентябре 2022 г. при ЭУС в средней трети тела желудка по передней стенке определяется неоднородное гипоэхогенное образование округлой формы, исходящее из мышечного слоя основанием шириной до 10 мм, с внутрипросветным типом роста. Размер образования 13×14 мм. Контур ровный, четкий. Образование прилежит к задней поверхности левой доли печени. ЭУС-картина более соответствует ГИСО средней трети тела желудка. Получить информативный материал путем тонкоигольной пункции не удалось. Рекомендации: с учетом небольших размеров образования возможно динамическое наблюдение — ЭУС через 6 мес для оценки динамики размеров. При отказе от тактики наблюдения возможно эндоскопическое удаление методом туннельной резекции.

Пациентка на контрольный визит через 6 месяцев не явилась ввиду отсутствия жалоб. Через год, после возобновлении болей в области эпигастрия, пациентка вновь обратилась к гастроэнтерологу. С учетом анамнеза в октябре 2023 г. выполнена



**Рис. 3.** МСКТ с болюсным усилением. В стенке желудка лоцируется округлое образование с четкими, ровными контурами. После внутривенного усиления умеренно, несколько неравномерно накапливает контрастный препа-

рат, прилежащая клетчатка обычной структуры: a — венозная фаза;  $\delta$  — артериальная фаза **Fig. 3.** MSCT with bolus amplification. A rounded formation with clear, even contours is located in the wall of the stomach. After intravenous reinforcement, the contrast agent accumulates moderately, somewhat unevenly, the adjacent fiber of the usual structure: a — venous phase;  $\delta$  — arterial phase

Клинический случай. Пациентка О., 68 лет, масса тела 62 кг, рост 163 см. В клинике наблюдается с 2005 года, в том числе и у гастроэнтеролога по поводу дисфункции желчного пузыря с болями в эпигастрии. До 2022 года по данным ФГДС диагностированы недостаточность кардии и эритематозный антральный рефлюкс-гастрит.

В августе 2022 г. в связи с обострением болей в области эпигастрия после стресса по ФГДС было МСКТ, при которой выявлено: на уровне тела по левой боковой и верхней (поддиафрагмально) поверхности в стенке желудка округлое образование 15 мм в диаметре, с четкими, ровными контурами, после внутривенного усиления умеренно, несколько неравномерно накапливает контрастный препарат, прилежащая клетчатка обычной структуры (рис. 3).

Лечащим врачом назначено ЭУС для оценки динамики образования, но пациентка отказалась.

## DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

В декабре 2023 г. пациентка явилась на трансабдоминальное УЗИ. Образование удалось визуализировать при ТА УЗИ конвексным и линейным датчиками ультразвуковой системы GE Logiq E9 в положении пациента стоя, сильно отклонив датчик в мезогастрий и вверх. Выявлено округлое гипоэхогенное однородное образование размером 10×12 мм с четкими ровными контурами, интимно прилегающее к стенке желудка, при цветовой допплерографии (ЦДК) кровоток не регистрируется (рис. 4).



Рис. 4. УЗ-изображение (ТА, конвексный датчик). Гипоэхогенное образование, интимно прилегающее к стенке желудка

Fig. 4. Ultrasound image (TA, convection sensor). A hypoechoic formation intimately adjacent to the stomach wall

Более четкое изображение получено после наполнения желудка водой (рис. 5-6), при осмотре в режиме компрессионной эластографии образование имеет синее окрашивание, размеры и форма совпадают с таковыми в В-режиме (рис. 7).

Тогда же при ФГДС от 12.2023 г. в средней трети тела желудка по передней стенке визуализируется ранее обнаруженное подслизистое образование (результаты ЭУС — GISO) округлой формы,



Рис. 5. УЗ-изображение (ТА, конвексный датчик)
после наполнения желудка водой. Подслизистое образование желудка лоцируется более четко
Fig. 5. Ultrasound image (TA, convection sensor) after filling the stomach with water. The submucous formation of the stomach is located more clearly



**Рис. 6.** УЗ-изображение (ТА, линейный датчик) после наполнения желудка водой. Подслизистое образование желудка лоцируется более четко

**Fig. 6.** Ultrasound image (TA, linear sensor) after filling the stomach with water. The submucous formation of the stomach is located more clearly



**Рис. 7.** Компрессионная эластография. Образование имеет синее окрашивание, размеры и форма совпадают с таковыми в В-режиме

Fig. 7. Compression elastography. The formation has a blue coloration, the size and shape coincide with those in the In-mode



**Рис. 8.** ФГДС. В средней трети тела желудка по передней стенке визуализируется подслизистое образование округлой формы (указано стрелкой)

Fig. 8. FGDS. In the middle third of the stomach body, a rounded submucosal formation is visualized along the anterior wall (indicated by an arrow)

размерами до 15 мм — без динамики роста в сравнении с ФГДС от 16.08.22 (рис. 8).

**Обсуждение.** Субэпителиальные (подслизистые, субмукозные) новообразования верхних отделов желудочно-кишечного тракта — редко встречающиеся образования, не имеющие характерных симптомов, сложны в диагностике. Известно, что основная стратегия лечения заключается в радикальном хирургическом удалении.

Однако приведенное клиническое наблюдение представляет типичную клинико-морфологическую картину забрюшинных опухолей. В нашем случае образование было выявлено случайно, благодаря стандартному обследованию по поводу органической диспепсии. К сожалению, низкая комплаентность пациентки к инвазивным диагностическим исследованиям позволила привлечь дорогостоящие высокотехнологичные методы — MCKT, ЭУС — только однократно, однако полученные результаты за истекший период позволили выбрать выжидательную тактику и избежать неоправданных оперативных вмешательств, интраоперационных осложнений, таких как перфорация стенки органа и кровотечение.

Заключение. Комплексная ультразвуковая диагностика с применением современных технологий (соноэластография, эндоскопическая ультразвуковая диагностика) является чувствительным и точным методом выявления подслизистых образований желудка. Совместное использование УЗИ с эндоскопией способствует более качественному проведению дифференциальной диагностики и выбору адекватной тактики лечения. Хотя нет единого мнения о рутинном наблюдении за ГИСО низкого риска, мы рекомендуем плановую ежегодную эндоскопию и КТ каждые 6 месяцев в течение 5 лет.

#### Сведения об авторах:

Варламова Наталья Николаевна — врач ультразвуковой диагностики, врач высшей категории, многопрофильная клиника «Скандинавия», отделение «Литейное»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55А; e-mail: topsi2005@mail.ru; ORCID 0000–0002–9905–4089;

Хамид Сергей Самерович — врач-эндоскопист, врач высшей категории, многопрофильная клиника «Скандинавия», отделение «Литейное»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55А; e-mail: khamid-ss@avaclinic.ru; ORCID 0000–0002–3548–5453;

Минькова Юлия Валерьевна — заведующая отделением ультразвуковой диагностики, врач высшей категории, многопрофильная клиника «Скандинавия», отделение «Литейное»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55А; e-mail: minkova-yv@avaclinic.ru; ORCID 0009–0008–3843–7044.

#### Information about the authors:

Natalia N. Varlamova — ultrasound diagnostics doctor, doctor of the highest category, multidisciplinary clinic «Scandinavia», department «Liteyny»; 191014, St. Petersburg, Liteyny ave., 55A; e-mail: topsi2005@mail.ru; ORCID 0000-0002-9905-4089;

Sergey S. Hamid — endoscopist, doctor of the highest category, multidisciplinary clinic «Scandinavia», department «Liteyny»; 191014, St. Petersburg, Liteyny ave., 55A; e-mail: khamid-ss@avaclinic.ru; ORCID 0000-0002-3548-5453;

- Yuliya V. Minkova Head of the Ultrasound Diagnostics Department, doctor of the highest category, multidisciplinary clinic «Scandinavia», department «Liteyny»; 191014, St. Petersburg, Liteyny ave., 55A; e-mail: minkova-yv@avaclinic.ru; ORCID 0009–0008–3843–7044.
- 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 — Н. Н. Варламова, С. С. Хамид, Ю. В. Минькова; сбор и математический анализ данных — Н. Н. Варламова, С. С. Хамид; подготовка рукописи — Н. Н. Варламова, С. С. Хамид, Ю. В. Минькова.
- Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: aided in the concept and plan of the study NNV, SSH, YuVM; provided collection and mathematical analysis of ata NNV, SSH; preparation of the manuscript NNV, SSH, YuVM.

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: 04.04.2024 Принята к печати/Accepted: 29.08.2024 Опубликована/Published: 29.09.2024

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- 1. Ponsaing L.G. Therapeutic procedures for submucosal tumors in the gastrointestinal tract // World J. Gastroenterol. 2007. No. 13. P. 3316-3322. doi: 10.3748/wjg.v13.i24.3316
- Nishida T., Kawai N. et al. Submucosal tumors comprehensive guide for the diagnosis and therapy of gastrointestinal submucosal tumors // Digestive Endoscopy. 2013. Vol.25. No.5. P. 479–489. doi: 10.1111/den.12149.
- 3. Polkowski M. Submucosal lesions // Gastrointestinal Endoscopy. 2005. Vol. 15, No.1. P. 33-54. doi: 10.1016/j.giec.2004.07.005.
- Хоменко В.С., Строцкий К.П. и др. Подслизистые новообразования желудка: клиника, диагностика, лечение (обзор литературы и собственные клинические наблюдения) // Хирургия детского возраста. 2020. С. 81–91. [Khomenko V.S., Strotsky K.P. et al. Submucosal neoplasms of the stomach: clinical picture, diagnosis, treatment (literature review and own clinical observations). Pediatric surgery, 2020, pp. 81–91 (In Russ.)]. doi: 10.15574/PS.2020.66.81.
- 5. Sato T. et al. Strategy of treatment of submucosal gastric tumours // Eur. J. Med. Res. 2005. Vol. 10. P. 292-295.
- Sung H., Ferlay J. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // Cancer Journal for Clinicians. 2021. Vol. 71, No. 3. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660.
- Абрамов М.Е., Тихомирова Т.Е. и др. Гастроинтестинальные стромальные опухоли: перспективы лекарственной терапии метастатических или неоперабельных форм // Фарматека. 2023. № 6–7. [Abramov M.E., Tikhomirova T.E. et al. Gastrointestinal stromal tumors: prospects for drug therapy of metastatic or inoperable forms. *Pharmateka*, 2023, No. 6–7 (In Russ.)]. doi: https://dx.doi.org/10.18565/pharmateca.2023.6-7.36-41.
- Бесова Н.С., Калинин А.Е. и др. Рак желудка. Клинические рекомендации. Современная онкология. 2021. Т. 23, № 4. С. 541–571. [Besova N.S., Kalinin A.E. and others. Stomach cancer. Clinical recommendations. Modern oncology, 2021, Vol. 23, No. 4, pp. 541–571 (In Russ.)]. doi: 10.26442/18151434.2021.4.201239.
- Chunnian Wang, Fusang Ye. et al. Case Report: Clinicopathological characteristics of patients with gastric cancer with features of a submucosal tumour // Front Oncol. 2023. Vol. 13. doi: 10.3389/fonc.2023.1059815.
- 10. Seifert E. Gastric and duodenal polypectomy // Theraupetic Endoscopy and Radiology of the gut. 1981. No. 6. P. 153-168.
- Arahoshi K. Preoperative diagnosis of gastrointestinal stromal tumor by endoscopic ultrasound-guided fine needle aspiration // World J. Gastroenterol. 2007. Vol. 14, No. 13. P. 2077–2082.
- Cameron S., Beham A., Schildhaus H.U. Current Standard and Future Perspectives in the Treatment of Gastrointestinal Stromal Tumors // Digestion. 2017. Vol. 95, No. 4. P. 262–268. doi: 10.1159/000455835.
- Nakano A., Nakamura M. et al. Endoscopic Characteristics, Risk Grade, and Prognostic Prediction in Gastrointestinal Stromal Tumors of the Small Bowel // Digestion, 2017. Vol. 95, No. 2. P. 122–131. doi: 10.1159/000454728.
- 14. Akahoshi K., Oya M., Koga T., Shiratsuchi Y. Current clinical management of gastrointestinal stromal tumor // World J. Gastroenterol. 2018. Vol 24, No. 26. P. 2806–2817. doi: 10.3748/wjg.v24.i26.2806.
- 15. Старков Ю.Г., Солодинина Е.Н., Новожилова А.В. Подслизистые новообразования желудочно-кишечного тракта в эндоскопической практике // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2010. № 2. С. 51–59. [Starkov Yu.G., Solodinina E.N., Novozhilova A.V. Submucosal neoplasms of the gastrointestinal tract in endoscopic practice. Surgery. Journal named after N.I. Pirogov, 2010, No. 2, pp. 51–59 (In Russ.)].
- Futagami K. Extracorporeal ultrasound is an effective diagnostic alternative to endoscopic ultrasound for gastric submucosal tumors // Scand Gastroenterol. 2001. P. 1222–1226.

17. Nesje L.B. Subepithelial masses of the gastrointestinal tract evaluated by endoscopic ultrasonography // Eur. J. Ultrasound. 2002. No. 15. P. 45–54.

- Rosch T. Accuracy of endoscopic ultrasonography in upper gastrointestinal submucosal lesions: a prospective multicenter study // Scand. J. Gastroenterol. 2002. No. 37. P. 856–862.
- 19. Zhang Q.L. Endoscopic us diagnosis in submucosal tumor of stomach // Endoscopy. 1998. Vol. 1. P. 69–71. doi: 10.1055/s-2007-1001475.
- 20. Курушкина Н.А., Мочалов В.А. Оценка точности эндосонографии в диагностике подслизистых новообразований верхних отделов желудочно-кишечного тракта // Онкология. Журнал им. П. А. Герцена. 2014. Т. 3, № 1. С. 56–55. [Kurushkina N.A., Mochalov V.A. Assessing the accuracy of endosonography in the diagnosis of submucosal neoplasms of the upper gastrointestinal tract. Oncology. Journal named after P. A. Herzen, 2014, Vol. 3, No. 1, pp. 56–55 (In Russ.)].
- 21. Lefort C., Gupta V. et al. Diagnosis of gastric submucosal tumors and estimation of malignant risk of GIST by endoscopic ultrasound. Comparison between B mode and contrast-harmonic mode // Dig Liver Dis. 2021, Vol. 53, No. 11. P. 1486–1491. doi: 10.1016/j.dld.2021.06.013.
- Stepanov Yu.M., Prolom N.V. et al. The role of endoscopic ultrasound investigation in the diagnosis of submucosal neoplasms of the stomach and duodenum (literature review and our clinical observations) // Gastroenterology. 2021. Vol. 55. P. 270–279. doi: 10.22141/2308-2097.55.4.2021.247922.
- 23. Iwamuro M., Mitsuhashi T. et al. Results of the interim analysis of a prospective, multicenter, observational study of small subepithelial lesions in the stomach // *Digestive Endoscopy*. 2024. Vol. 36, No. 3. P. 323–331. doi: 10.1111/den.14595.



## 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.

ПРИОБРЕСТИ КНИГУ ВЫ МОЖЕТЕ НА САЙТЕ БАЛТИЙСКОГО МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА https://bmoc-spb.ru/izdat/, тел.: (812) 956-92-55

# ЮБИЛЕЙ / ANNIVERSARY

## ПОСВЯЩЕНИЕ УЧИТЕЛЮ. К ЮБИЛЕЮ АКАДЕМИКА РАН НИКОЛАЯ АЛЕКСЕЕВИЧА БЕЛЯКОВА



Академик Н. А. Беляков — крупный ученый-патофизиолог, клинический физиолог, пульмонолог, инфекционист, педагог, организатор здравоохранения, историк и философ, изобретатель в области медицины — автор более 30 патентов медико-биологической тематики, руководитель научной школы в области патофизиологии, организации здравоохранения, эпидемиологии, инфекционных заболеваний. В числе его учеников свыше 20 докторов и 55 кандидатов наук.

Николай Алексеевич Беляков родился 28 июля 1949 г. в Севастополе. Вслед за отцом — морским офицером, ветераном Великой Отечественной войны, семья переезжала в разные города СССР. В 1972 г. Николай Алексеевич окончил Омский медицинский институт по специальности «Лечебное дело». Во время учебы увлекся хирургией, работал в студенческом научном обществе и был рекомендован в аспирантуру. В 1972–1975 гг.— аспирант 2-го Московского медицинского института им. Н. И. Пирогова (ныне — РНИМУ им. Н. И. Пирогова), где прошел подготовку под руководством профессора члена-корреспондента АМН СССР Г. Е. Островерхова.

С 1975 по 1980 г. прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией экспериментальной пульмонологии Всесоюзного НИИ пульмонологии МЗ СССР. С 1980 г.— заведующий отделом экспериментальной пульмонологии, с 1987 г.— заведующий кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики Санкт-Петербургской медицинской академии последипломного образования — СПбМАПО.

В 1976 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Гемодинамика, газообмен и метаболизм

печени при острой кровопотере», в 1985 г. — докторскую диссертацию на тему «Микроэмболия легких».

В 1995 - 2007гг. – ректор СПбМАПО. С 2007 г. — главный научный сотрудник и руководитель отдела социально-значимых инфекций НИИ скорой помощи им. И.И.Джанелидзе. В 2008-2015 гг. возглавлял Санкт-Петербургский Центр по профилактике и борьбе со СПИД и инфекционными заболеваниями и одновременно был руководителем лаборатории экологической инфектологии НИИ экспериментальной медицины СЗО РАМН. С 2015 г. — руководитель Северо-Западного окружного центра по профилактике и борьбе со СПИД Санкт-Петербургского НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера и заведующий кафедрой социально-значимых инфекций и фтизиопульмонологии Первого Санкт-Петербургского государственмедицинского университета им. НОГО акад. И.П. Павлова. Параллельно возглавил лабораторию хронических вирусных инфекций отдела экологической физиологии Института экспериментальной медицины. В настоящее время возглавляет кафедру, отдел и лабораторию, являясь научным лидером. В приоритете — социально-значимые инфекции: ВИЧ, гепатиты, туберкулез, коронавирусная инфекция и коморбидные состояния, изучение общих закономерностей эпидемических процессов; взаимодействие различных патогенов в формировании эпидемических зон ВИЧ, вирусных гепатитов и коронавирусной инфекции; роль медико-биологических, социальных и экономических компонентов в развитии эпидемий в России.

Член-корреспондент РАМН с 1999 г., академик РАМН с 2005 г., с 2013 г. – академик РАН,

Отделение медицинских наук. Заслуженный деятель науки РФ.

Разносторонние научные интересы и результаты многолетних исследований Н. А. Белякова обобщены в монографиях, руководствах для врачей, книгах «Изолированное легкое» (Л., 1981), «Микроэмболии легких» (Л., 1986), «Альтернативная медицина» (1998), «Немедикаментозные методы лечения», «Ожирение» и др. Он — автор трехтомного руководства по последипломному образованию и ряда других изданий. Последняя серия монографий 20-х гг. XXI века включает трилогию: «Начало эпидемии COVID-19» (2020), «Эволюция пандемии COVID-19» (2021), «Последствия пандемии COVID-19» (2022).

В число мировозренческих работ вошли книги «По следам мировых эпидемий» (2021), «Биоценоз человека и госпитальная среда» (2023), «Эпидемии и народонаселение России» (2024). В общей сложности им опубликовано более 30 монографий и руководств для врачей.

В течение 12 лет, когда Н.А.Беляков занимал должность ректора Санкт-Петербургской медицинской академии последипломного образования, под его руководством была создана экономическая и организационная модель института медицинского последипломного образования, проведены полная реконструкция и оснащение клиник СПбМАПО на уровне мировых стандартов. Благодаря деятельности ректора Н.А.Белякова СПбМАПО получила масштабный импульс для дальнейшего развития во всех направлениях деятельности: образовательной, клинической, научной и духовно-нравственной. Были открыты новые кафедры, лаборатории, научно-клинические центры, осуществлены реконструкция и капитальный ремонт зданий. Организовано издание пяти медицинских журналов. В тот период СПбМАПО была одним из самых крупных учебных учреждений по последипломному и послевузовскому образованию в России: 6 факультетов, 86 кафедр, 2 НИИ, 2000 сотрудников, 850 преподавателей, 300 докторов наук и профессоров, 10 членов РАН. Здесь в течение года проходили обучение около 25 тыс. врачей по всем медицинским специальностям и тысячи клинических ординаторов из разных стран.

Восстановление памяти о предшественниках в области медицины и медицинского образования привлекло внимание к истории отечественной медицины и милосердия. Были подготовлены и опубликованы книги «Императорский клинический институт Великой княгини Елены Павловны» (1998), «Ленинградский государственный институт для усовершенствования врачей» (1999), «Ученые Санкт-Петербургской медицинской академии последипломного образования» (тт. 1 и 2, 2007–2008), «Санкт-Петербургская медицинская академия последипломного образования на рубеже XX–XXI веков» (2000).

В перечень исторических изданий, подготовленных с участием Н. А. Белякова, вошли книги «Великая княгиня Елена Павловна» (2011), «Сестры милосердия России» (2005, 2014), «Благотворительность и милосердие в России» (2003).

Один из организаторов службы по ВИЧ-инфекции в Санкт-Петербурге. Восемь лет Н.А. Беляков руководил Центром по профилактике и борьбе со СПИД. За это время Центр стал одним из лучших и эффективных среди подобных клинических и научных учреждений в стране и Европе. Под его эгидой началась серия крупных международных исследований по ВИЧ-инфекции, были опубликованы труды «Вирус иммунодефицита человека и медицина», «Медико-социальная помощь людям, живущим с ВИЧ», «ВИЧ-инфекция и коморбидные состояния», «Женщина, ребенок и ВИЧ» (2008-2015). Н.А.Беляков — организатор и участник международных конгрессов «ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии» (2003-2016), симпозиумов «Фармакоэкономика и ВИЧ-инфекция» (2013-2020), «Поражение центральной нервной системы при ВИЧ-инфекции» (2013-2021), основатель и главный редактор научно-практического журнала «ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии».

В разные годы — главный специалист по ВИЧинфекции Комитета по здравоохранению Правительства Санкт-Петербурга и СЗФО, член Президиума Общественной палаты Санкт-Петербурга, председатель медицинской комиссии Совета, председатель Координационного совета Северо-Западного федерального округа по последипломному обучению врачей и др. За научную, медицинскую и общественную деятельность Н. А. Беляков отмечен Почетным знаком Общественной палаты «Признательность Санкт-Петербурга», Лауреат Премии Правительства Санкт-Петербурга в области науки и образования.

Николая Алексеевича Белякова неоднократно отмечали грамотами Минздрава, общественных и научных содружеств. Награжден орденом Почета. Отмечен юбилейной медалью «300 лет Российской академии наук», ведомственными грамотами по линии РАМН и Минздрава, наградами Патофизиологического общества им. В.В.Пашутина, Американского физиологического общества и др.

За заслуги в православном движении и восстановлении храмов, в том числе Храма Святой Равноапостольной Царицы Елены, награжден Русской православной церковью орденами Преподобного Сергия Радонежского и Преподобного Андрея Рублёва.

Друзья, ученики и научная общественность поздравляют Николая Алексеевича — ученого, врача, исследователя, учителя, издателя и созидателя — с юбилеем и желают благополучия, здоровья и успехов в продвижении новых идей!

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