

ISSN 2079-5343

Научно-практический рецензируемый журнал  
**ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ**

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

**УЗИ**

Точечная эластография  
сдвиговых волн  
в оценке очаговой  
патологии печени

**МРТ**

Радиогеномика  
нейрогенных опухолей  
у детей

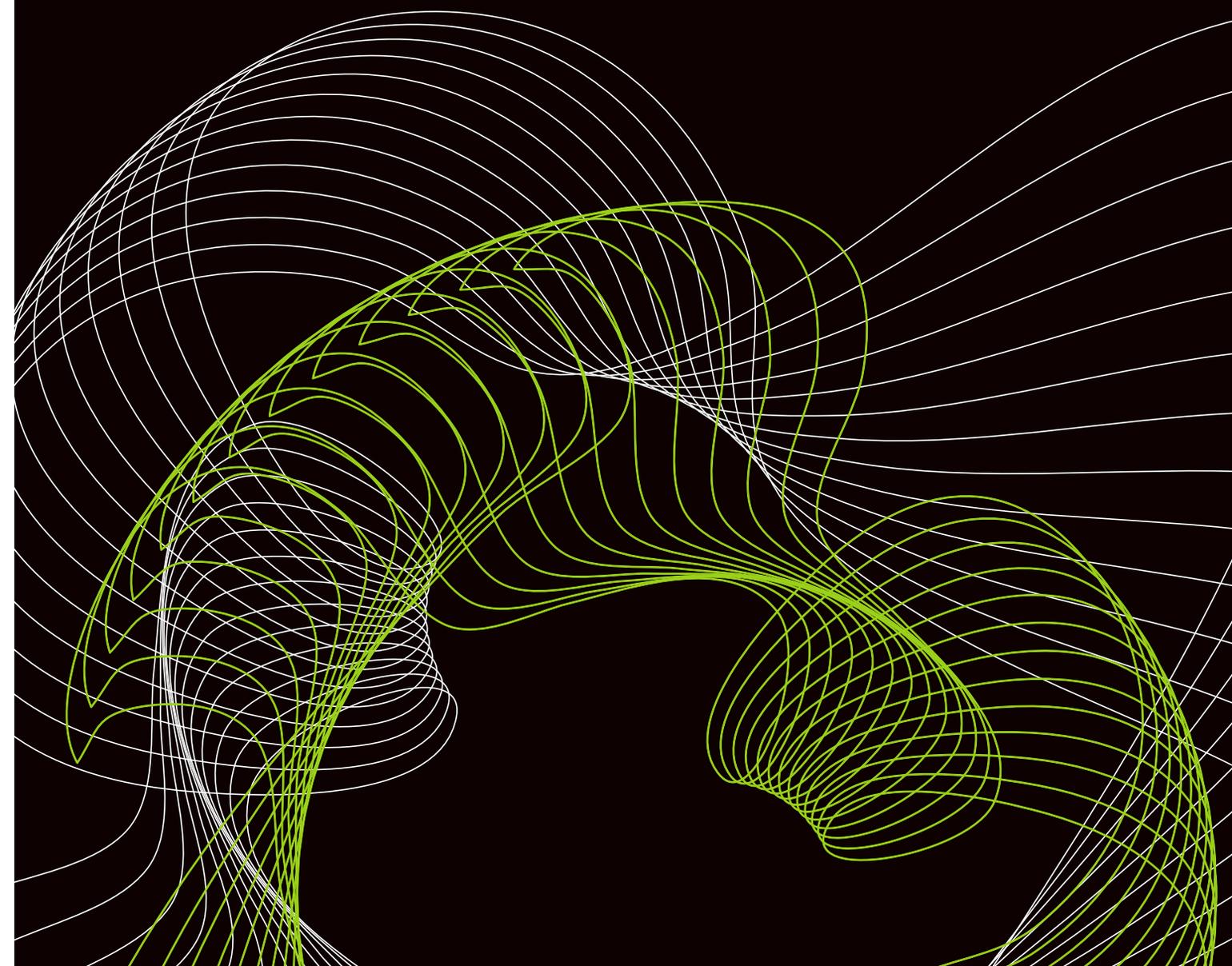
**ПЭТ/КТ**

Диагностика аденом  
околощитовидных  
желез

№

2024 г.

**2**  
(15)



Научно-практический рецензируемый журнал

# ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ

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

**Учредители:** Санкт-Петербургское радиологическое общество,  
Санкт-Петербург, Россия  
Институт мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН,  
Санкт-Петербург, Россия  
Балтийский медицинский образовательный центр,  
Санкт-Петербург, Россия

№ 2 (15)  
2024

## 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](http://www.elibrary.ru)

**Издатель:** Балтийский медицинский образовательный центр  
**Почтовый адрес журнала:** 195176, ул. Большая Пороховская, д. 37,  
к. 1, лит. А, кв. 201, Санкт-Петербург, Россия, тел.: +7 921 956-92-55  
<http://radiag.bmoc-spb.ru/jour>  
e-mail: [ooo.bmoc@mail.ru](mailto:ooo.bmoc@mail.ru)

**Объединенный каталог**  
**«Урал Пресс»**  
**(Пресса России) 014023**

## Редколлегия журнала

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

scientific peer-reviewed journal

# DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

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

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

N. P. Bechtereva Institute of the Human

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

Baltic Medical Educational Center, St. Petersburg, Russia

No. **2**<sup>(15)</sup>  
2024

## 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 these database of the Russian Science Citation Index (RSCI), Global Health, Google Scholar, abstract journal and database VINITI

**Publisher:** Baltic Medical Educational Center

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

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

e-mail: [ooo.bmoc@mail.ru](mailto:ooo.bmoc@mail.ru)

**Union Catalogue**

«Ural Press»

**(The Russian Press) 014023**

**Editorial Board**

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА ВЕСТИБУЛОПАТИЙ: ОБЗОР ..... 7  
*А. С. Жорина, В. А. Воронов, Д. Ю. Демиденко, О. М. Жорина*

ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ОШИБОК В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ: ОБЗОР .... 19  
*В. А. Нечаев, А. Ю. Васильев*

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАДИОГЕНОМИКА НЕЙРОГЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ У ДЕТЕЙ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ..... 25  
*Г. В. Терещенко, В. А. Лопатина, Л. В. Земцова, Д. М. Коновалов, Н. А. Андреева, Т. В. Шаманская,  
 Г. А. Новичкова, Д. Ю. Качанов, А. Е. Друй*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЦИДИВИРУЮЩЕЙ  
 ГЛИАЛЬНОЙ ОПУХОЛИ И ЛУЧЕВОГО НЕКРОЗА МЕТОДОМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ  
 ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
 ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ..... 35  
*А. С. Шершевер, Е. А. Дайнеко, С. Н. Соловьева, Е. Е. Сурова, Е. Ф. Аскарлова*

СРАВНЕНИЕ ПЭТ/КТ С <sup>11</sup>С-МЕТИОНИНОМ И <sup>11</sup>С-ХОЛИНОМ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
 АДЕНОМ ОКОЛОЩИТОВИДНЫХ ЖЕЛЕЗ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ..... 45  
*К. А. Погосян, Т. Л. Каронова, Д. В. Рыжкова, Л. Г. Яневская, М. Е. Борискова, Д. В. Зуйкевич,  
 О. В. Юдина, У. А. Цой, Е. Н. Гринева*

ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ В ДИФФЕРЕНЦИРОВКЕ ОПУХОЛЕВЫХ  
 И НЕОПУХОЛЕВЫХ КИСТОЗНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ:  
 ВОЗМОЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
 И РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕГМЕНТАЦИИ ..... 53  
*А. А. Коваленко, В. С. Петровичев, О. В. Крючкова, З. А. Коваленко, Д. П. Ананьев,  
 Д. А. Матвеев, Р. В. Петров*

ТОЧЕЧНАЯ ЭЛАСТОГРАФИЯ СДВИГОВЫХ ВОЛН В ОЦЕНКЕ ОЧАГОВОЙ ПАТОЛОГИИ ПЕЧЕНИ:  
 ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ..... 65  
*К. В. Козубова, Е. А. Бусько, С. С. Багненко, П. В. Балахнин, А. С. Шмелев, А. Б. Гончарова, Е. В. Костромина,  
 Р. А. Кадырлеев, Э. С. Любимская, И. А. Буровик*

ВОЗМОЖНОСТИ МСКТ И МРТ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЛЕЧЕБНОЙ ТАКТИКИ ПРИ МЕТАСТАЗАХ  
 КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА В ПЕЧЕНЬ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ..... 77  
*Л. С. Гусейнова, Д. Ю. Каннер, А. О. Швейкин, М. В. Лившиц, М. В. Москалец, Д. О. Воронов, Р. Ф. Бахтиозин*

СРАВНЕНИЕ ОДНОДНЕВНОЙ И ТРЕХДНЕВНОЙ ДИЕТЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К КТ-КОЛОНОГРАФИИ:  
 ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ..... 85  
*А. И. Мещеряков, Н. Ю. Гурова, И. Н. Киева, О. Г. Пугачева, Д. В. Дородных, Л. И. Макарова*

ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРАСТ-УСИЛЕННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
 В РАННЕЙ ДИАГНОСТИКЕ КЛИНИЧЕСКИ ЗНАЧИМОГО АНГИОНЕФРОСКЛЕРОЗА  
 У БОЛЬНЫХ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2-го ТИПА: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ..... 97  
*О. А. Горбатенко, А. В. Борсуков*

## КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

ДИНАМИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ПСЕВДОМИКСОМЫ БРЮШИНЫ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ ..... 112  
*Н. Р. Обединская, О. Б. Богомякова, Д. Ю. Зубарева, А. А. Тулунов*

ЛЕЙОМИОМА МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ ..... 118  
*А. С. Третьяков, Э. Н. Шелкопляс, М. В. Артемов*

## CONTENTS

## LECTURES AND REVIEWS

RADIOLOGY OF VESTIBULOPATHIES: A REVIEW .....	7
<i>A. S. Zhorina, V. A. Voronov, D. Yu. Demidenko, O. M. Zhorina</i>	
APPROACHES TO THE CLASSIFICATION OF ERRORS IN RADIOLOGY: A REVIEW .....	19
<i>V. A. Nechaev, A. Yu. Vasil'ev</i>	

## ORIGINAL RESEARCH

RADIOGENOMICS OF NEUROGENIC TUMORS IN CHILDREN: A RETROSPECTIVE STUDY .....	25
<i>G. V. Tereshchenko, V. A. Lopatina, Lu. V. Zemtsova, D. M. Konovalov, N. A. Andreeva, T. V. Shamanskaya, G. A. Novichkova, D. Yu. Kachanov, A. E. Druy</i>	
DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSTIC OF A RECURRENT GLIAL TUMOR FROM RADIATION NECROSIS BY CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MRI IMAGES .....	35
<i>S. N. Solovieva, A. S. Shershever, E. A. Daineko, E. E. Surova, E. F. Askarova</i>	
COMPARISON OF <sup>11</sup> C-METHIONINE AND <sup>11</sup> C-CHOLINE PET/CT FOR PARATHYROID VISUALISATION: A PROSPECTIVE STUDY .....	45
<i>K. A. Pogosian, T. L. Karonova, D. V. Ryzhkova, L. G. Yanevskaya, M. E. Boriskova, D. V. Zuykevich, O. V. Yudina, U. A. Tsoy, E. N. Grineva</i>	
TEXTURE ANALYSIS OF CONTRAST ENHANCEMENT CT IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF TUMOR AND TUMOR-LIKE CYSTIC LESIONS OF THE PANCREAS: POSSIBILITIES IN TEXTURE PREPROCESSING AND VARIOUS SEGMENTATION PARAMETERS .....	53
<i>A. A. Kovalenko, V. S. Petrovichev, O. V. Kryuchkova, Z. A. Kovalenko, D. P. Ananov, D. A. Matveev, R. V. Petrov</i>	
ACOUSTIC RADIATION FORCE IMPULSE ELASTOGRAPHY IN THE EVALUATION OF FOCAL LIVER PATHOLOGY: A PROSPECTIVE STUDY .....	65
<i>K. V. Kozubova, E. A. Busko, S. S. Bagnenko, P. V. Balakhnin, A. S. Shmelev, A. B. Goncharova, E. V. Kostromina, R. A. Kadyrleev, E. S. Lyubimskaya, I. A. Burovick</i>	
THE POSSIBILITIES OF CT AND MRI IN DESIGN OF TREATMENT FOR COLORECTAL LIVER METASTASES: A PROSPECTIVE STUDY .....	77
<i>Ly. S. Huseynova, D. Yu. Kanner, A. O. Shveikin, M. V. Livshits, M. V. Moskalets, D. O. Voronov, R. F. Bakhtiozin</i>	
THE COMPARISON OF THE EFFICACY AND TOLERABILITY OF A ONE-DAY AND A THREE-DAY DIET AT CT COLONOGRAPHY: A PROSPECTIVE STUDY .....	85
<i>A. I. Meshcheryakov, N. Yu. Gurova, I. N. Kieva, O. G. Pugacheva, D. V. Dorodnykh, Ly. I. Makarova</i>	
POSSIBILITIES OF CONTRAST-ENHANCED ULTRASOUND IN THE EARLY DIAGNOSIS OF CLINICALLY SIGNIFICANT ANGIONEPHROSCLEROSIS IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS: A PROSPECTIVE STUDY .....	97
<i>O. A. Gorbatenko, A. V. Borsukov</i>	
<b>CLINICAL CASE</b>	
DYNAMIC OBSERVATION OF PSEUDOMYXOMA PERITONEI: A CLINICAL CASE .....	112
<i>N. R. Obedinskaya, O. B. Bogomyakova, D. Yu. Zubareva, A. A. Tulupov</i>	
LEIOMYOMA OF BLADDER: A CLINICAL CASE .....	118
<i>A. A. Tretyakov, E. N. Shelkopljas, M. V. Artemov</i>	

## ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ / LECTURES AND REVIEWS

УДК 616.833.185-08-039:616-073.75

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-7-18>

## ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА ВЕСТИБУЛОПАТИЙ: ОБЗОР

<sup>1</sup>А. С. Жорина<sup>✉\*</sup>, <sup>2</sup>В. А. Воронов<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Д. Ю. Демиденко<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>О. М. Жорина<sup>✉</sup><sup>1</sup>Клиника «Скандинавия», Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Вестибулопатия — нарушение функции вестибулярного анализатора — это симптомокомплекс, который может сопровождать большое количество патологических состояний или быть конституциональной особенностью и проявляется внезапно возникающим или постоянным головокружением и неустойчивостью, шаткостью при ходьбе.

**ЦЕЛЬ:** Продемонстрировать важность мультимодального подхода в лучевой диагностике у пациентов с вестибулярными нарушениями и осветить типичную семиотику доступных оценке методами визуализации причин возникновения головокружения.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Описание изменений в данной работе основывается на рутинном обследовании пациентов, направленных на КТ и МРТ с жалобами на головокружение, нередко в сочетании со снижением слуха.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** В данной статье описаны возможности компьютерной томографии височных костей и магнитно-резонансной томографии преддверно-улитковых нервов и внутреннего уха в выявлении периферических причин головокружения.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Головокружение считается многофакторным явлением, часто симптомы имеют непостоянный, флуктуирующий характер, неоднозначная клиническая картина затрудняет постановку диагноза исключительно на основании клинических данных, что и обуславливает необходимость комплексного подхода к обследованию пациентов с жалобами на нарушение равновесия. В данной статье представлены ключевые анатомические особенности, патологические состояния и соответствующие им диагностические находки.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Методы лучевой диагностики являются неотъемлемой частью комплексного обследования пациентов с вестибулярными нарушениями и влияют на дальнейшую тактику ведения пациента.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вестибулопатия, головокружение, МРТ преддверно-улитковых нервов, МРТ внутреннего уха с отсроченным контрастированием, МСКТ височных костей

\*Для корреспонденции: Жорина Анна Сергеевна, e-mail: zhorina.anna@gmail.com.

Для цитирования: Жорина А.С., Воронов В.А., Демиденко Д.Ю., Жорина О.М. Лучевая диагностика вестибулопатий: обзор // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 2. С. 7–18, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-7-18>.

## RADIOLOGY OF VESTIBULOPATHIES: A REVIEW

<sup>1</sup>Anna S. Zhorina<sup>✉\*</sup>, <sup>2</sup>Victor A. Voronov<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Diana Yu. Demidenko<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Olga M. Zhorina<sup>✉</sup><sup>1</sup>«Scandinavia» clinic, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup>North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** The term vestibulopathy describes a dysfunction of the vestibular portion of the inner ear that manifests as a sporadic or constant dizziness and unsteadiness when walking. The symptoms of vestibulopathy may be caused by a large number of reasons and can accompany a variety of pathological conditions or be an innate trait.

**OBJECTIVE:** To demonstrate the importance of a multimodal approach in radiology of vestibular disorders and to highlight the typical semiotics of the causes of dizziness that can be assessed by imaging methods.

**MATERIALS AND METHODS:** The description of findings in this work is based on a routine examination of patients referred for CT and MRI with complaints of dizziness, often in combination with hearing loss.

**RESULTS:** This paper describes the role of CT and MRI in diagnosing various causes of vestibulopathy.

**DISCUSSION:** Vertigo is a multifactorial condition often with fluctuating symptoms, the ambiguous clinical presentation makes it difficult to make a diagnosis solely on the basis of clinical data, which necessitates the need for an integrated approach to the examination of patients with balance issues. This article outlines key anatomical features, pathological conditions and the corresponding diagnostic findings.

**CONCLUSION:** CT and MRI are an integral part of a comprehensive examination of patients with vestibular disorders and impact further patient management tactics.

**KEYWORDS:** vestibulopathy, MRI of the cochleovestibular nerve and inner ear, temporal bone CT

\*For correspondence: Anna S. Zhorina, e-mail: zhorina.anna@gmail.com.

**For citation:** Zhorina A.S., Voronov V.A., Demidenko D.Yu., Zhorina O.M. Radiology of vestibulopathies: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 7–18, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-7-18>.

**Введение.** Приступы головокружения встречаются у пациентов любого возраста, согласно ряду эпидемиологических исследований. Наиболее часто причиной головокружения является поражение внутреннего уха (периферического отдела вестибулярного анализатора), включая такие периферические варианты вестибулярной дисфункции, как доброкачественное позиционное пароксизмальное головокружение, вестибулярный нейронит, болезнь Меньера. Эти и другие негнойные заболевания внутреннего уха (лабиринта) часто приводят к ограничению или полной утрате трудоспособности и занимают одно из ведущих мест в структуре ЛОР-патологии. Обращаемость к ЛОР-врачам с такой патологией достигает 4%, к неврологам — 10%. Клинически негнойные заболевания внутреннего уха проявляются вестибулярными нарушениями (головокружение, нарушение равновесия и координации), тугоухостью и шумом в ушах. Клиническая симптоматика заболеваний внутреннего уха обусловлена тем, что в лабиринте находятся рецепторы слухового (улитка) и вестибулярного (преддверие и полукружные каналы) анализаторов, и при различных поражениях внутреннего уха они в той или иной степени задействованы в патологическом процессе [1–3].

Внутреннее ухо (лабиринт) заключено в каменистую часть височной кости и состоит из системы костных каналов, в которых находится перепончатый лабиринт, заполненный эндолимфой, с наличием между двумя лабиринтами узкого пространства, заполненного перилимфой. Перилимфа близка по составу к ликвору и плазме крови, а эндолимфа — к внутриклеточной жидкости. Мельчайшие структуры внутреннего уха требуют детальной оценки методами визуализации, для чего необходимо использование максимально возможного пространственного разрешения. Различают три отдела костного лабиринта: улитку, преддверие и полукружные каналы [4].

Примеры нормальной структуры внутреннего уха представлены на рис. 1–4.

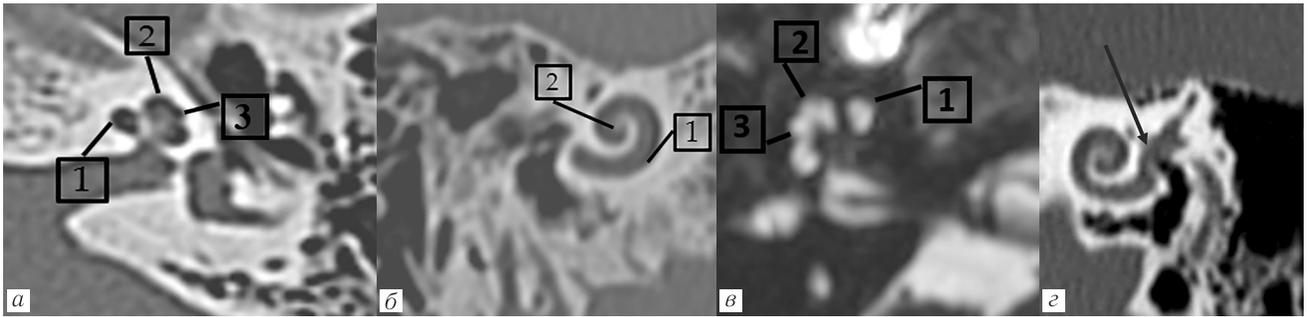
**Цель.** Применение методов визуализации у пациентов с вестибулярными нарушениями может быть направлено как на оценку центрального отдела вестибулярного анализатора, для исключения ише-

мических изменений, демиелинизирующих заболеваний и опухолевых процессов, так и для прицельного изучения периферического отдела вестибулярного анализатора, исключения патологии преддверно-улитковых нервов и внутреннего уха: новообразований, нейроваскулярного конфликта, дефектов в костной капсуле лабиринта, эндолимфатического гидрoпса. Целью данной статьи является демонстрация возможностей оценки внутреннего уха методами КТ и МРТ, описание лучевой семиотики в норме и при патологических состояниях, связанных с головокружением.

**Материалы и методы.** Приведенные в статье изображения были получены с использованием мультиспирального компьютерного томографа GE Healthcare Optima CT660 128 срезов и магнитно-резонансного томографа GE Discovery MR750W 3.0 T. Аксиальные КТ-изображения получали с толщиной среза 0,6 мм, с уменьшенным FOV отдельно для каждого уха, с последующим построением мультипланарных реконструкций. Основой обследования внутреннего уха и преддверно-улитковых нервов на МРТ является получение сильно взвешенных T2-изображений с маленькой толщиной среза (0,4–0,8 мм) для оценки мелких структур внутреннего уха, заполненных жидкостью. Такие импульсные последовательности, как FIESTA, обладают цистернографическим эффектом, демонстрируя очень высокий контраст между ликвором и окружающими структурами (нервами, сосудами и костями). Полученные 3D-изображения можно переформатировать в произвольной ориентации благодаря субмиллиметровому изотропному разрешению. В протокол включали следующие импульсные последовательности: 3D FLAIR, 3D T1W, при необходимости — также после внутривенного контрастного усиления.

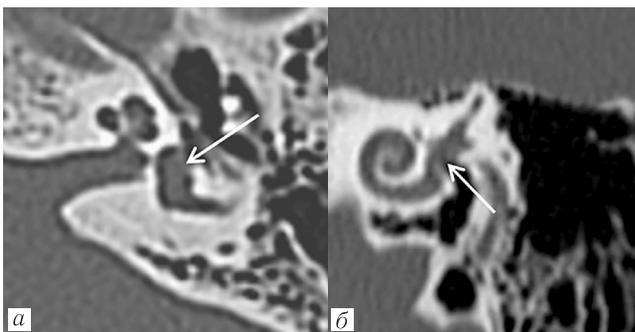
**Результаты.** Специализированные протоколы КТ- и МРТ-исследований с высоким разрешением позволяют выявить структурные изменения внутреннего уха, а также анатомические варианты, ассоциированные с возникновением головокружения, ниже подробно описана их типичная лучевая картина.

**Вестибулярная пароксизмия (ВП)** — это клинический синдром, проявляющийся кратковременными



**Рис. 1.** МСКТ внутреннего уха, улитка: базальный (1), средний (3) и апикальный (2) завитки в аксиальной (а) и косой корональной (б) плоскости; в — то же, данные МРТ (FIESTA ИП), обратите внимание на визуализацию тонких межжелстничных перегородок и костных спиральных пластинок в структуре улитки; г — МСКТ, косая корональная плоскость демонстрирует нормальные  $2\frac{3}{4}$  завитка улитки, стрелкой указано преддверие

**Fig. 1.** CT of the inner ear, cochlea: basal (1), middle (3) and apical (2) turns show in axial (a) and oblique coronal (б) planes; в — same, MRI data (FIESTA), note the thin interscalar septa seen in the cochlea; г — CT, axial oblique plane demonstrating the normal  $2\frac{3}{4}$  cochlear turns, arrow indicates the vestibule

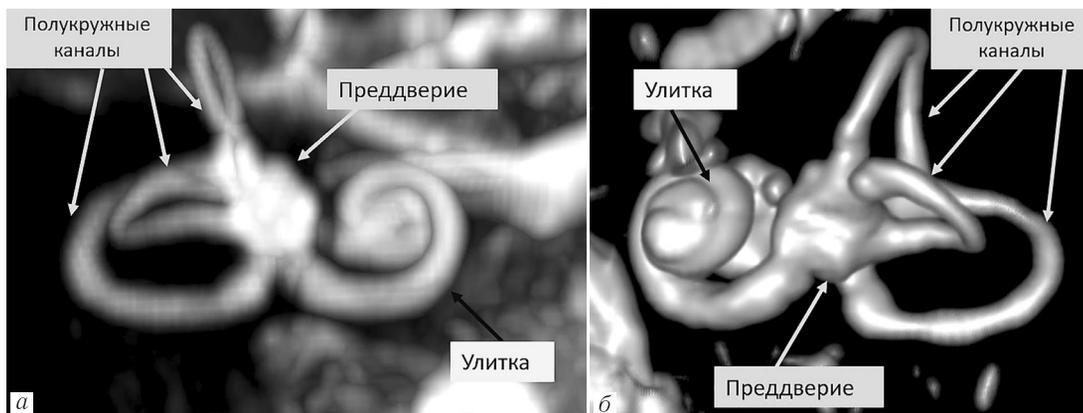


**Рис. 2.** Преддверие и полукружные каналы содержат вестибулярный аппарат, представленный в преддверии мешочком и маточкой (отолитовые органы), МСКТ: преддверие обозначено стрелкой: а — в аксиальной плоскости; б — в косой корональной плоскости, отделено от барабанной полости подножной пластиной стремени в овальном окне

**Fig. 2.** The vestibule and semicircular canals contain the vestibular system, in the vestibule there saccule and utricle (the otolith organs). CT: a — vestibule indicated by an arrow in the axial; б — coronal plane, it is divided from the tympanic cavity by the stapes footplate in the oval window

Диагноз может быть установлен на основании симптоматики в соответствии с критериями, выработанными обществом Барани: не менее 10 приступов спонтанного головокружения, длительностью менее 1 минуты, положительный эффект терапии карбамазепином при исключении других причин. Клиническая картина ВП может включать не только кратковременные (обычно несколько секунд) приступы головокружения, которое часто провоцируется поворотом головы, но и небольшое одностороннее снижение слуха, а также субъективный шум в ухе. Вестибулокохлеарный нерв на довольно протяженном участке (10–15 мм) в месте выхода из ствола мозга покрыт тонким «центральным» миелином и лишен шванновской оболочки, что делает его более подверженным компрессионным и пульсационным воздействиям на этом уровне [3, 5].

Диагностика ВП основана в первую очередь на клинических признаках; данные инструментальных методов исследования позволяют выявить сдавление преддверно-улиткового нерва расположенным поблизости сосудом (как правило — передней нижней мозжечко-

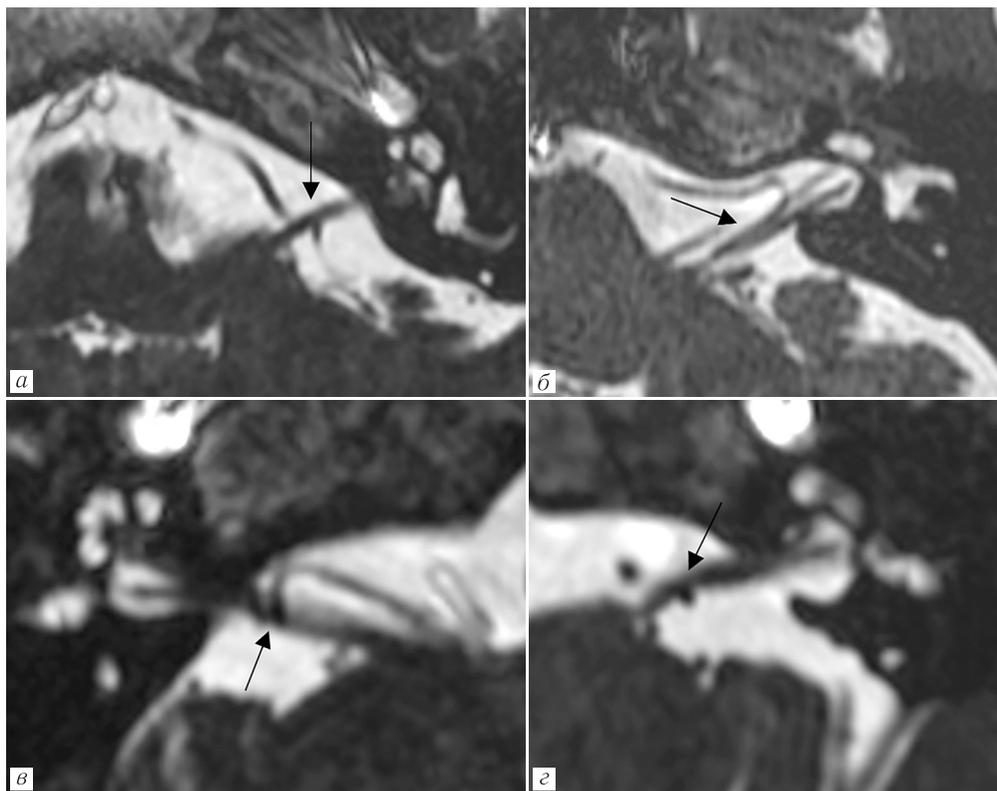


**Рис. 3.** МРТ-изображения внутреннего уха, ИП FIESTA: а — проекция максимальной интенсивности (MIP); б — 3D-изображение

**Fig. 3.** MRI of the inner ear, FIESTA: а — maximum intensity projection (MIP); б — 3D-image

приступами головокружения, часто ассоциированными с поворотом головы и обусловленной нейроваскулярной компрессией преддверно-улиткового нерва.

вой артерией), опухолью, аневризмой и исключить другие поражения периферического отдела вестибулярного анализатора. Сильно T2-взвешенные



**Рис. 4.** Взаимодействие сосудов с VIII парой черепных нервов (по A. Sirikci): *a* — ограниченная, точечная компрессия нерва в поперечном направлении; *б* — продольная компрессия, ход сосуда при этом параллелен нерву; *в* — нерв компримирует сосудистая петля вокруг него; *г* — деформация контура нерва за счет вдавливания в него сосуда

**Fig. 4.** Interaction between VIII cranial nerve and a vessel (по A. Sirikci): *a* — point compression; *б* — longitudinal compression, the nerve and the vessel are parallel to each other; *в* — loop compression; *г* — indentation in the nerve

изображения с тонкими срезами являются оптимальными для визуализации нейроваскулярного контакта (см. рис. 4). Поскольку клиническая симптоматика вестибулярной пароксизмии весьма специфична, методы визуализации у данной группы пациентов применяются в основном с целью уточнения локализации зоны компрессии и дифференциальной диагностики и исключения других патологических процессов, в частности, дегисценции полукружного канала [3, 5].

**Синдром Минора** — это клиническое проявление дегисценции (костного дефекта) в стенке переднего (верхнего) полукружного канала, в основе которого лежит феномен третьего окна (наличие дополнительного костного «окна» в капсуле лабиринта, кроме имеющихся в норме круглого и овального окон), сопровождающийся нарушением биомеханики внутреннего уха за счет того, что эндолимфа может приводиться в движение звуковыми раздражителями и перепадами давления. Клинически данное состояние проявляется слуховыми и вестибулярными нарушениями, такими как головокружение, вызываемое изменениями давления (симптом Hennebert) или громкими звуками (феномен Туллио), тугоухость (в результате нарушения звукопроводения во внутреннем ухе), гиперacusis, аутофония, осциллопия, хроническое нарушение равновесия [6, 7].

МСКТ височных костей с тонкими срезами (менее 1 мм) — оптимальный метод для выявления костно-

го дефекта, наиболее частой его локализацией является область дугообразного возвышения верхнего (переднего) полукружного канала, для оценки данной области хорошо подходят реконструкции в коронарной плоскости, однако для более достоверной оценки костных дефектов необходимо построение реконструкций в плоскости полукружного канала (рис. 5).

**Вестибулярная шваннома (невринома слухового нерва).** Вестибулярные шванномы встречаются довольно часто и составляют 8% всех внутричерепных образований, до 30% опухолей задней черепной ямки и 85% опухолей мосто-мозжечкового угла. Пациенты наиболее часто предъявляют жалобы на снижение слуха и головокружение [6, 8]. Для классификации опухолей в зависимости от размера применяют классификации Коос и Самии (рис. 6–8).

#### **Классификация Коос**

I стадия: опухоль не выходит за пределы внутреннего слухового прохода, диаметр составляет 1–10 мм.

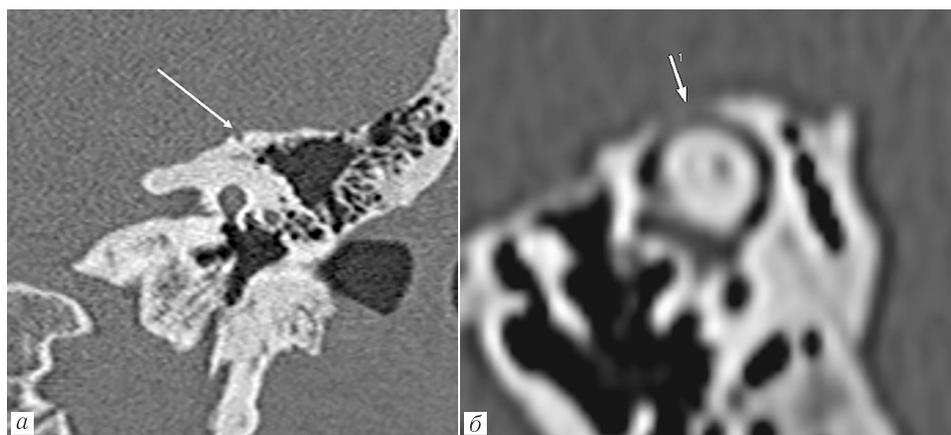
II стадия: опухоль распространяется в мостомозжечковый угол, ее диаметр составляет 11–20 мм.

III стадия: опухоль достигает ствола головного мозга без его компрессии, диаметр 21–30 мм.

IV стадия: опухоль вызывает компрессию ствола головного мозга, ее диаметр более 30 мм.

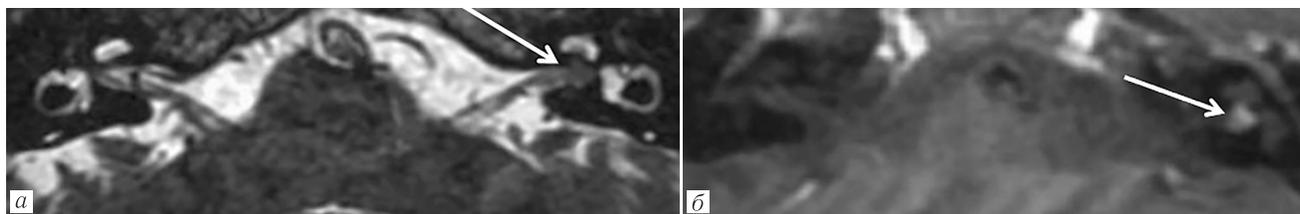
#### **Классификация М. Самии**

T1 — интрамеатальная опухоль.



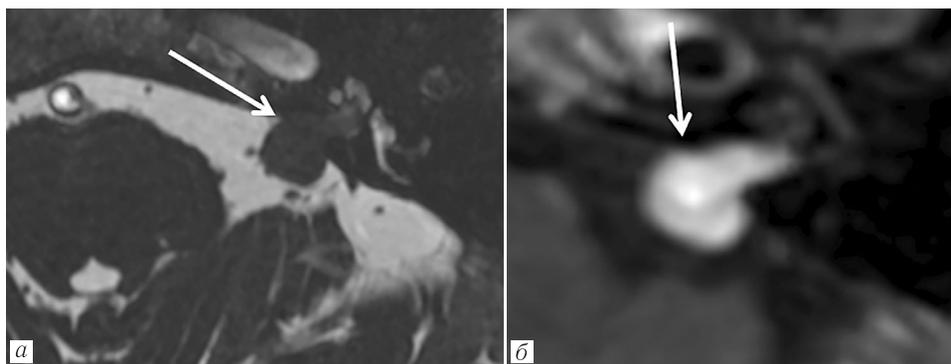
**Рис. 5.** Синдром Минора: *a* — МСКТ в корональной плоскости, стрелкой указан костный дефект в стенке переднего (верхнего) полукружного канала; *б* — реконструкция в плоскости переднего (верхнего) полукружного канала демонстрирует всю протяженность дефекта в его костной стенке (стрелка)

**Fig. 5.** Superior semicircular canal dehiscence syndrome: *a* — CT, coronal plane, arrow indicates a bony defect in the superior semicircular canal (SSC) wall; *б* — multiplanar reformation, oblique coronal plane shows the defect in the arcuate eminence (bony covering) of the SSC (arrow)



**Рис. 6.** Вестибулярная шваннома 1 ст. по Коос: *a* — изображение в аксиальной плоскости (ИП FIESTA), стрелкой указана опухоль во внутреннем слуховом проходе; *б* — T1-ВИ после внутривенного контрастирования демонстрирует активное, равномерное накопление контрастного препарата опухолью (стрелка)

**Fig. 6.** Vestibular schwannoma 1 grade: *a* — axial FIESTA image, small intracanalicular tumor (arrow); *б* — post-contrast T1 image shows intense enhancement of the tumor



**Рис. 7.** Вестибулярная шваннома 2 ст. по Коос: *a* — изображение в аксиальной плоскости (ИП FIESTA), стрелкой указана опухоль, распространяющаяся из внутреннего слухового прохода в мостомозжечковую цистерну; *б* — T1-ВИ после внутривенного контрастирования демонстрирует активное, равномерное накопление контрастного препарата опухолью (стрелка)

**Fig. 7.** Vestibular schwannoma Koos grade 2: *a* — axial FIESTA image, small tumor with protrusion into the cerebellopontine cistern (arrow); *б* — post-contrast T1 image shows intense, uniform enhancement of the tumor

T2 — интра-экстраматальная опухоль.

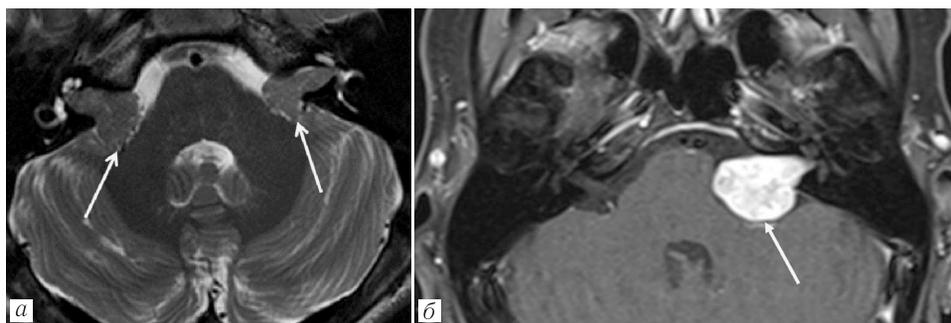
T3a — опухоль заполняет мостомозжечковую цистерну.

T3b — опухоль распространяется до ствола головного мозга.

T4a — опухоль вызывает компрессию ствола головного мозга.

T4b — опухоль грубо деформирует ствол мозга и IV желудочек.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) до и после контрастного усиления обеспечивает максимальную диагностическую информацию о локализации, размерах, структуре опухоли и ее отношении к окружающим структурам. При МРТ опухоли, как



**Рис. 8.** *a* — T2-взвешенное изображение, стрелками указаны двусторонние вестибулярные шванномы (3 ст. по Koos) у пациента с нейрофиброматозом 2 типа; *б* — постконтрастное T1-ВИ, опухоль 4 ст. по Koos, компрессирующая среднюю ножку мозжечка (стрелка)

**Fig. 8.** Bilateral vestibular schwannomas Koos grade 3 in a boy with type 2 neurofibromatosis: *a* — axial FIESTA image, bilateral tumors occupying the cerebellopontine cistern with no brainstem displacement (arrows); *б* — post-contrast T1 image shows large Koos grade 4 tumor with brainstem and cranial nerve displacement

правило, изо- или слабогипоинтенсивны по сравнению с веществом мозга на T2-ВИ, в больших опухолях часто визуализируются мелкие кисты, характерным является интенсивное накопление контрастного препарата после внутривенного усиления [6, 8].

Значительно реже встречаются интралабиринтные опухоли, которые исходят из шванновских клеток, окружающих терминальные волокна вестибулярного и кохлеарного нервов внутри мембранозного лабиринта внутреннего уха. Клинически такие образования могут имитировать болезнь Меньера, сопровождаясь приступами головокружения, флуктуирующим шумом, сенсоневральной тугоухостью и заложенностью уха. В зависимости от локализации выделяют следующие варианты интралабиринтных опухолей: интракохлеарная, интравестибулярная, интравестибулярно-интракохлеарная, трансмодиолярная, трансмакулярная [9] (рис. 9–13).

мешка — это медленно растущие деструктивные образования задних отделов височной кости, как правило односторонние, но в рамках болезни фон Гиппель-Линдау описаны и двусторонние варианты. Клинически они, как правило, проявляются нейросенсорной тугоухостью, также часто наблюдаются субъективный ушной шум, головокружение, может иметь место парез лицевого нерва, меньероподобные симптомы. Как правило, данные опухоли исходят из водопровода преддверия, содержащего эндолимфатический проток, где происходит резорбция эндолимфы, и их центральная часть приходится на задний (ретролабиринтный) отдел каменистой части височной кости [10].

По данным КТ опухоль эндолимфатического мешка представляет собой зону деструкции, эрозии каменистой части височной кости инфильтративного характера, кость может иметь вид «изъеденной молью», со спикурообразными обызвествлениями



**Рис. 9.** Типы интралабиринтных шванном: А — интракохлеарная; В — интравестибулярная; С — интравестибулярно-интракохлеарная; D — трансмодиолярная; E — трансмакулярная (по Lee S.U. et al. Front. Neurol. 2019. Vol. 10)

**Fig. 9.** Types of intralabyrinthine schwannomas: A — intracochlear; B — intravestibular; C — inravestibular-cochlear; D — transmodiolar; E — transmacular (Lee S.U. et al. Front. Neurol. 2019. Vol. 10)

На сильно T2-взвешенных изображениях с тонкими срезами мелкие интралабиринтные опухоли выглядят как участок гипоинтенсивного сигнала («дефект наполнения») на фоне высокой интенсивности сигнала от жидкостей внутреннего уха, с замещением его гипоинтенсивным участком, после внутривенного контрастного усиления активно накапливают контрастный препарат.

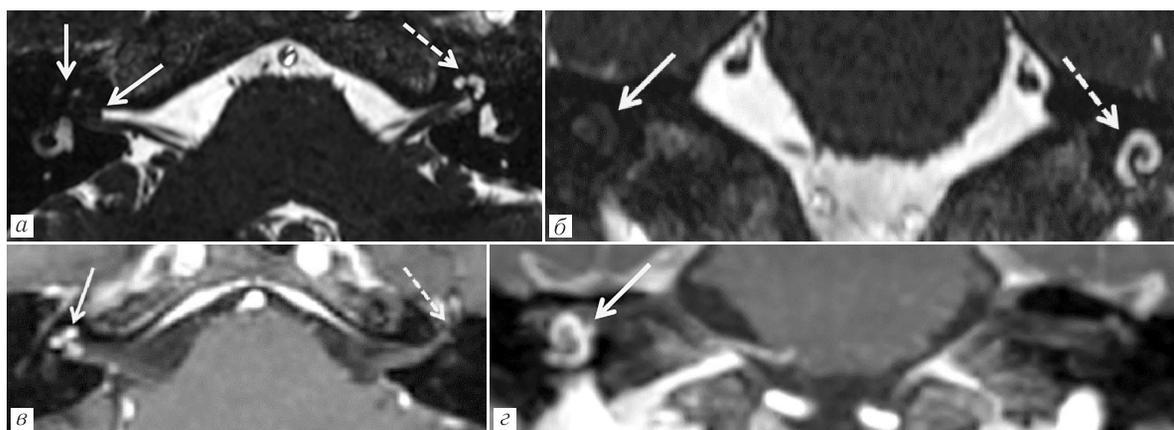
#### Опухоль эндолимфатического мешка

Опухоли, исходящие из лабиринта, весьма редки, одной из них, более частой, является опухоль эндолимфатического мешка. Опухоли эндолимфатического

или обызвествлениями по заднему контуру образования [10] (рис. 13).

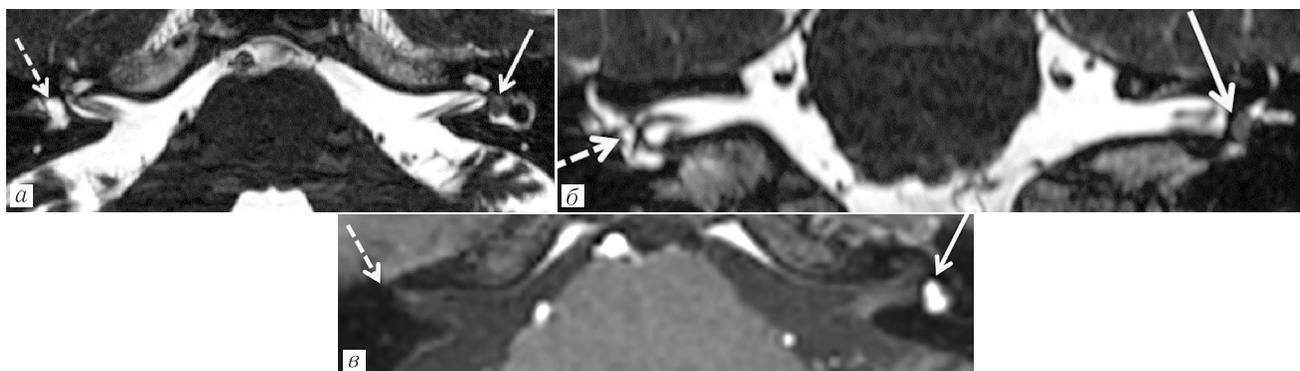
При МРТ сигнальные характеристики являются гетерогенными на T2-взвешенных изображениях, с гипоинтенсивными участками на T1-ВИ, характерно активное, неравномерное накопление контрастного препарата, за исключением кистозного компонента опухоли [10] (рис. 14).

**Эндолимфатический гидрокс.** Болезнь Меньера клинически проявляется приступами головокружения, флуктуирующим снижением слуха, шумом в ушах и ощущением заложенности уха.



**Рис. 10.** Трансмодиоларная шваннома: *а* — сильно T2-взвешенное изображение (FIESTA), белыми стрелками указан компонент опухоли в области дна наружного слухового прохода и в улитке, приводящий к снижению сигнала от нее, пунктирной стрелкой указана неизменная улитка слева; *б* — сильно T2-взвешенное изображение (FIESTA), реконструкция в корональной плоскости, белой стрелкой указан компонент опухоли в улитке, заполняющий ее, пунктирной стрелкой указана неизменная улитка слева; *в* — постконтрастное T1-взвешенное изображение демонстрирует интенсивное накопление контрастного препарата образованием, белая стрелка, слева пунктирной стрелкой указана неизменная улитка без патологического контрастирования; *г* — постконтрастное T1-взвешенное изображение, реконструкция в корональной плоскости, белой стрелкой указан опухолевый компонент в улитке справа, активно накапливающий контрастный препарат

**Fig. 10.** Transmodiolar schwannoma: *a* — heavily T2-weighted image (FIESTA), solid arrows indicate the tumor in the cochlear aperture and within the cochlea. Dashed arrow — normal cochlea on the left; *б* — FIESTA image, coronal plane, solid arrow indicates the tumor filling the cochlea on the right. Dashed arrow — normal cochlea on the left; *в* — postcontrast T1-weighted image showing enhancement of the tumor, solid arrow, dashed arrow — normal non-enhancing cochlea on the left; *г* — postcontrast T1-weighted image, coronal plane, showing enhancement of the tumor, solid arrow

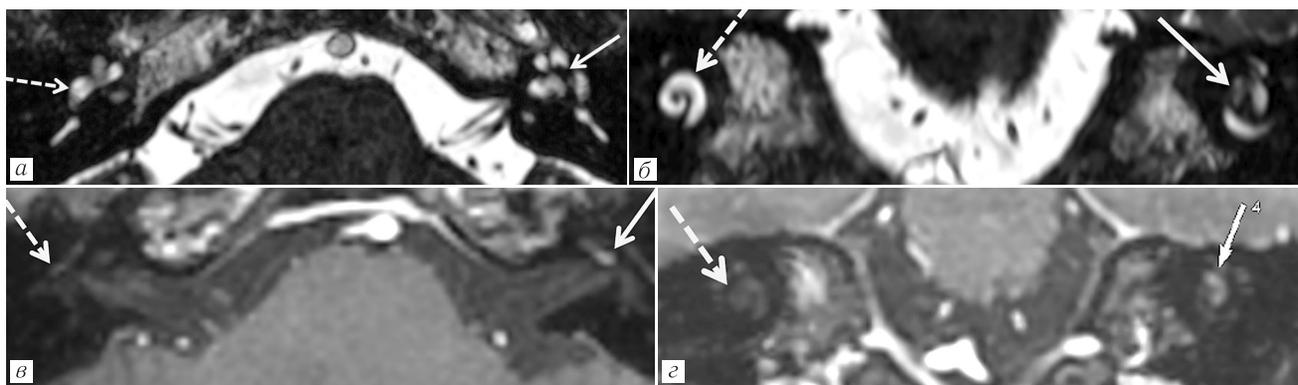


**Рис. 11.** Интравестибулярная шваннома: *а* — сильно T2-взвешенное изображение (FIESTA), белой стрелкой указана опухоль в преддверии слева, в виде округлого участка гипоинтенсивного сигнала, пунктирной стрелкой указано неизменное преддверие справа; *б* — сильно T2-взвешенное изображение (FIESTA), реконструкция в корональной плоскости, белой стрелкой указана опухоль в преддверии слева, пунктирной стрелкой указано неизменное преддверие справа; *в* — постконтрастное T1-взвешенное изображение демонстрирует интенсивное накопление контрастного препарата образованием в преддверии слева (белая стрелка), справа пунктирной стрелкой указано неизменное преддверие, без патологического накопления контрастного препарата

**Fig. 11.** Intravestibular schwannoma: *a* — heavily T2-weighted image (FIESTA), solid arrow indicates the tumor in the vestibule. Dashed arrow — normal vestibule on the right; *б* — FIESTA image, coronal plane, solid arrow indicates the tumor in the vestibule. Dashed arrow — normal cochlea on the right; *в* — postcontrast T1-weighted image showing enhancement of the tumor, solid arrow, dashed arrow — normal non-enhancing vestibule on the right

Морфологическим субстратом развития болезни Меньера считается идиопатическое увеличение эндолимфатических пространств внутреннего уха — эндолимфатический гидропс. В 2007 г. Nakashima и соавт. продемонстрировали отдельную визуализацию пери- и эндолимфатических пространств внутреннего уха после интратимпанального введения гадолиний-

содержащего контрастного препарата, за счет поступления контрастного вещества в перилимфатические пространства внутреннего уха. К настоящему моменту все более широкое применение находит методика оценки гидропса лабиринта методом МРТ с отсроченным контрастированием после внутривенного введения контрастного вещества.



**Рис. 12.** Интракохлеарная шваннома: *a* — сильно T2-взвешенное изображение (FIESTA), белой стрелкой указан компонент опухоли среднего завитка улитки слева, приводящий к снижению сигнала от нее, пунктирной стрелкой указана неизменная улитка справа; *б* — сильно T2-взвешенное изображение (FIESTA), реконструкция в корональной плоскости, белой стрелкой указан компонент опухоли в улитке, заполняющий ее, пунктирной стрелкой указана неизменная улитка справа; *в* — постконтрастное T1-взвешенное изображение демонстрирует интенсивное накопление контрастного препарата образованием (белая стрелка), справа пунктирной стрелкой указана неизменная улитка, без патологического контрастирования; *г* — постконтрастное T1-взвешенное изображение, реконструкция в корональной плоскости, белой стрелкой указан опухолевый компонент в улитке слева, активно накапливающий контрастный препарат, повторяющий форму завитка улитки

**Fig. 12.** Intracochlear schwannoma: *a* — heavily T2-weighted image (FIESTA), solid arrows indicate the tumor within the middle turn of the cochlea. Dashed arrow — normal cochlea on the right; *б* — FIESTA image, coronal plane, solid arrow indicates the tumor in the cochlea on the left. Dashed arrow — normal cochlea on the right; *в* — postcontrast T1-weighted image showing enhancement of the tumor, solid arrow, dashed arrow — normal non-enhancing cochlea on the right; *г* — postcontrast T1-weighted image, coronal plane, showing enhancement of the tumor, solid arrow. Dashed arrow — normal non-enhancing cochlea on the right

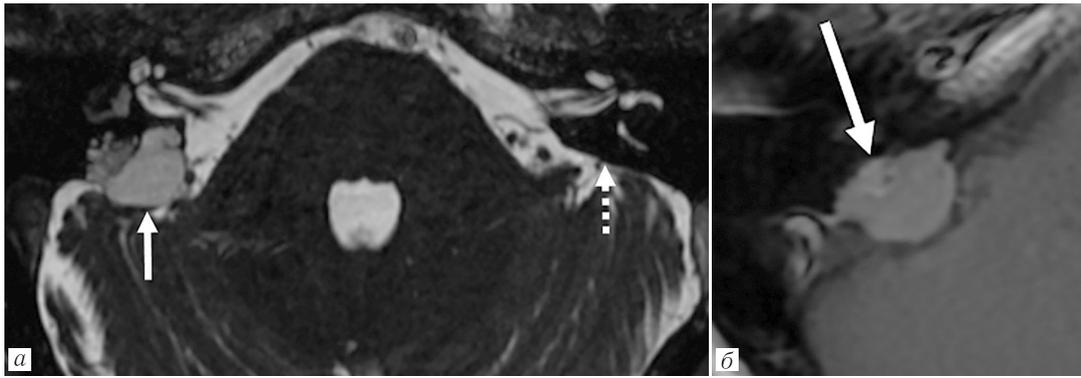


**Рис. 13.** Опухоль эндолимфатического мешка справа, гистологически верифицированная, данные МСКТ: *a* — аксиальная плоскость, зона остеодеструкции, эрозии каменной части височной кости указана сплошной стрелкой. Слева неизменные задние отделы каменной части височной кости, пунктирной стрелкой указан водопровод преддверия; *б* — корональная плоскость

**Fig. 13.** Right-sided endolymphatic sac tumor (with histologic verification), CT data: *a* — an arrow on the right indicates bone destruction in the petrous part of the right temporal bone, arrow on the left shows normal vestibular aqueduct on the right; *б* — reformatted sagittal plane, an arrow indicates bone destruction involving the wall of the posterior semicircular canal

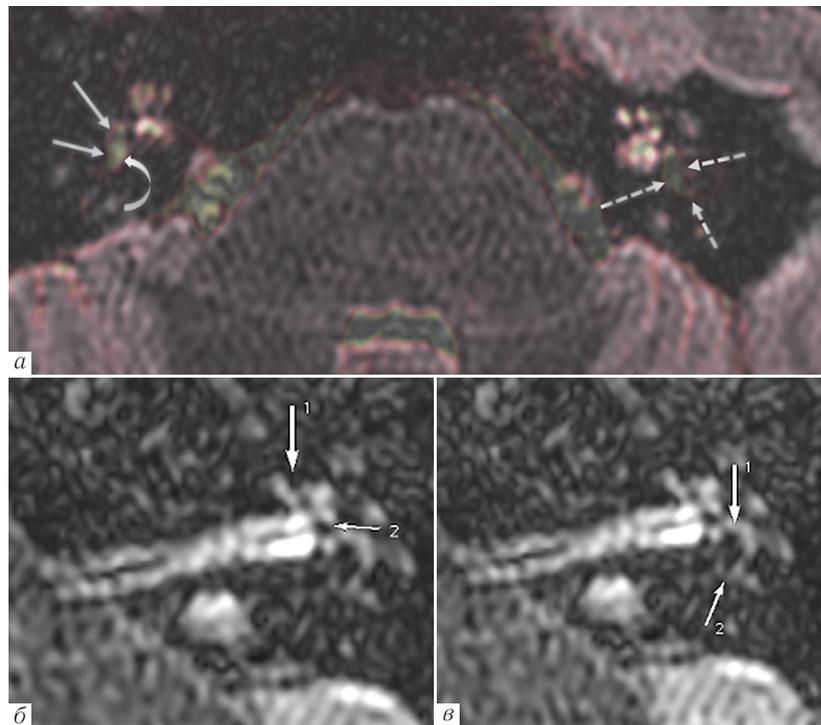
Использование изображений с максимально возможным соотношением сигнал-шум, полученных на томографах с индукцией магнитного поля 3Т в режиме 3D-FLAIR или 3D-импульсная последовательность быстрого спинного эхо инверсия-восстановление (IR-TSE) позволяют достоверно дифференцировать эндолимфатические пространства и прижизненно верифицировать гидропс посредством МРТ [6, 11] (рис. 15).

**Лабиринтит.** Лабиринтит — воспаление перепончатого лабиринта, может быть следующей этиологии: тимпаногенный, посттравматический, менингогенный, гематогенный, аутоиммунный. До начала широкого внедрения МРТ данная патология была недоступна оценке методами визуализации, однако в настоящее время накопление контрастного вещества лабиринтом после внутривенного усиления, понижение интенсивности сигнала на T2-ВИ



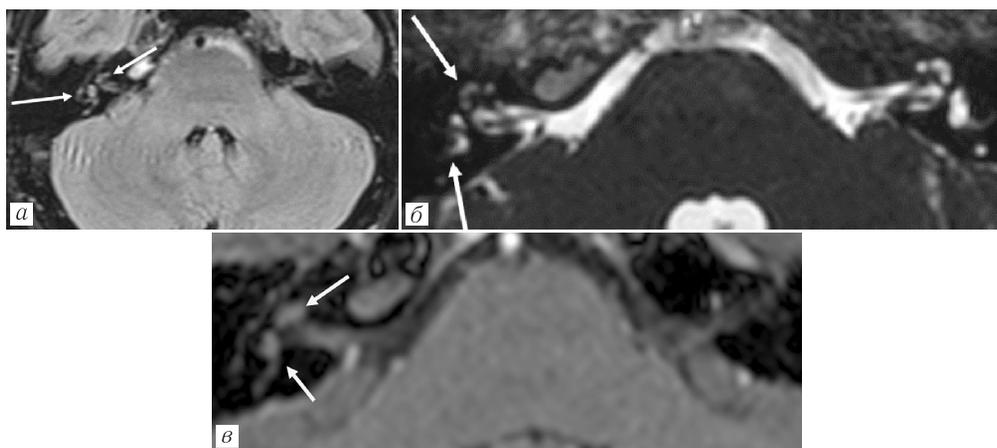
**Рис. 14.** Опухоль эндолимфатического мешка справа, гистологически верифицированная, данные МРТ: *a* — на аксиальном изображении в ИП FIESTA указан кистозный компонент опухоли, снижена интенсивность сигнала от преддверия и полукружных каналов справа; *б* — T1-взвешенное изображение, накопление контрастного препарата солидным компонентом опухоли после внутривенного контрастного усиления

**Fig. 14.** Right-sided endolymphatic sac tumor (with histologic verification), MRI data: *a* — FIESTA image: solid arrow indicates thy cystic portion of the tumor; there is a marked decrease in the signal intensity of the vestibule and semicircular canals), the lesion is circumscribed, on the left dashed arrow indicates intact temporal bone; *б* — post-contrast T1-weighted image shows moderate enhancement of the solid part of the tumor (arrow)



**Рис. 15.** Исследование внутреннего уха с отсроченным контрастированием: *a* — объединенный вид, совмещенные изображения ИП FIESTA и 3D-FLAIR: справа неизмененные структуры преддверия (саккулярная и утрикулярная макулы, сплошные стрелки) видны на фоне контрастированной перилимфы (изогнутая стрелка) в виде отдельных округлых гипоинтенсивных структур; слева контрастированная перилимфа не прослеживаются, мешочек и маточка сливаются в единую структуру и заполняют преддверие (пунктирные стрелки); *б* — кохлеарный гидропс: расширение не накапливающего контрастное вещество протока улитки (1), с сохранением вокруг частей накопившей контрастное вещество перилимфы в *scala vestibuli*; *в* — вестибулярный гидропс: заполнение костного лабиринта расширенными эндолимфатическими пространствами (2), контрастированная перилимфа по периферии визуализируется в виде узкой гиперинтенсивной полоски (1)

**Fig. 15.** Delayed enhancement study of the inner ear: *a* — combined FIESTA and 3D-FLAIR images: on the right normal, separate round hypointense saccule and utricle (solid arrows) are seen surrounded by the enhancing perilymph (curved arrow); on the left the perilymph cannot be seen due to the enlargement of the saccule and utricle that are confluent and fill up the vestibule (dashed arrows); *б* — cochlear hydrops: enlarge hypointense cochlear duct (1), next to enhancing perilymph in the *scala vestibuli*; *в* — vestibular hydrops: bony labyrinth filled enlarged endolymphatic spaces (2), enhanced perilymph only seen as a thin hyperintense line (1)



**Рис. 16.** Лабиринтит у пациента с подострой правосторонней вестибулопатией смешанного генеза и острой правосторонней сенсоневральной тугоухостью (степень потери слуха — глухота) после перенесенного ОРВИ: *a* — FLAIR ИП демонстрирует повышение интенсивности сигнала от улитки и полукружных каналов (стрелки) за счет чувствительности данной ИП к наличию белка; *б* — FIESTA ИП демонстрирует снижение интенсивности сигнала от вовлеченного лабиринта; *в* — постконтрастное T1-ВИ, накопление контрастного препарата лабиринтом справа

**Fig. 16.** Labyrinthitis in a patient with subacute right-sided vestibulopathy and acute right-sided sensorineural hearing loss, after a respiratory viral infection: *a* — FLAIR demonstrates an increase in signal intensity of the cochlea and semicircular canals (arrows) due to the ability of this sequence to detect even the slightly elevated protein levels in fluid; *б* — FIESTA demonstrates a decreased signal intensity of the involved right labyrinth (arrows); *в* — postcontrast T1-weighted image, contrast enhancement of the labyrinth on the right (arrows)

и повышение в ИП FLAIR позволяет с уверенностью поставить данный диагноз. Независимо от этиологии МРТ-проявления лабиринтита идентичны. В некоторых случаях результат МРТ может быть ложноотрицательным. В случаях травмы преконтрастные T1-ВИ позволяют также дифференцировать кровоизлияние и воспалительные изменения [6].

**Обсуждение.** Головокружение считается многофакторным явлением, что и обуславливает необходимость комплексного подхода к обследованию пациентов с жалобами на нарушение равновесия. В данном обзоре представлены ключевые анатомические особенности и патологические состояния, соответствующие методы визуализации и диагностические находки по результатам визуализации. Пациентов с головокружением направляют из амбулаторных учреждений, часто из неврологических, ЛОР-клиник или специализированных вестибулологических, отоневрологических лабораторий после детального клинического обследования и обычно с различными дополнительными исследованиями, такими как аудиометрия, сердечно-сосудистые и вестибулярные тесты (например, видеонистагмография). Подходы к визуализации головокружения остаются противоречивыми, широко варьируются в клинической практике и зависят от локальных предпочтений. МРТ играет важную роль при обследовании пациентов с головокружением и является высокоэффективным методом в обнаружении как периферических, так и центральных причин головокружения.

Выявление патологических изменений при головокружении методами визуализации и дифференциальная диагностика в некоторых случаях могут быть сложны для рентгенолога. Самым важным является

выбор правильного метода визуализации — компьютерной томографии или магнитно-резонансной томографии высокого разрешения для выявления различных патологий. В зависимости от искомой патологии КТ или МРТ могут быть достаточны самостоятельно или применяться в сочетании. КТ позволяет детально визуализировать костные структуры, а МРТ обеспечивает высокую контрастность мягких тканей. Поражения внутреннего уха и мостомозжечкового угла могут быть очень мелкими, поэтому используются КТ и МРТ с тонкими срезами, с возможностью построения мультипланарных реконструкций. Компьютерная томография применяется для оценки костных структур, выявления аномалий строения, дегисценций в костных стенках лабиринта, участков измененной плотности. МРТ применяют при исследовании заполненных эндолимфой структур внутреннего уха и восьмой пары черепных нервов для выявления острых воспалительных изменений и опухолевых поражений. Современные магнитно-резонансные томографы предоставляют возможность получать изображения с тонкими срезами (менее 1 мм). С помощью последовательности 3D-FLAIR с разным временем инверсии, применяя специальные методы постобработки, можно дифференцировать пространства эндолимфы и перилимфы в силу разницы в отсроченном накоплении контрастного вещества.

**Заключение.** Причины вестибулярной дисфункции весьма многообразны и требуют от рентгенолога детального понимания нормальной лучевой анатомии височной кости и возможностей специализированного, прицельного обследования вестибулярного анализатора методами КТ и МРТ. Учитывая огромные физические и психологические эффекты головокру-

жения, клинические и диагностические усилия необходимо сосредоточить на выявлении и коррекции излечимых состояний. Эффективное лечение головокружения лучше всего достигается при междисциплинарном подходе с применением комплексной диагностики и подходов к лечению. Методы визуализации

являются полезным инструментом в мультимодальном обследовании пациентов с головокружением, поскольку дают дополнительную информацию, имеющую фундаментальное значение для дифференциальной диагностики, окончательной постановки диагноза, планирования терапии и последующего наблюдения.

#### Сведения об авторах:

*Жорина Анна Сергеевна* — врач-рентгенолог, клиника «Скандинавия»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55А, e-mail: zhorina.anna@gmail.com; ORCID 0000-0001-6487-6894;

*Воронов Виктор Алексеевич* — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник доцент кафедры оториноларингологии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: voronov.ent@yandex.ru; ORCID 0000-0002-3859-6298;

*Демиденко Диана Юрьевна* — кандидат медицинских наук, доцент кафедры оториноларингологии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: terra\_rasa@mail.ru; ORCID 0000-0003-4604-5039;

*Жорина Ольга Михайловна* — кандидат медицинских наук, заведующая отделением томографии больницы Петра Великого, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: zhorinaom@gmail.com; ORCID 0000-0002-9116-737X.

#### Information about authors:

*Anna S. Zhorina* — radiologist, Clinic «Scandinavia»; 55A Liteyny ave., St. Petersburg, 191014, e-mail: zhorina.anna@gmail.com, ORCID 0000-0001-6487-6894;

*Viktor A. Voronov* — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Otorhinolaryngology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «I. I. Mechnikov Northwestern State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 41 Kirochnaya str., St. Petersburg, 191015, e-mail: voronov.ent@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3859-6298;

*Diana Yu. Demidenko* — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Otorhinolaryngology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «I. I. Mechnikov Northwestern State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 41 Kirochnaya str., St. Petersburg, 191015, e-mail: terra\_rasa@mail.ru, ORCID 0000-0003-4604-5039; *Olga M. Zhorina* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Tomography Department of Peter the Great Hospital, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «I. I. Mechnikov Northwestern State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 41 Kirochnaya str., St. Petersburg, 191015, e-mail: zhorinaom@gmail.com, ORCID 0000-0002-9116-737X.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в клиническое наблюдение и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *В. А. Воронов, Д. Ю. Демиденко, О. М. Жорина*; сбор и анализ данных — *А. С. Жорина, О. М. Жорина, В. А. Воронов, Д. Ю. Демиденко*; подготовка рукописи — *А. С. Жорина, О. М. Жорина, В. А. Воронов, Д. Ю. Демиденко*.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contributions: aided in the concept and plan of the study — *VAV, DYuD, OMZh*; provided collection and analysis of data — *ASZh, OMZh, VAV, DYuD*; *ASZh, OMZh, VAV, DYuD* work on the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare they have no conflict of interest.

Поступила/Received: 31.01.2024

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Гусева А.Л., Пальчун В.Т. Хроническое головокружение: подходы к диагностике и лечению // *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. 2020. Т. 120, № 12. С. 131–137. [Guseva A.L., Palchun V.T. Chronic dizziness: approaches to diagnosis and individuality. *Journal of Neurology and Psychiatry named after K. S. Korsakov*, 2020, Vol. 120, No. 12, pp. 131–137 (In Russ.)], doi: 10.17116/jnevro2020120121131.
2. Кудрявцева А.С., Амелин А.В. Диагностическая значимость клинических вестибулярных тестов в обследовании пациентов с головокружением // *Приоритетные задачи и стратегии развития медицины и фармакологии: сборник научных трудов*. Вып. I. Тольятти, 2016. С. 26–30. [Kudryavtseva A.S., Amelin A.V. Diagnostic significance of effective vestibular tests when examining patients with dizziness. *Priority objectives and strategy for the development of medicine and pharmacology: collection of scientific papers*. Vol. I. Tolyatti, 2016, pp. 26–30 (In Russ.)].
3. Замерград М.В., Балязина Е.В. Вестибулярная пароксизмия // *Неврологический журнал*. 2016. Т. 21, № 2. С. 68–73. [Zamergrad M.V., Balyazina E.V. Vestibular paroxysmia. *Neurological Journal*, 2016, Vol. 21, No. 2, pp. 68–73 (In Russ.)], doi: 10.18821/1560-9545-2016-21-2-68-73.
4. Feraco P., Piccinini S., Gagliardo C. Imaging of inner ear malformations: a primer for radiologists // *La radiologia medica*. 2021. Vol. 126, No. 10. P. 1282–1295, doi: 10.1007/s11547-021-01387-z.
5. Karamitros A., Kalamatianos T., Stranjalis G., Anagnostou E. Vestibular paroxysmia: clinical features and imaging findings; a literature review // *Journal of Neuroradiology*. 2022. Vol. 49, No. 2. P. 225–233, doi: 10.1016/j.neurad.2021.07.007.

6. Malak W., Hagiwara M., Nguyen V. Neuroimaging of dizziness and vertigo // *Otolaryngologic Clinics of North America*. 2021. Vol. 54, No. 5. P. 893–911, doi: 10.1016/j.otc.2021.06.001.
7. Eberhard K.E., Chari D.A., Nakajima H.H. Current trends, controversies, and future directions in the evaluation and management of superior canal dehiscence syndrome // *Frontiers in Neurology*. 2021. Vol. 12. P. 638574, doi: 10.3389/fneur.2021.638574.
8. Шиманский В.Н., Танышин С.В., Шевченко К.В., Одаманов Д.А. Хирургическое лечение неврином слухового нерва (вестибулярных шванном) // *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2017. Т. 81, № 3. С. 66–76. [Shimansky V.N. et al. Surgical treatment of acoustic neuromas (vestibular schwannomas). *Issues of neurosurgery named after N.N. Burdenko*, 2017, Vol. 81, No. 3, pp. 66–76 (In Russ.)], doi: 10.17116/neiro201781366-76.
9. Lee S.U., Bae Y.J., Kim H.J. et al. Intralabyrinthine schwannoma: distinct features for differential diagnosis // *Frontiers in neurology*. 2019. Vol. 10. P. 750, doi: 10.3389/fneur.2019.00750.
10. Poletti A.M., Dubey S.P., Colombo G., Cugini G., Mazzoni A. Treatment of endolymphatic sac tumour (Papillary adenocarcinoma) of the temporal bone // *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*. 2016. Vol. 21, No. 4. P. 391–394, <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2015.06.003>.
11. Baráth K., Schuknecht B., Naldi A.M., Schrepfer T., Bockisch C.J., Hegemann S.C. Detection and grading of endolymphatic hydrops in Menière disease using MR imaging // *American Journal of Neuroradiology*. 2014. Vol. 35, No. 7. P. 1387–1392, doi: 10.3174/ajnr.A3856.

## Тематические издания, посвященные изучению COVID-19



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

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

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

## ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ОШИБОК В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ: ОБЗОР

<sup>1</sup>В. А. Нечаев<sup>✉\*</sup>, <sup>2,3</sup>А. Ю. Васильев<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Городская клиническая больница имени С. С. Юдина, Москва, Россия

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

<sup>3</sup>Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Врачи при постановке диагноза во многих случаях опираются на лучевые изображения, интерпретация которых может быть весьма вариабельна и содержать неточности, что может привести к неверной тактике лечения пациента.

**ЦЕЛЬ:** Провести обзор различных подходов к классификации диагностических ошибок в лучевой диагностике.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитических системах PubMed, e-library, Google Scholar по ключевым словам: radiology errors, x-ray errors, diagnostic errors in radiology, ошибки в лучевой диагностике, ошибки в рентгенологии.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Анализ научных публикаций показал различные подходы к классификации ошибок в лучевой диагностике. Приведены основные исторические аспекты формирования первых подобных классификаций, их совершенствование со временем, отсутствие единой согласованной классификации и критические сложности их использования.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** В приведенном обзоре литературы представлены различные подходы к классификации ошибок в лучевой диагностике, что может быть полезно для понимания причин их возникновения, а также для развития систем их выявления, анализа и предупреждения, которые в дальнейшем приведут к минимизации частоты их развития и снижению степени нанесенного ущерба.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** диагностические ошибки, рентгенологические ошибки, ошибки в лучевой диагностике, ошибки интерпретации, ошибки восприятия

\*Для корреспонденции: Нечаев Валентин Александрович, [dfkz2005@gmail.com](mailto:dfkz2005@gmail.com).

Для цитирования: Нечаев В.А., Васильев А.Ю. Подходы к классификации диагностических ошибок в лучевой диагностике: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 19–24, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-19-24>.

## APPROACHES TO THE CLASSIFICATION OF ERRORS IN RADIOLOGY: A REVIEW

<sup>1</sup>Valentin A. Nechaev<sup>✉\*</sup>, <sup>2,3</sup>Aleksander Yu. Vasil'ev<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Moscow City Hospital named after S. S. Yudin, Moscow, Russia

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

<sup>3</sup>Central Radiology Research Institute, Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** In many cases physicians make a diagnosis using the results of radiology. At the same time, the interpretation of medical images can be very variable in some cases, contain inaccuracies, which can lead to incorrect patient treatment tactics.

**OBJECTIVE:** The aim of this article is to show different classification of diagnostic errors in radiology.

**MATERIAL AND METHODS:** A search for scientific publications was carried out in the information and analytical systems PubMed, e-library, Google Scholar using the keywords: radiology errors, x-ray errors, diagnostic errors in radiology, errors in radiation diagnostics, errors in radiology.

**RESULTS:** An analysis of scientific publications showed different approaches to the classification of errors in radiology. The main historical aspects of the formation of the first such classifications, their improvement over time, the lack of a single agreed upon classification and the critical difficulties of their use are presented.

**CONCLUSIONS:** This literature review presents various approaches to the classification of errors in radiation diagnostics, which can be useful for understanding the causes of their occurrence, as well as for the development of systems for their identification, analysis and prevention, which will subsequently lead to minimizing the frequency of their development and reducing the degree of damage caused.

**KEYWORDS:** diagnostic errors, radiology errors, errors in radiology, interpretation errors, perception errors

\*For correspondence: *Valentin A. Nechaev, dfkz2005@gmail.com.*

**For citation:** Nechaev V.A., Vasil'ev A.Yu. Approaches to the classification of errors in radiology: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 19–24, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-19-24>.

**Введение.** Применение методов лучевой диагностики в большинстве случаев является неотъемлемой частью обследования пациента для постановки верного диагноза. В отличие от ряда субъективных оценок состояния пациента результаты лучевой диагностики остаются доступными для последующего изучения и могут быть проанализированы ретроспективно. Несмотря на все достижения современной науки, деятельность врача-рентгенолога преимущественно предполагает принятие решений в условиях неопределенности и, следовательно, может содержать неточности в интерпретации [1]. При этом оценка лучевого исследования не является бинарным процессом, где необходимо отметить «есть» патология или «нет». На окончательное заключение влияет множество факторов, таких как качество выполненного исследования, наличие анамнестических и клиничко-лабораторных данных, степень усталости врача и др. [2–4].

**Цель.** Провести обзор различных подходов к классификации диагностических ошибок в лучевой диагностике.

**Материалы и методы.** Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитических системах PubMed, e-library, Google Scholar по ключевым словам: radiology errors, x-ray errors, diagnostic errors in radiology, ошибки в лучевой диагностике, ошибки в рентгенологии.

**Результаты.** На этапе становления рентгенологии как науки уже появляются первые научные работы, в которых упоминаются вопросы, связанные с особенностями зрительного восприятия диагностических изображений. Так, в 1899 г. было показано, что для достижения максимальной чувствительности сетчатки глаза в темной комнате к свету от флюороскопического экрана требуется порядка 20 минут [5]. В дальнейшем темы восприятия и ошибок касался W. E. Chamberlain, отмечая важность качества получаемых изображений, процесса адаптации к темноте и остроты зрения [5]. Вскоре под руководством W. E. Chamberlain (1942) проходило исследование по определению оптимальной диагностической методики скрининга туберкулеза легких, с учетом появления флюорографии. Однако было обнаружено, что вариации интерпретации внутри и между испытуемыми были настолько велики (достигали 30%), что было невозможно определить, какая методика оптимальна [5]. В результате было поднято две ключевые проблемы: во-первых, необходимо улучшить процесс обучения рентгенологов; во-вторых, требуется изучение процесса вос-

приятия изображений и природы интерпретационных ошибок в рентгенологии [5].

Наиболее критично к проблеме диагностических ошибок подошел L. H. Garland в серии своих работ, в которых были представлены «удивляющие» статистические данные по неточности в ряде клиничко-лабораторных исследований, в том числе и рентгенологических. Так, частота ошибок в диагностике инфаркта миокарда достигала 34%, в интерпретации электрокардиограмм — 20%, в результатах лабораторных анализов — 28% [6]. Однако наиболее пристальное внимание было уделено ошибкам в интерпретации рентгенограмм легких, где частота пропуска патологических изменений (выборка исследований только с патологией) достигала 33% [7].

В дальнейшем во многих научных работах было отмечено значительное количество диагностических ошибок при различных методах лучевой диагностики [8–11]. В исследовании J. L. Lehg и соавт. (1976) сообщалось о частоте ошибок 30% при интерпретации рентгенограмм легких, костно-суставной системы и желудочно-кишечного тракта с различной патологией [10]. В другой работе было обнаружено, что до 20% опухолей толстой кишки не описываются рентгенологами при рентгеноскопическом исследовании [9]. В статье J. R. Muhm и соавт. (1983) было отмечено, что в 90% случаев признаки периферического рака легкого ретроспективно определялись на рентгенограммах органов грудной клетки [11]. При оценке результатов КТ органов брюшной полости у онкологических пациентов расхождения в интерпретации достигали 37% с последующим изменением тактики лечения пациента до 23% [8]. В исследовании H. H. Abu-judeh и соавт. (2010) трое опытных рентгенологов, специализирующихся на абдоминальной визуализации, первоначально проанализировали 90 компьютерно-томографических исследований брюшной полости и таза, а затем, через определенное время, их попросили повторно описать те же исследования. В результате уровень расхождений между испытуемыми составил 26%, а уровень расхождений внутри испытуемых — 32%. Статистические данные, раскрывающие неточности в интерпретации маммограмм, поражают: до 75% исследований первоначально интерпретированных как без патологических изменений, при ретроспективной оценке предположительно могли иметь признаки рака молочной железы [6].

Столь высокие показатели частоты ошибок связаны в первую очередь с особенностями выборок, которые содержат исследования только с патологи-

ческими изменениями. В повседневной практике врач-рентгенолог имеет дело в том числе с исследованиями без патологии. В работе J. P. Borgstede и соавт. (2004) проанализировали работу более 250 рентгенологов, интерпретировавших более 20 000 обследований, и обнаружили, что частота ошибок во всех случаях достигала 3,5% [12]. Это соотносится и с результатами других исследований, где это значение составляло 3–4% [2, 3, 13].

Общепринятого определения термина диагностической ошибки не существует и, по мнению ряда авторов, применительно к рентгенологии использование данного понятия неуместно и предпочтительнее употреблять термин «расхождение» между протоколом описания и окончательным диагнозом [8]. Тем не менее диагностической ошибкой в лучевой диагностике можно назвать пропуск, неверную интерпретацию или обнаружение с запозданием патологических изменений при помощи методов лучевой диагностики, независимо от того, приводит ли это к какому-либо вреду [13, 14]. Использование термина «ошибка» подразумевает, что не может быть разногласий по поводу того, что является верной интерпретацией, и указывает на то, что рентгенолог должен был быть в состоянии дать верное заключение [14]. Любое несоответствие в интерпретации, которое существенно отклоняется от консенсуса коллег, является разумным и общепринятым для определения диагностической ошибки [14]. В некоторых случаях диагноз подтверждается патологическим исследованием хирургического или аутопсийного материала, и эти данные могут быть использованы для оценки предшествующих лучевых результатов, однако не всегда они являются общей основой для определения того, произошла ли ошибка [8, 15]. В любом случае, ошибку или расхождение в лучевой диагностике следует рассматривать как медицинскую, а не юридическую проблему [13].

Чтобы понять, почему возникают диагностические ошибки, а также разработать системы обнаружения и анализа, которые минимизируют как их частоту, так и степень причиняемого ущерба необходимо корректно их классифицировать [3, 16]. Существуют различные подходы к категоризации ошибок, из которых наиболее простое деление их на два вида: ошибки восприятия и когнитивные ошибки [13, 15, 17].

Неспособность обнаружить патологическое изменение на диагностическом изображении — ошибка восприятия, которая встречается в 60–80% случаев. Чтобы пропуск патологии считался ошибкой восприятия, необходимо, чтобы находка была достаточно заметной и обнаруживаемой в ретроспективе самим рентгенологом либо при консенсусе коллег. В ряде случаев ошибка восприятия может объясняться малозаметностью, например, за счет низкой контрастности патологии и окружающих структур, или другими факторами риска (усталость врача,

отвлекающие факторы, большая нагрузка) [13, 15, 17]. Однако в большинстве случаев объективные объяснения пропуска явной патологии отсутствуют, и все сводится к «человеческому фактору» [18] и «недостаткам человеческого восприятия» [19].

Таким образом, несмотря на большое количество работ, посвященных этой проблеме, до сих пор точно неизвестно, почему пропускаются очевидные патологические находки на медицинских изображениях [13, 15].

Когнитивные ошибки, на которые приходится 20–40% от общего числа, возникают, когда патологическая находка идентифицируется рентгенологом на диагностическом изображении, но неверно интерпретируется, либо нормальные анатомические структуры или варианты развития рассматриваются как патология [6, 13]. Этот вид ошибок можно объяснить когнитивными искажениями, недостатком знаний рентгенолога, особенностями клинической информации или ошибочными рассуждениями [8, 13].

Существуют и другие подходы к классификации ошибок. Так, Kundel и соавт. (1978) выделили три вида ошибок на основе изучения особенностей движения глаз и фиксации взора рентгенолога при оценке 60 рентгенограмм легких (36 из которых были с наличием патологических изменений). Это ошибки поиска, когда испытуемый не определял патологию; распознавания, при которой испытуемый фиксировал взор на аномалии, но ненадолго, без осознания, что это действительно патология; принятия решения — испытуемый длительно фиксировал взор на патологии, но не определял ее как патологию. При этом наиболее распространена была именно последняя — до 45% случаев [14].

В 1992 г. D. L. Renfrew и соавт. расширили схему рентгенологических ошибок на основе анализа 182 случаев и выделили 7 типов ошибок исходя из причин их возникновения: самоуверенность, ошибочное рассуждение, недостаток знаний, пропуск патологии, плохая коммуникация, ограничение методики и осложнения (при инвазивных процедурах). Среди них преобладали ошибки восприятия (69%), к которым авторы отнесли пропуск патологии (патология была пропущена при первоначальной интерпретации исследования, но хорошо визуализировалась ретроспективно) [19].

Одна из наиболее подробных классификаций предложена Y. W. Kim и L. T. Mansfield в 2014 г. Авторы проанализировали 1269 ошибок при проведении лучевых исследований и выделили 12 типов, в зависимости от причины (таблица). Наиболее часто встречались следующие типы ошибок: пропуск патологии (42%), удовлетворение поиском (22%) и ошибочное рассуждение (9%), что также подтверждало превалирование ошибок восприятия [13].

Существуют и другие подходы к классификациям ошибок, которые фокусируются не только на самом рентгенологе, но и принимают во внимание многие

другие предрасполагающие факторы, такие как проблемы управления, нехватка персонала, эргономика, объем работы и другие [3, 20]. Так, O. R. Brook и соавт. (2010) выделили скрытые, активные, внешние и ошибки, связанные с пациентом. К скрытым были отнесены технические факторы, связанные с состоянием и эксплуатацией оборудования, и системные, характеризующиеся укомплектованностью персоналом, рабочим графиком, эргономикой рабочего места, коммуникацией с другими врачами и отделениями. Активные, или человеческие — это диагностические ошибки, которые подробно описывались в других работах, но в то же время могут быть следствием скрытой ошибки. Некоторые ошибки неизбежны и находятся вне контроля и ответственности рентгенолога или организации. Примеры таких внешних причин включают резкие всплески или падения электрического напряжения, внезапное падение сверхпроводимости магнитно-резонансного томографа, протечки водопровода и др. К ошибкам, связанным с пациентом, можно отнести несоблюдение им инструкций во время проведения исследования, недостоверное предоставление информации перед обследованием, языковой барьер и др. [20].

проведения «второго мнения» нейрорадиологом КТ и МРТ исследований головного мозга, которые первоначально были интерпретированы рентгенологом без узкой специализации. Все различия в заключениях были разделены на значительные, которые могли изменить тактику лечения больного, и незначительные. В большинстве случаев (66%) отмечалось полное соответствие заключений, в 21% — незначительные расхождения, а в 13% — значительные. Однако стоит отметить, что в данном исследовании оценивалась значимость расхождения в рамках течения основного заболевания во время госпитализации [21].

A. Brady и соавт. (2017) разделили ошибки на основе «длительности эффекта» и «тяжести клинических последствий». Согласно этой классификации ошибки, не причиняющие вреда, считаются «несущественными», а с минимальными вредными последствиями расцениваются как «незначительные». «Умеренные ошибки» имеют краткосрочные последствия, в то время как «серьезные ошибки» определяются долгосрочными нежелательными последствиями. Наконец, ошибки, приводящие к серьезным долгосрочным или смертельным последствиям, классифицируются как «чрезвычайные ошибки» [8].

Классификация диагностических ошибок в лучевой диагностике по Kim и Mansfield (2014) [13]

Таблица

Classification of diagnostic errors in radiation diagnostics by Kim and Mansfield (2014) [13]

Table

Тип ошибки	Причина ошибки	Объяснение	Частота встречаемости, %
1	Самоуверенность	Ложноположительная ошибка, при которой клинически незначимая находка расценивается как значимая	0,9
2	Ошибочное рассуждение	Изменения выявлены и верно расценены как патологические, но связываются с неверными причинами	9,0
3	Недостаток знаний	Патология интерпретирована неверно из-за недостатка знаний врача	3,0
4	Пропуск патологии	Патология присутствует на изображении, но пропущена	42,0
5	Плохая коммуникация	Патология обнаружена и верно интерпретирована, но адекватно не донесена до лечащего врача	0,1
6	Ограничение методики	Находка пропущена в результате ограничения методики	2,0
7	Предыдущее исследование	Патология пропущена из-за отсутствия предыдущего исследования или протокола	5,0
8	История болезни	Патология пропущена из-за неполной или неточной истории болезни, анамнестических данных	2,0
9	Локализация	Патология пропущена из-за ее локализации за пределами зоны интереса	7,0
10	Удовлетворенность поиском	Патология не была выявлена в результате предварительно уже описанных других изменений	22,0
11	Осложнения исследования	Не тот пациент, не та область, не та сторона	0,5
12	Удовлетворенность заключением	Патология пропущена в результате высокого доверия к предыдущему заключению	6,0

Особое внимание стоит уделить попыткам дифференцировать ошибки по степени их последствий для пациента. В работе G. M. Briggs и соавт. (2008) оценивалось влияние на тактику ведения пациентов

Согласно методическим рекомендациям «Оценка качества рентгенорадиологических исследований» по результатам анализа эксперта врача-рентгенолога выделяют четыре вида итоговых оценок исследова-

ния: полное соответствие, замечания общего характера, клинически незначимое и клинически значимое расхождение. Последнее характеризуется тем, что «потенциально приводит к принципиальным нарушениям тактики лечения и/или связано с потенциальным развитием состояний, угрожающих жизни или влекущих стойкую утрату здоровья пациента» [22].

Однако в большинстве попыток классифицировать ошибки по степени их последствий для пациента, с одной стороны, отсутствуют четкие критерии их разделения, а с другой — возникает вопрос: «А судьи кто?». Может ли эксперт врач-рентгенолог, даже имея значительный опыт практической деятельности, определять степень влияния на тактику лечения пациента? Из-за сложности этого вопроса, а в ряде случаев отсутствия клинической информации, например, при ретроспективной оценке лучевого исследования, некоторые авторы решили не определять клиническую значимость диагностических ошибок [13].

Важной целью анализа ошибок является создание процессов, направленных на сокращение или предотвращение возникновения ошибок и минимизацию

степени вреда. Разработка эффективной системы обнаружения ошибок и надлежащего управления ими необходима для существенного смягчения их последствий. На этом этапе в процессе анализа ошибок выявляются сопутствующие факторы, позволяющие предпринять конкретные шаги для предотвращения возникновения таких ошибок в будущем. Активное и всестороннее управление ошибками и неблагоприятными событиями требует постоянного наблюдения, надежных механизмов отчетности, обсуждения и отсутствия замалчивания [20].

**Заключение.** Стоит признать, что диагностические ошибки в лучевой диагностике случаются и их возникновение неизбежно. Однако стоит знать об их особенностях, разновидностях, предрасполагающих факторах для возможной минимизации их возникновения. Многие ошибки не имеют значения и последствий для пациента, при этом некоторые серьезные ошибки остаются незамеченными. Обнаружение и анализ диагностических ошибок может позволить улучшить качество интерпретаций лучевых исследований, свести к минимуму частоту или влияние последующих ошибок и предотвратить более серьезные ошибки.

#### Сведения об авторах:

*Нечаев Валентин Александрович* — кандидат медицинских наук, заведующий центром комплексной диагностики, врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени С. С. Юдина Департамента здравоохранения г. Москвы»; 115446, Москва, Коломенский проезд, д. 4; e-mail: dfkz2005@gmail.com; ORCID 0000-0002-6716-5593;

*Васильев Александр Юрьевич* — доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, директор ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики», профессор кафедры лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 127206, Москва, ул. Вучетича, д. 9а; e-mail: auv62@mail.ru; ORCID 0000-0002-0635-4438.

#### Information about the authors:

*Valentin A. Nechaev* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Center for Complex Diagnostics — Radiologist of the Moscow State Budgetary Healthcare Institution «Moscow City Hospital named after S. S. Yudin, Moscow Healthcare Department»; 115446, Moscow, Kolomenskoye passage, 4; e-mail: dfkz2005@gmail.com; ORCID 0000-0002-6716-5593;

*Aleksander Yu. Vasiliev* — Dr. of Sci. (Med.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Central Research Institute of Radiation Diagnostics LLC, Professor of the Department of Radiation Diagnostics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 127206, Moscow, st. Vucheticha, 9a; e-mail: auv62@mail.ru; ORCID 0000-0002-0635-4438.

**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 работы — *А. Ю. Васильев*, сбор материала и подготовка рукописи — *В. А. Нечаев*.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *AYuV* aided in the concept and plan of the study; *VAN* provided collection and analysis of data.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declares no conflict of interest.

Поступила/Received: 22.10.2023

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Itri J.N., Tappouni R.R., McEachern R.O. et al. Fundamentals of diagnostic error in imaging // *RadioGraphics*. 2018. Vol. 38, No. 6. P. 1845–1865. doi: 10.1148/rg.2018180021.
- Onder O., Yarasir Y., Azizova A. et al. Errors, discrepancies and underlying bias in radiology with case examples: a pictorial review // *Insights Imaging*. 2021. Vol. 12, No. 1. P. 51. doi: 10.1186/s13244-021-00986-8.

3. Patra A., Premkumar M., Keshava S. N. et al. Radiology reporting errors: learning from report addenda // *Indian J. Radiol. Imaging*. 2021. Vol. 31, No. 2. P. 333–344. doi: 10.1055/s-0041-1734351.
4. Provenzale J., Kranz P. Understanding errors in diagnostic radiology: proposal of a classification scheme and application to emergency radiology // *Emergency Radiology*. 2011. Vol. 18, No. 5. P. 403–408. doi: 10.1007/s10140-011-0974-3.
5. Degnan A.J., Ghobadi E.H., Hardy P. et al. Perceptual and interpretive error in diagnostic radiology — causes and potential solutions // *Acad. Radiol.* 2019. Vol. 26, No. 6. P. 833–845. doi: 10.1016/j.acra.2018.11.006.
6. Berlin L. Radiologic errors, past, present and future // *Diagnosis*. 2014. Vol. 1, No. 1. P. 79–84. doi: 10.1515/dx-2013-0012.
7. Waite S., Grigorian A., Alexander R.G. et al. Analysis of perceptual expertise in radiology — current knowledge and a new perspective // *Front. Hum. Neurosci.* 2019. Vol. 13. P. 213. doi: 10.3389/fnhum.2019.00213.
8. Brady A.P. Error and discrepancy in radiology: inevitable or avoidable? // *Insights Imaging*. 2017. Vol. 8, No. 1. P. 171–182. doi: 10.1007/s13244-016-0534-1.
9. Cooley R.N., Agnew C.H., Rios G. Diagnostic accuracy of the barium enema study in carcinoma of the colon and rectum. // *Am. J. Roentgenol.* 1960. Vol. 84. P. 316–331.
10. Lehr J.L., Lodwick G.S., Farrell C. et al. Direct measurement of the effect of film miniaturization on diagnostic accuracy // *Radiology*. 1976. Vol. 118. P. 257–263. doi: 10.1148/118.2.257.
11. Muhm J.R., Miller W.E., Fontana R.S. et al. Lung cancer detected during a screening program using four-month chest radiographs // *Radiology*. 1983. Vol. 148. P. 609–615. doi: 10.1148/radiology.148.3.6308709.
12. Borgstede J.P., Lewis R.S., Bhargavan M., Sunshine J.H. RADPEER quality assurance program: a multifacility study of interpretive disagreement rates // *J. Am. Coll. Radiol.* 2004. V53ol. 1, No. 1. P. 59–65. doi: 10.1016/S1546-1440(03)00002-4.
13. Kim Y.W., Mansfield L.T. Fool me twice: delayed diagnoses in radiology with emphasis on perpetuated errors // *Am. J. Roentgenol.* 2014. Vol. 202, No. 3. P. 465–470. doi: 10.2214/AJR.13.11493.
14. Bruno M.A., Walker E.A., Abujudeh H.H. Understanding and confronting our mistakes: the epidemiology of error in radiology and strategies for error reduction // *RadioGraphics*. 2015. Vol. 35, No. 6. P. 1668–1676. doi: 10.1148/rg.2015150023.
15. Учеваткин А.А., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А. Оттенки серого: как и почему мы ошибаемся // *Медицинская визуализация*. 2020. Т. 24. № 3. С. 123–145. [Uchevatkin A.A., Yudin A.L., Afanas'yeva N.I., Yumatova E.A. Shades of grey: how and why we make mistakes, *Medical Visualization*, 2020, Vol. 24, No. 3, pp. 123–145 (In Russ.)]. doi: 10.24835/1607-0763-2020-3-123-145.
16. Abujudeh H.H., Boland G.W., Kaewlai R. et al. Abdominal and pelvic computed tomography (CT) interpretation: discrepancy rates among experienced radiologists // *Eur. Radiol.* 2010. Vol. 20, No. 8. P. 1952–1957. doi: 10.1007/s00330-010-1763-1.
17. Pinto A., Brunese L. Spectrum of diagnostic errors in radiology // *World J. Radiol.* 2010. Vol. 2, No. 10. P. 377–383. doi: 10.4329/wjr.v2.i10.377.
18. Tuddenham W.J. Roentgen image perception — a personal survey of the problem // *Radiol. Cl. N. Amer.* 1969. Vol. 7. P. 499–501.
19. Renfrew D.L., Franken E.A., Berbaum K.S. et al. Error in radiology: classification and lessons in 182 cases presented at a problem case conference // *Radiology*. 1992. Vol. 183. P. 145–150. doi: 10.1148/radiology.183.1.1549661.
20. Brook O.R., O'Connell A.M., Thornton E. et al. Quality initiatives: anatomy and pathophysiology of errors occurring in clinical radiology practice // *RadioGraphics*. 2010. Vol. 30, No. 5. P. 1401–1410. doi: 10.1148/rg.305105013.
21. Briggs G.M., Flynn P.A., Worthington M. et al. The role of specialist neuroradiology second opinion reporting: is there added value? // *Clin. Radiol.* 2008. Vol. 63. No. 7. P. 791–795. doi: 10.1016/j.crad.2007.12.002.
22. Морозов С.П., Ветшева Н.Н., Ледихова Н.В. Оценка качества рентгенорадиологических исследований // *Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»*. Вып. 48. М., 2019. 47 с. [Morozov S.P., Vetsheva N.N., Ledikhova N.V. Assessing the quality of X-ray and radiological studies. *Series «Best practices in radiological and instrumental diagnostics»*, Vol. 48, Moscow, 2019, 47 p. (In Russ.)].

Открыта подписка на 2-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL RESEARCH

УДК 616.24-073.756.8

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-25-34>РАДИОГЕНОМИКА НЕЙРОГЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ У ДЕТЕЙ:  
РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ<sup>1</sup>Г. В. Терещенко<sup>\*</sup>, <sup>1</sup>В. А. Лопатина<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Л. В. Земцова<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Д. М. Коновалов<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Н. А. Андреева<sup>®</sup>,  
<sup>1</sup>Т. В. Шаманская<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Г. А. Новичкова<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Д. Ю. Качанов<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>А. Е. Друй<sup>®</sup><sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии  
имени Дмитрия Рогачева, Москва, Россия<sup>2</sup>Институт медицинских клеточных технологий, Екатеринбург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Экстракраниальные нейрогенные опухоли у детей представлены новообразованиями симпатической нервной системы и мозгового вещества надпочечников: ганглионевромами, ганглионейробластомами и нейробластомами. Основными прогностическими факторами, используемыми для стратификации пациентов на группы риска и во многом определяющими эффективность лечения, являются гистологический вариант опухоли и наличие амплификации гена *MYCN*.

**ЦЕЛЬ:** Оценить возможности количественной МРТ в определении гистологического варианта нейрогенных опухолей и прогнозирования наличия амплификации гена *MYCN* у детей.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Ретроспективно проанализированы данные 110 пациентов с первичными периферическими нейрогенными опухолями, проходивших терапию или получавших консультативное заключение в НМИЦ ДГОИ имени Дмитрия Рогачева в период с 2012 по 2022 г. с диагнозами ганглионеврома — 12, смешанная ганглионейробластома — 10, нейробластома — 88. Возраст пациентов на момент постановки диагноза в диапазоне от 15 дней до 16 лет, медиана возраста — 17 месяцев. Всем пациентам до проведения хирургического вмешательства и терапевтических интервенций выполнялась диффузионно-взвешенная МРТ, осуществлялась биопсия опухоли с определением амплификации гена *MYCN* методом FISH.

**Статистика:** Для определения пороговых значений измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) нейрогенных опухолей различного гистологического строения, а также с наличием и отсутствием амплификации гена *MYCN* был применен ROC-анализ (receiver operating characteristic). Различия качественных параметров в исследуемых группах пациентов анализировались с использованием критерия  $\chi^2$ , а количественных — с помощью критериев Манна–Уитни и Крускала–Уоллиса.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Были определены пороговые значения показателя ИКД, позволяющие достоверно дифференцировать нейрогенные опухоли, богатые шванновской стромой (ганглионевромы и ганглионейробластома, ИКД  $\geq 1,25$  мм<sup>2</sup>/с) и нейробластома, а также нейробластома без амплификации гена *MYCN* (0,78 < ИКД < 1,25 мм<sup>2</sup>/с) и с наличием амплификации (ИКД  $\leq 0,78$  мм<sup>2</sup>/с). В первом случае чувствительность составила 0,95, специфичность — 0,94; во втором — 0,94 и 0,75 соответственно.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Полученные нами данные свидетельствуют о возможности разделения гистологических типов нейрогенных опухолей на основании количественной МРТ, значение ИКД позволяет дифференцировать ганглионевромы и ганглионейробластома от нейробластома, а также отличить нейробластома с наличием амплификации гена *MYCN* и без данного генетического события. Неинвазивная количественная МРТ позволяет оценить весь объем опухоли на этапе диагностики и экстремально низкое значение ИКД является радиогеномным признаком наличия амплификации гена *MYCN* при нейробластома.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Количественная МРТ с определением ИКД нейрогенных опухолей позволяет не только разделить гистологические варианты нейрогенных опухолей, но и спрогнозировать наличие амплификации гена *MYCN* как наиболее неблагоприятного генетического маркера нейробластома.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиогеномика нейрогенных опухолей, измеряемый коэффициент диффузии, МРТ у детей, количественная МРТ, нейробластома, амплификация гена *MYCN*, ганглионеврома, ганглионейробластома

<sup>\*</sup> Для корреспонденции: Терещенко Галина Викторовна, e-mail: Galina.Tereshenko@fcho-moscow.ru.

Для цитирования: Терещенко Г.В., Лопатина В.А., Земцова Л.В., Коновалов Д.М., Андреева Н.А., Шаманская Т.В., Новичкова Г.А., Качанов Д.Ю., Друй А.Е. Радиогеномика нейрогенных опухолей у детей: ретроспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 25–34, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-25-34>.

## RADIOGENOMICS OF NEUROGENIC TUMORS IN CHILDREN: A RETROSPECTIVE STUDY

<sup>1</sup>Galina V. Tereshchenko<sup>✉</sup>\*, <sup>1</sup>Vera A. Lopatina<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Ludmila V. Zemtsova<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Dmitry M. Konovalov<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>Nataliya A. Andreeva<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Tatyana V. Shamanskaya<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Galina A. Novichkova<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Denis Yu. Kachanov<sup>✉</sup>,  
<sup>1,2</sup>Alexander E. Druy<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Research Institute of Medical Cell Technologies, Yekaterinburg, Russia

**INTRODUCTION:** Extracranial neurogenic tumors in children are represented by neoplasms of the sympathetic nervous system and adrenal medulla: ganglioneuromas, ganglioneuroblastomas and neuroblastomas. The main prognostic factors used to stratify patients into risk groups and, in many ways, determine the effectiveness of treatment are the histological type of the tumor and the presence of *MYCN* gene amplification.

**OBJECTIVE:** To evaluate the capabilities of quantitative MRI to determine the histological variant of neurogenic tumors and predict the presence of *MYCN* gene amplification in children.

**MATERIALS AND METHODS:** We retrospectively analyzed the data of 110 patients with primary peripheral neurogenic tumors who underwent therapy or received an advisory opinion at the D. Rogachev National Medical Research Center for Pediatric Orthopedics and Pediatric Orthopedics in the period from 2012 to 2022. with diagnoses of ganglioneuroma — 12, mixed ganglioneuroblastoma — 10, neuroblastoma — 88. The age of patients at the time of diagnosis ranged from 15 days to 16 years, median age — 17 months. Before surgery and therapeutic interventions, all patients underwent diffusion-weighted MRI and a tumor biopsy to determine *MYCN* gene amplification using FISH.

**Statistics:** To determine the threshold values of the apparent diffusion coefficient (ADC) of neurogenic tumors of various histological structures, as well as with the presence and absence of *MYCN* gene amplification, ROC analysis (receiver operating characteristic) was used. Differences in qualitative parameters in the studied groups of patients were analyzed using the  $\chi^2$  test, and quantitative ones — using the Mann-Whitney and Kruskal-Wallis tests.

**RESULTS:** Threshold values of the ADC index were determined to reliably differentiate neurogenic tumors rich in Schwann stroma (ganglioneuromas and ganglioneuroblastomas,  $ADC \geq 1.25 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) and neuroblastomas, as well as neuroblastomas without *MYCN* gene amplification ( $0.78 < ADC < 1.25 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) and with the presence of amplification ( $ADC \leq 0.78 \text{ mm}^2/\text{s}$ ). In the first case, sensitivity was 0.95, specificity — 0.94; in the second — 0.94 and 0.75, respectively.

**DISCUSSION:** Our data indicate the possibility of separating histological types of neurogenic tumors on the basis of quantitative MRI; the ADC value makes it possible to differentiate ganglioneuromas and ganglioneuroblastomas from neuroblastoma, as well as to distinguish neuroblastoma with the presence of *MYCN* gene amplification and without this genetic event. Non-invasive quantitative MRI makes it possible to assess the entire tumor volume at the diagnostic stage, and an extremely low ADC value radiogenomic sign for the presence of *MYCN* gene amplification in neuroblastoma.

**CONCLUSION:** Quantitative MRI with determination of ADC of neurogenic tumors allows not only to separate the histological variants of neurogenic tumors, but also to predict the presence of *MYCN* gene amplification as the most unfavorable genetic marker of neuroblastomas.

**KEYWORDS:** radiogenomics of neurogenic tumors, apparent diffusion coefficient, MRI in children, quantitative MRI, neuroblastoma, *MYCN* gene amplification, ganglioneuroma, ganglioneuroblastoma

\*For correspondence: Galina V. Tereshchenko, e-mail: Galina.Tereshchenko@fccho-moscow.ru.

**For citation:** Tereshchenko G.V., Lopatina V.A., Zemtsova L.V., Konovalov D.M., Andreeva N.A., Shamanskaya T.V., Novichkova G.A., Kachanov D.Yu., Druy A.E. Radiogenomics of neurogenic tumors in children: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 25–34, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-25-34>.

**Введение.** Экстракраниальные нейрогенные опухоли у детей представлены новообразованиями симпатической нервной системы и мозгового вещества надпочечников. На основании доли зрелой шванновской стромы в объеме опухоли, они подразделяются на богатые шванновской стромой ганглионеврому и ганглионейробластому и бедную шванновской стромой нейробластому [1].

Нейробластома, подразделяющаяся, в свою очередь, на недифференцированную, низкодифференцированную и дифференцирующуюся формы, пред-

ставляет собой наиболее распространенную экстракраниальную солидную опухоль у детей. На ее долю приходится около 8% от всех злокачественных новообразований в детском возрасте [2, 3].

Прогноз эффективности лечения периферических нейрогенных опухолей определяется, в первую очередь, степенью дифференцировки клеточных элементов и объемом содержания шванновской стромы, то есть гистологическим вариантом опухоли. При этом прогноз нейробластомы варьируется в широких пределах от опухолей, склонных к спонтанной

регрессии и созреванию, до высокоагрессивных форм, и не может быть определен только на основании гистопатологических свойств опухоли. Множество факторов характеризуют степень агрессивности нейробластомы и лежат в основе стратификации пациентов на группы риска, среди них возраст на момент постановки диагноза, распространенность опухолевого процесса и генетические признаки опухолевых клеток [3, 4]. Основными цитогенетическими aberrациями, определяющими неблагоприятное течение нейробластомы и ганглионейробластомы, являются амплификация гена *MYCN*, делеция короткого плеча хромосомы 1 и делеция длинного плеча хромосомы 11. При этом только амплификация гена *MYCN* является универсальным негативным прогностическим маркером опухоли, имеющим критическое значение для выбора терапии, согласно основным национальным и международным протоколам лечения нейробластомы [4–7].

Амплификация гена *MYCN*, встречающаяся с частотой до 25% случаев нейробластомы, приводит к конститутивной гиперэкспрессии транскрипционного фактора N-MYC, что приводит к стимуляции пролиферации, репликативной иммортализации и блокированию дифференцировки опухолевой клетки. Данный эффект достигается за счет индукции генов *TERT*, *ODC1*, *CDK4*, *MDM2*, *AURKA* и репрессии *RARA*, *RXRA*, *RORA* [8–10]. Определение амплификации гена *MYCN* является обязательным для выбора риск-адаптированной терапии. Основные методы выявления aberrации — флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH), различные варианты ПЦР и сравнительная геномная гибридизация, предполагающие анализ клеток опухоли и выделенной из них ДНК. Таким образом, получение опухолевого материала необходимо как для морфологической верификации опухолевого процесса, так и для определения прогностически значимых генетических aberrаций, включая амплификацию гена *MYCN*. При этом малый возраст ребенка или наличие жизнеугрожающих состояний препятствует выполнению хирургического вмешательства и сдвигает фокус в сторону малоинвазивных или неинвазивных диагностических технологий, не уступающих в информативности биопсии. Так, протокол немецкой группы по изучению нейробластомы NB2004 позволяет оценивать наличие неблагоприятных цитогенетических маркеров опухоли в цитологических образцах костного мозга пациентов с 4 стадией нейробластомы, при условии содержания более 60% опухолевых клеток в препарате. Исследование циркулирующей опухолевой ДНК также может служить источником информации о наличии неблагоприятных генетических маркеров, в частности, амплификации гена *MYCN* или наличия сегментарных хромосомных aberrаций. В этом случае молекулярно-генетическими методами выбора будут цифровая ПЦР, сравнительная геномная гиб-

ридизация или полногеномное секвенирование с низким покрытием [11, 12].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) не сопровождается лучевой нагрузкой, дает информацию о локализации солидной опухоли, ее объеме, наличии метастазов, позволяет определить факторы хирургического риска опухоли. Возможность получения информации о всем массиве новообразования с последующей количественной оценкой, позиционирует МРТ как способ неинвазивной оценки структуры и клеточности опухоли [13]. В исследованиях S. Gassenmaier и соавт. и H. Neubauer и соавт. было показано, что коэффициент диффузии, определяемый с помощью диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии (DWI МРТ), находится в обратной зависимости от содержания быстро пролиферирующих примитивных клеток, и напротив, увеличивается при возрастании содержания стромы и зрелого компонента в опухоли. Будучи гетерогенными по содержанию недифференцированного и дифференцированного компонентов, шванновской стромы, нейрогенные опухоли имеют различный коэффициент диффузии, позволяющий уверенно отличать нейробластому от ганглионейробластомы и ганглионевромы [13, 14]. Нейробластома с амплификацией гена *MYCN* характеризуется незрелым фенотипом, чаще всего являясь недифференцированной или низкодифференцированной. Ожидаемо, что данные опухоли будут иметь меньший коэффициент диффузии, по сравнению с опухолями, без амплификации гена *MYCN*, имеющими более зрелый фенотип. Данная гипотеза была подтверждена H. Neubauer и соавт. на ограниченной выборке пациентов, где было показано, что нейробластома с амплификацией *MYCN* характеризуется меньшим измеряемым коэффициентом диффузии (ИКД), чем опухоли без данной aberrации [14]. Установление зависимости между ИКД и наличием амплификации гена *MYCN* на значительной когорте пациентов позволило бы использовать DWI МРТ для прецизионной неинвазивной диагностики нейробластомы.

**Материалы и методы.** Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ НМИЦ ДГОИ имени Дмитрия Рогачева, протокол № 9э/4-20, от 18.12.2020, во всех случаях получены информированные согласия родителей или законных представителей пациентов для обработки персональных данных и медицинской документации пациентов.

Ретроспективно были проанализированы данные 110 пациентов с первичными периферическими нейрогенными опухолями различной степени дифференцировки, проходивших терапию или получавших консультативное заключение по представленным клиническим данными и данным визуализации в НМИЦ ДГОИ имени Дмитрия Рогачева в период с 2012 по 2022 г. Всем пациентам выполнена биопсия или резекция опухоли с последующим патоморфологическим и цитогенетическим исследованием материала

в НМИЦ ДГОИ имени Дмитрия Рогачева, а также DWI МРТ до выполнения хирургической операции и начала химиотерапии.

Определение амплификации гена *MYCN* методом FISH было выполнено на фиксированной и залитой в парафиновый блок ткани опухоли с использованием зондов N-MYC, 2p24.3, Red/LAF4, 2q11.2, Green (OGT, UK). Интерпретация результатов исследования осуществлялась, согласно протоколу NB2004. В случае четырехкратного преобладания количества сигналов от региона 2p24.3 над количеством сигналов от региона 2q11.2 делался вывод о наличии амплификации, при соотношении 1,5–4 — об увеличении числа копий *MYCN*, не достигающего порога амплификации, при равном количестве сигналов от указанных регионов — о нормальном числе копий гена *MYCN*.

Исследуемая когорта включала 12 пациентов с ганглионевромами, 10 — со смешанными ганглионейробластомами, 88 — с нейробластомами. Возраст пациентов на момент постановки диагноза находился в диапазоне от 15 дней до 16 лет, медиана возраста составила 17 месяцев.

Все пациенты с ганглионевромами и ганглионейробластомами имели локализованную опухоль и относились к группе наблюдения, согласно критериям протокола NB2004. Распределение пациентов с нейробластомой по стадиям было следующим: стадия 1 — 9 пациентов, стадия 2 — 20 пациентов, стадия 3 — 12 пациентов, стадия 4 — 30 пациентов, стадия 4S — 17 пациентов. 53 пациента относились к группе наблюдения, 9 — к группе промежуточного риска, 26 — к группе высокого риска. Амплификация гена *MYCN* была выявлена у 16 пациентов с нейробластомой (18,2%), из них у двух пациентов была 2 стадия опухоли, у двух — стадия 4S, у 12 — стадия 4. Также двух пациентов (2,3%) было выявлено увеличение числа копий гена *MYCN*, не достигающее порога амплификации. Среди пациентов с ганглионевромами и ганглионейробластомами аберрации гена *MYCN* не были выявлены ни в одном случае.

Всем пациентам до проведения диагностических и терапевтических вмешательств было проведено МРТ исследование с выполнением диффузионно-взвешенных изображений (DWI) и построением карт для определения измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). 78 пациентов, проходивших лечение в НМИЦ ДГОИ имени Дмитрия Рогачева, были обследованы на томографах Philips Achieva с индукцией магнитного поля 3 Тл и GE Signa, с индукцией магнитного поля 1,5 Тл с использованием поверхностных 8-канальных катушек для сканирования тела. Данные визуализации 32 пациентов, присланные в НМИЦ ДГОИ имени Дмитрия Рогачева на официальный референс, были выполнены на аппаратах марок Philips, GE и Siemens с индукцией магнитного поля 1,5 Тл. Все исследования состояли из стандартных МРТ последовательностей

области шеи, органов грудной клетки, брюшной полости, малого таза в зависимости от зоны интереса. DWI входили в стандартный пакет исследования и включали в себя получение карт диффузии (DWI 3b) по 3 b-факторам (50; 600; 800). Далее с использованием рабочей станции Philips (ISP 9.0, Philips, Netherlands) проводилось картирование DWI, полученных на томографе Philips и сбор данных измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ). Картирование DWI, полученных на томографах GE Signa и Siemens, проводилось в программе OsiriX (Швейцария). Выбор трех зон интереса ИКД выполнялся тремя независимыми рентгенологами в объеме опухоли на трех разных срезах в солидном компоненте опухоли с одинаковой площадью  $10 \text{ мм}^2$ . Учитывалось среднее значение ИКД, полученное при исследовании трех зон интереса.

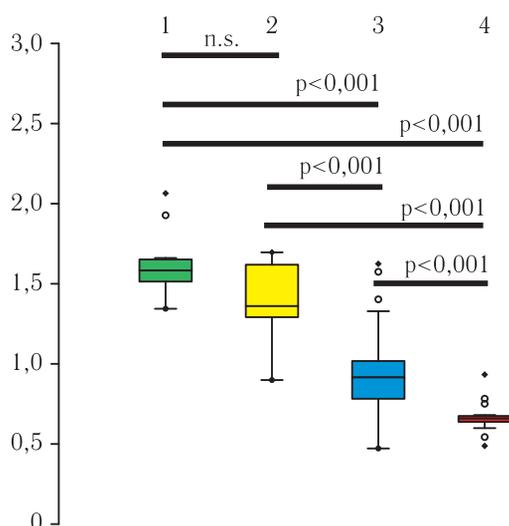
Статистический анализ был выполнен в программе XLSTAT 2021 (Addinsoft, Франция). Для определения пороговых значений ИКД, позволяющих разделять опухоли богатые (ганглионеврома и ганглионейробластома) и бедные (нейробластома) шванновской стромой, а также опухоли с наличием и отсутствием амплификации гена *MYCN*, был применен ROC-анализ (receiver operating characteristic). Различия качественных параметров в исследуемых группах пациентов анализировались с использованием критерия  $\chi^2$ , а количественных — с помощью критериев Манна–Уитни и Крускала–Уоллиса.

**Результаты.** Величина ИКД анализируемых опухолей находилась в диапазоне  $0,48\text{--}2,07 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Медиана ИКД ганглионевромы составила  $1,59 \text{ SD } 0,21 \text{ мм}^2/\text{с}$ , ганглионейробластома —  $1,37 \text{ SD } 0,25 \text{ мм}^2/\text{с}$ , нейробластома —  $0,86 \text{ SD } 0,23 \text{ мм}^2/\text{с}$ . При этом опухоли с амплификацией гена *MYCN* характеризовались меньшим значением медианы ИКД  $0,67 \text{ SD } 0,10 \text{ мм}^2/\text{с}$ , по сравнению с нейробластомами, имеющими нормальное количество копий гена *MYCN* —  $0,92 \text{ SD } 0,23 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Два пациента с увеличением числа копий гена *MYCN* в клетках опухоли имели ИКД, равные  $0,67$  и  $0,48 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Учитывая тот факт, что протокол NB2004 не подразумевает изменения группы риска пациента при выявлении увеличения числа копий гена *MYCN*, в дальнейшем данные пациенты рассматривались в группе больных, имеющих нормальное число копий гена *MYCN*.

Получены достоверные различия в уровне ИКД между ганглионевромами и нейробластомами, ганглионейробластомами и нейробластомами, а также между нейробластомами с наличием и отсутствием амплификации гена *MYCN*, уровень значимости с поправкой Бонферрони —  $0,008$ . При этом различий в уровне ИКД среди опухолей, богатых шванновской стромой (ганглионевромы и ганглионейробластома), отмечено не было (рис. 1).

Среди пациентов с нейробластомой наименьшие показатели ИКД опухоли были отмечены у больных, имеющих клинические неблагоприятные прогности-

ческие факторы. Пациенты с 4 стадией нейробластомы имели ИКД первичного очага  $0,68 \text{ SD } 0,18 \text{ мм}^2/\text{с}$ , что было значительно ниже ИКД опухолей 1, 2, 3 и 4S стадий, которые между собой достоверно не различались (медиана  $1,09 \text{ SD } 0,29 \text{ мм}^2/\text{с}$ ;  $0,95 \text{ SD } 0,21 \text{ мм}^2/\text{с}$ ;  $0,92 \text{ SD } 0,19 \text{ мм}^2/\text{с}$  и  $0,94 \text{ SD } 0,23 \text{ мм}^2/\text{с}$  соответственно), уровень значимости с поправкой Бонферрони —  $0,005$  (рис. 2).



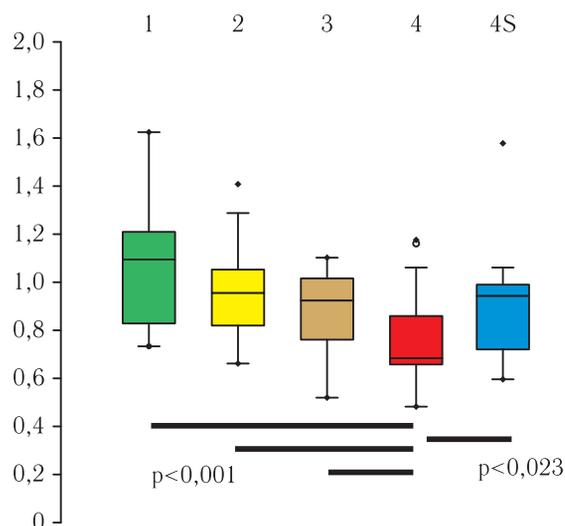
**Рис. 1.** Измеряемый коэффициент диффузии ганглионевром (1), ганглионейробластом (2), нейробластом с отсутствием (3) и наличием (4) амплификации гена *MYCN*  
**Fig. 1.** Measured diffusion coefficient of ganglioneuroma (1), ganglioneuroblastoma (2), neuroblastoma with absence (3) and presence (4) of *MYCN* gene amplification

ИКД опухолей (ганглионейробластом и нейробластом) у пациентов, относящихся к группе наблюдения, напротив, был значительно выше ( $0,96 \text{ SD } 0,23 \text{ мм}^2/\text{с}$ ), чем у пациентов групп промежуточного и высокого риска ( $0,86 \text{ SD } 0,14 \text{ мм}^2/\text{с}$  и  $0,67 \text{ SD } 0,17 \text{ мм}^2/\text{с}$ ), уровень значимости с поправкой Бонферрони —  $0,017$ . Аналогично больные нейробластомой в возрасте до 18 месяцев ( $n=61$ ) характеризовались значительно большим ИКД опухоли ( $0,93 \text{ SD } 0,24 \text{ мм}^2/\text{с}$ ), по сравнению с больными старше 18 месяцев ( $n=27$ ,  $0,76 \text{ SD } 0,18 \text{ мм}^2/\text{с}$ ),  $p=0,001$ .

Учитывая наличие достоверных различий в уровне ИКД опухолей богатых и бедных шванновской стромой ( $p=1,53 \times 10^{-10}$ ) и нейробластомы с наличием и отсутствием амплификации гена *MYCN* ( $p=9,17 \times 10^{-6}$ ), был использован ROC-анализ для определения пороговых значений ИКД, позволяющих различать данные типы опухолей, таким образом, осуществляя неинвазивную диагностику морфологического варианта опухоли и статуса гена *MYCN*, как основного генетического прогностического фактора.

ROC-анализ показал, что введение порогового значения ИКД, равного  $1,25 \text{ мм}^2/\text{с}$ , позволяет достоверно дифференцировать опухоли богатые (ганглионеврома и ганглионейробластома) и бедные (нейробластома) шванновской стромой,  $p < 0,001$ , площадь под ROC-кривой —  $0,96$ , чувстви-

тельность —  $0,95$ , специфичность —  $0,94$  (рис. 3, а). Аналогично уровень ИКД опухоли, соответствующий  $0,78 \text{ мм}^2/\text{с}$ , позволяет уверенно различать нейробластому с наличием и отсутствием амплификации гена *MYCN* ( $p < 0,001$ ), площадь под ROC-кривой —  $0,84$ , чувствительность —  $0,94$ , специфичность —  $0,75$  (рис. 3, б).

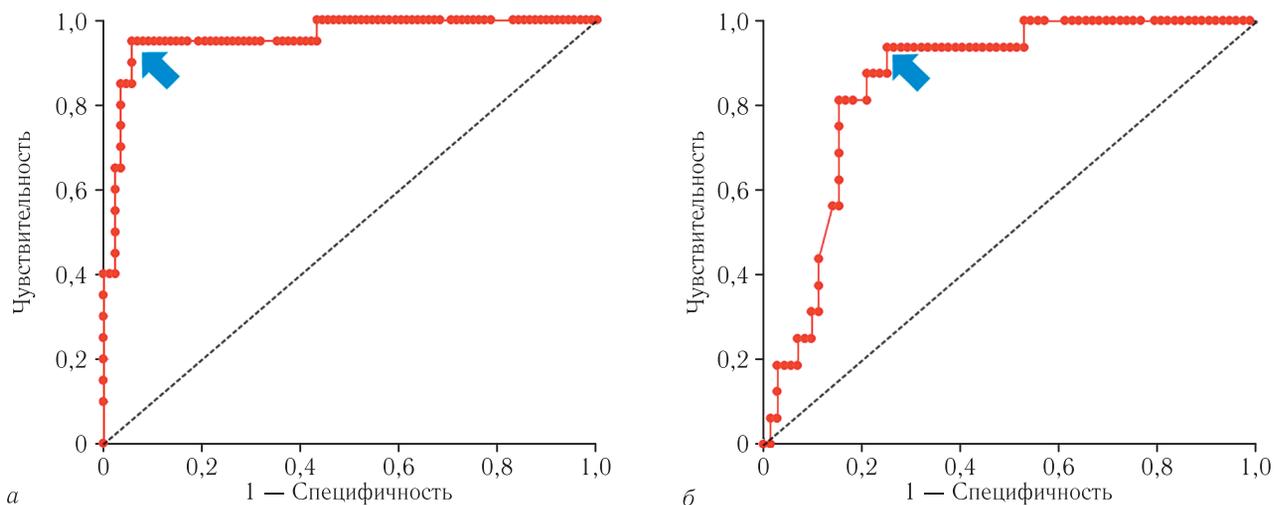


**Рис. 2.** Измеряемый коэффициент диффузии нейробластом в зависимости от стадии заболевания, INSS (для стадий 4 и 4S приведены показатели ИКД первичного очага)  
**Fig. 2.** Measured diffusion coefficient of neuroblastomas depending on the stage of the disease, INSS (for stages 4 and 4S, the ICD of the primary lesion is given)

На рис. 4 суммированы величины ИКД всех проанализированных случаев с обозначением пороговых значений, позволяющих дифференцировать ганглионевромы и ганглионейробластомы (ИКД  $\geq 1,25 \text{ мм}^2/\text{с}$ ) от нейробластомы без амплификации гена *MYCN* ( $0,78 < \text{ИКД} < 1,25 \text{ мм}^2/\text{с}$ ) и с наличием амплификации (ИКД  $\leq 0,78 \text{ мм}^2/\text{с}$ ) на основании количественной МРТ.

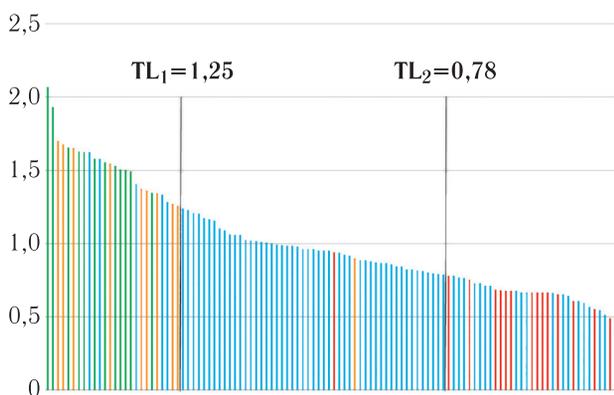
Обращают на себя внимание два случая с нетипичными для соответствующих групп значениями ИКД. В одном из них у ребенка 21 мес опухоль надпочечника состояла из полей зрелой шванновской стромы с разбросанными ганглиозными клетками различной степени зрелости и участков низкодифференцированных и дифференцирующихся нейробластов в окружении сети нейропиля, что соответствует диагнозу смешанная ганглионейробластома. Согласно данным цитогенетического исследования, клетки опухоли не имели прогностически значимых aberrаций (амплификации гена *MYCN*, делеций 1p и 11q), но были триплоидны по анализируемым и референсным локусам хромосом 1, 2 и 11. При этом ИКД опухоли составил  $0,90 \text{ мм}^2/\text{с}$ , что не характерно для опухолей, богатых шванновской стромой. Пациентка была стратифицирована в группу наблюдения и находится в продолжающейся ремиссии в течение 42 мес.

Во втором случае у ребенка 14 мес опухоль средостения на светооптическом уровне имела гнездное



**Рис. 3.** ROC-кривые, соответствующие разделению нейрогенных опухолей богатых и бедных шванновской стромой (а) и нейробластомы с отсутствием и наличием амплификации гена *MYCN* (б) на основании измеряемого коэффициента диффузии опухоли. Пороговые значения обозначены стрелкой

**Fig. 3.** ROC curves corresponding to the separation of neurogenic tumors rich and poor in Schwann stroma (а) and neuroblastoma with the absence and presence of *MYCN* gene amplification (б) based on the measured tumor diffusion coefficient. Threshold values are indicated by an arrow



**Рис. 4.** Величины измеряемого коэффициента диффузии проанализированных нейрогенных опухолей (ганглионевромы обозначены зеленым цветом, ганглионейробластомы — желтым, нейробластомы без амплификации *MYCN* — синим, нейробластомы с амплификацией *MYCN* — красным) с указанием пороговых значений, позволяющих разделять опухоли, богатые и бедные шванновской стромой ( $TL_1$ ), и нейробластомы с отсутствием и наличием амплификации гена *MYCN* ( $TL_2$ )

**Fig. 4.** The values of the measured diffusion coefficient of the analyzed neurogenic tumors (ganglioneuromas are indicated in green, ganglioneuroblastomas are indicated in yellow, neuroblastomas without *MYCN* amplification are indicated in blue, neuroblastomas with *MYCN* amplification are indicated in red), indicating the threshold values that allow the separation of tumors rich and poor in Schwann stroma ( $TL_1$ ) and neuroblastomas with absence and presence of *MYCN* ( $TL_2$ ) gene amplification

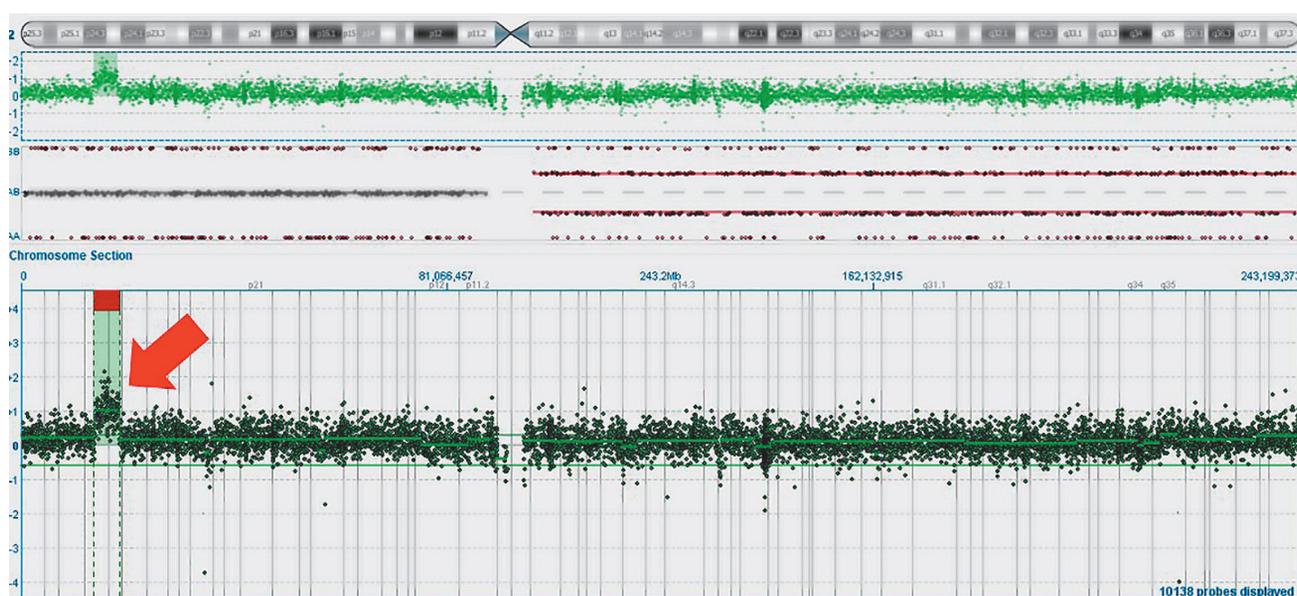
строение и была сформированная мелкими клеточными элементами с высоким ядерно-цитоплазматическим соотношением. Ядра опухолевых клеток округлые с мелкоглыбчатым хроматином. Между клетками определялось тонкосетчатое слабозозинофильное

вещество (нейропиль). Между гнездами опухоли были отмечены тонкие тяжи волокнистой стромы. Таким образом, был верифицирован диагноз низкодифференцированной нейробластомы, бедный стромой вариант, с низким индексом митоз-кариорексис. При исследовании методом FISH была обнаружена амплификация гена *MYCN*. ИКД опухоли составлял  $0,94 \text{ мм}^2/\text{с}$ , что значительно превосходит значения, полученные для нейробластомы с амплификацией гена *MYCN*. Для установления типа и истинных генетических границ аберрации, геномная ДНК, выделенная из фиксированной ткани опухоли, была исследована методом сравнительной геномной гибридизации с использованием чипов CytoSure Cancer + SNP Arrays  $4 \times 180\text{K}$  (OGT, Великобритания). На коротком плече хромосомы 2 была выявлена аберрация  $\text{arr}[\text{hg}19] \quad 2\text{p}24.3\text{p}24.2(13757965-18367872) \times 4$ , включающая ген *MYCN* и соответствующая увеличению числа копий, не достигающего порога амплификации на фоне трисомии 2 (рис. 5). Также были обнаружены моносомия 9 и увеличение числа копий  $17\text{q}22\text{q}25.3$ . На основании обнаружения амплификации гена *MYCN* методом FISH, больная была стратифицирована в группу высокого риска и получила соответствующую терапию. В настоящее время пациентка находится в ремиссии с периодом наблюдения 65 мес.

**Обсуждение.** Современная диагностика периферических нейрогенных опухолей предполагает не только исследование патоморфологии новообразования, но и обязательное определение цитогенетических аберраций, имеющих прогностическое значение. Морфологический вариант опухоли, как и наличие аберраций, является основанием для выбора терапевтической стратегии: ганглионевромы рассматриваются как доброкачественные опухоли, не требующие проведения специфического систем-

ного лечения, тогда как амплификация гена *MUSN* служит универсальным предиктором агрессивной формы нейробластомы и ганглионейробластомы. Для нейрогенных опухолей отмечен высокий уровень внутриопухолевой гетерогенности, проявляющийся в виде скопления недифференцированных нейробластов среди массива дифференцированной опухоли, наличия гетерогенной амплификации *MUSN* или субклональных генетических aberrаций (мутаций или аномалий числа копий хромосомных регионов). Морфологическое, цитогенетическое или молекулярное исследование всего массива опухоли позволяет достоверно выявлять признаки внутриопухолевой гетерогенности, однако одномоментное удаление всего новообразования зачастую невозможно, особенно в случае наличия хирургических факторов риска, определяемых при визуализации.

Полученные нами данные свидетельствуют о возможности уверенного разделения гистологических типов нейрогенных опухолей (ганглионевром, ганглионейробластом от нейробластом) на основании единственного суррогатного МР-маркера — ИКД. Величина ИКД, равная  $1,25 \text{ мм}^2/\text{с}$  позволяет с вероятностью 96% дифференцировать опухоли богатые и бедные шванновской стромой. Более важным результатом исследования оказалась возможность прогнозировать наличие амплификации гена *MUSN* на основании величины ИКД опухоли. Опухоли с ИКД менее  $0,78 \text{ мм}^2/\text{с}$  с вероятностью 84% имеют амплификацию *MUSN*. При этом на сегодняшний день очевидно, что не только активация *MUSN* определяет агрессивное течение нейробластомы — в формировании фенотипа опухоли высокого и ультравысокого риска вносят вклад



**Рис. 5.** Увеличение числа копий региона 2p24.3p24.2, не достигающее порога амплификации (обозначено стрелкой)  
**Fig. 5.** Increase in the number of copies of the 2p24.3p24.2 region, not reaching the amplification threshold (indicated by an arrow)

Методы медицинской визуализации позволяют оценить распространенность опухоли и неинвазивно исследовать весь объем новообразования, в том числе в частях, недоступных для биопсии. Данные количественной МРТ позволяют косвенно судить о клеточности выбранного объема ткани, пролиферативной активности клеток, содержании стромы. Одним из интегральных показателей, характеризующих клеточный состав региона интереса, является ИКД, находящийся в обратной зависимости от доли стромы и зрелого компонента опухоли.

Математические модели, основанные на данных количественной МРТ и текстурного анализа опухоли, позволяют уверенно разделять гистологические варианты нейрогенных опухолей (богатые и бедные шванновской стромой) [15], однако их эффективность в прогнозировании наличия амплификации гена *MUSN* не превышает 78% [16].

мутации в генах, кодирующих компоненты сигнальных путей RAS и p53 и активация канонического или альтернативного механизма удлинения теломер [8]. Таким образом, выделение подгруппы нейробластомы с экстремально ограниченной диффузией может стать не только признаком опухолей с амплификацией гена *MUSN*, но универсальным радиогеномным маркером всех агрессивных вариантов нейробластомы вне зависимости от драйверного молекулярно-генетического события. Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности неинвазивного определения биологических характеристик остаточных после резекции компонентов опухоли, которые, в силу внутриопухолевой гетерогенности, могут отличаться от удаленного фрагмента опухоли, исследованного в лабораторных условиях. При этом возможности количественной МРТ в прогнозировании наличия амплификации гена *MUSN*

могут быть ограничены феноменом гетерогенной амплификации, при котором абберация выявляется в части опухолевых клеток и ограничение диффузии опухолевого очага может быть недостаточно выраженным. Кроме того, в исследование не были включены случаи ганглионейробластомы с наличием амплификации гена *MYCN*, которые, несмотря на редкость встречаемости, могут быть некорректно интерпретированы на основании данных количественной МРТ.

**Заключение.** МРТ с количественной оценкой всего объема опухоли, открывает возможности неинвазивного исследования клеточного состава и биологических характеристик периферических нейрогенных опухолей. Предоперационное проведение МРТ

позволяет определить, как хирургические факторы риска, так и регионы опухоли с наибольшим ограничением диффузии, лабораторное исследование которых позволит снизить гиподиагностику неблагоприятных прогностических маркеров, возникающую по причине внутриопухолевой гетерогенности. МР-исследование резидуальных компонентов опухоли позволит оценивать их потенциал злокачественности на основании ИКД. Количественная МРТ представляется перспективной с точки зрения прогнозирования наличия неблагоприятных молекулярно-генетических аббераций в клетках опухоли, однако полученные данные нуждаются в валидации в рамках проспективных исследований с оценкой вклада различных факторов риска в исход заболевания.

#### Сведения об авторах:

*Терещенко Галина Викторовна* — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог, заведующая отделением рентгенологии, руководитель научного отдела лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Galina.Tereshchenko@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0001-7317-7104;

*Лопатина Вера Алексеевна* — врач-рентгенолог, сотрудник научного отдела федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Vera.Lopatina@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0003-3093-8086;

*Земцова Людмила Васильевна* — биолог лаборатории молекулярной онкологии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Ludmila.Zemcova@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0002-0993-9183;

*Коновалов Дмитрий Михайлович* — кандидат медицинских наук, врач-патологоанатом, заведующий патологоанатомическим отделением федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Dmitry.Konovalov@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0001-7732-8184;

*Андреева Наталья Александровна* — детский онколог федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Nataliya.Andreeva@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0001-5626-218X;

*Шаманская Татьяна Викторовна* — доктор медицинских наук, врач — детский онколог, заведующая отделом изучения эмбриональных опухолей федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Tatyana.Shamanskaya@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0002-3767-4477;

*Новичкова Галина Анатольевна* — доктор медицинских наук, профессор, врач — детский гематолог, генеральный директор федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Galina.Novichkova@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0002-2322-5734;

*Качанов Денис Юрьевич* — доктор медицинских наук, врач — детский онколог, заведующий отделением клинической онкологии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; e-mail: Denis.Kachanov@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0002-0993-9183;

*Друй Александр Евгеньевич* — кандидат медицинских наук, врач-генетик, заведующий лабораторией молекулярной онкологии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Саморы Машела, д. 1; научный сотрудник Института медицинских клеточных технологий Российской Федерации, 20026, Екатеринбург, ул. Карла Маркса, д. 22а; e-mail: Alexander.Druy@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0003-1308-8622.

#### Information about the authors:

*Galina V. Tereshchenko* — Cand. of Sci. (Med.), radiologist, head of the radiology department, head of the scientific department of radiology diagnostics «Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Galina.Tereshchenko@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0001-7317-7104;

*Vera A. Lopatina* — radiologist, employee of the scientific department «Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Vera.Lopatina@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0003-3093-8086;

*Ljudmila V. Zemtsova* — biologist of the laboratory of molecular oncology Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Ludmila.Zemcova@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0002-0993-9183;

*Dmitry M. Konovalov* — Cand. of Sci. (Med.), pathologist, head of the pathological department «Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Dmitry.Konovalov@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0001-7732-8184;

*Natalya A. Andreeva* — pediatric oncologist «Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Nataliya.Andreeva@fccho-moscow.ru; ORCID 0000–0001–5626–218X;

*Tatyana V. Shamanskaya* — Dr. of Sci. (Med.), pediatric oncologist, head of the department for the study of embryonic tumors Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Tatyana.Shamanskaya@fccho-moscow.ru; ORCID 0000–0002–3767–4477;

*Galina A. Novichkova* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, pediatric hematologist, General «Director Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Galina.Novichkova@fccho-moscow.ru; ORCID 0000–0002–2322–5734;

*Denis Yu. Kachanov* — Dr. of Sci. (Med.), pediatric oncologist, head of the department of clinical oncology «Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; e-mail: Denis.Kachanov@fccho-moscow.ru; ORCID 0000–0002–0993–9183;

*Alexander E. Druy* — Cand. of Sci. (Med.), geneticist, head of the laboratory of molecular oncology «Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology» Russian Federation; 117997, Moscow, Samory Machela, 1; Researcher at the Institute of Medical Cell Technologies of the Russian Federation, 22 Karl Marx St., Yekaterinburg, 20026; e-mail: Alexander.Druy@fccho-moscow.ru; ORCID 0000–0003–1308–8622.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *Г. В. Терещенко, А. Е. Друй, Т. В. Шаманская, Д. Ю. Качанов, Г. А. Новичкова*; сбор и математический анализ данных — *Г. В. Терещенко, А. Е. Друй, В. А. Лопатина, Л. В. Земцова, Д. М. Коновалов, Н. А. Андреева*; подготовка рукописи — *Г. В. Терещенко, А. Е. Друй*.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution aided in the concept and plan of the study — *TGV, DAE, ShTV, KDYu, NGA*; provided collection and mathematical analysis of data — *TGV, DAE, LVA, ZLV, KDM, ANA*; preparation of the manuscript — *TGV, DAE*.

**Потенциальный конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Соответствие принципам этики:** Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ НМИЦ ДГОИ имени Дмитрия Рогачева, протокол № 9э/4-20, от 18.12.2020. Информированное согласие получено от каждого законного представителя пациента.

**Adherence to ethical standards:** The study was approved by the Ethics Committee of Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, № 9э/4-20, from 18.12.2020 Informed consent is obtained from all patients.

Поступила/Received: 19.10.2023

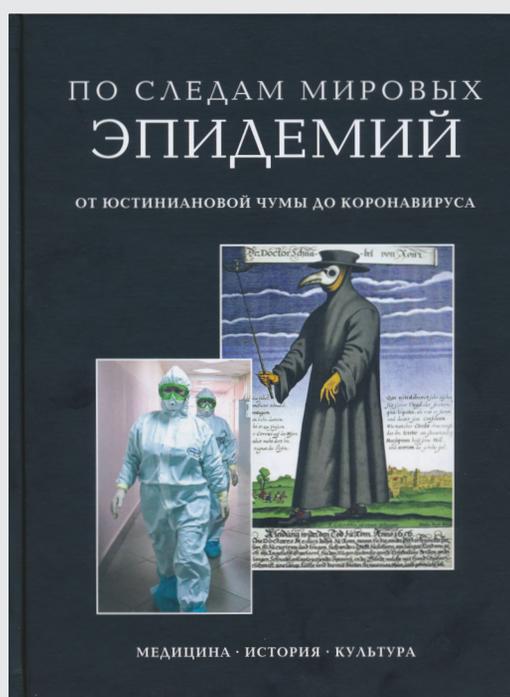
Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Nakazawa A., Haga C., Ohira M., Okita H., Kamijo T., Nakagawara A. Correlation between the International Neuroblastoma Pathology Classification and genomic signature in neuroblastoma // *Cancer Sci.* 2015. Vol. 106, No. 6. P. 766–771. doi: 10.1111/cas.12665.
2. Monclair T., Brodeur G.M., Ambros P.F. et al. The International Neuroblastoma Risk Group (INRG) staging system: an INRG Task Force report // *Journal of clinical oncology: official journal of the American Society of Clinical Oncology.* 2009. Vol. 2, No. 27. P. 298–303. doi: 10.1200/JCO.2008.16.6876.
3. London W.B., Castleberry R.P., Matthay K.K. et al. Evidence for an age cutoff greater than 365 days for neuroblastoma risk group stratification in the Children's Oncology Group // *Journal of clinical oncology: official journal of the American Society of Clinical Oncology.* 2005. Vol. 23, No. 23. P. 6459–6465, doi: 10.1200/JCO.2005.05.571.
4. Cohn S.L., Pearson A.D., London W.B. et al. The International Neuroblastoma Risk Group (INRG) classification system: an INRG Task Force report // *J. Clin. Oncol.* 2009. Vol. 27, No. 2. P. 289–297. doi: 10.1200/JCO.2008.16.6785.
5. Attiyeh E.F., London W.B., Mossé Y.P. et al. Chromosome 1p and 11q deletions and outcome in neuroblastoma // *N. Engl. J. Med.* 2005. Vol. 353, No. 21. P. 2243–2253. doi: 10.1056/NEJMoa052399.
6. Berthold F., Spix C., Kaatsch P., Lampert F. Incidence, Survival, and Treatment of Localized and Metastatic Neuroblastoma in Germany 1979-2015 // *Paediatr Drugs.* 2017. Vol. 19, No. 6. P. 577–593. doi: 10.1007/s40272-017-0251-3.
7. Liang W.H., Federico S.M., London W.B., Naranjo A., Irwin M.S., Volchenboum S.L., Cohn S.L. Tailoring Therapy for Children With Neuroblastoma on the Basis of Risk Group Classification: Past, Present, and Future // *JCO Clin Cancer Inform.* 2020. Vol. 4. P. 895–905. doi: 10.1200/CCI.20.00074.
8. Ackermann S., Cartolano M., Hero B. et al. A mechanistic classification of clinical phenotypes in neuroblastoma // *Science.* 2018. Vol. 362, No. 6419. P. 1165–1170. doi: 10.1126/science.aat6768.
9. Kumps C., Fieuw A., Mestdagh P., et al. Focal DNA copy number changes in neuroblastoma target MYCN regulated genes // *PLoS One.* 2013. Vol. 8, No. 1. e52321. doi: 10.1371/journal.pone.0052321.
10. Zhang Q., Zhang Q., Jiang X., et al. Collaborative ISL1/GATA3 interaction in controlling neuroblastoma oncogenic pathways overlapping with but distinct from MYCN // *Theranostics.* 2019. Vol. 9, No. 4. P. 986–1000. doi: 10.7150/thno.30199.
11. Chicard M., Boyault S., Colmet Daage L. et al. Genomic Copy Number Profiling Using Circulating Free Tumor DNA Highlights Heterogeneity in Neuroblastoma // *Clin. Cancer Res.* 2016. Vol. 22, No. 22. P. 5564–5573. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-16-0500.
12. Van Roy N., Van Der Linden M., Menten B. et al. Shallow Whole Genome Sequencing on Circulating Cell-Free DNA Allows Reliable Noninvasive Copy-Number Profiling in Neuroblastoma Patients // *Clin. Cancer Res.* 2017. Vol. 23, No. 20. P. 6305–6314. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-17-0675.

13. Gassenmaier S., Tsiflikas I., Fuchs J. et al. Feasibility and possible value of quantitative semi-automated diffusion weighted imaging volumetry of neuroblastic tumors // *Cancer Imaging*. 2020. Vol. 20 (1). P. 89. doi: 10.1186/s40644-020-00366-3.
14. Neubauer H., Li M., Müller V.R., Pabst T., Beer M. Diagnostic Value of Diffusion-Weighted MRI for Tumor Characterization, Differentiation and Monitoring in Pediatric Patients with Neuroblastic Tumors // *RoFo Fortschritte auf dem Gebiet der Rontgenstrahlen und der Bildgebenden Verfahren*. 2017. Vol. 7, No. 189. P. 640–650. doi: 10.1055/s-0043-108993.
15. Wang H., Chen X., Yu W. et al. Whole-tumor radiomics analysis of T2-weighted imaging in differentiating neuroblastoma from ganglioneuroblastoma/ganglioneuro- ma in children: an exploratory study // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2023. Vol. 48, No. 4. P. 1372–1382. doi: 10.1007/s00261-023-03862-9.
16. Ghosh A., Yekeler E., Teixeira S.R. Role of MRI radiomics for the prediction of MYCN amplification in neuroblastomas // *Eur. Radiol.* 2023. Vol. 33, No. 10. P. 6726–6735. doi: 10.1007/s00330-023-09628-7. Epub 2023 May 13.



#### Авторы:

Н. А. Беляков, Т. Н. Трофимова, Е. Н. Кулагина, Д. В. Митюрин,  
А. К. Тучапский, В. В. Фирсов, Ю. Б. Шелаев, Е. П. Шелаева

В издании собраны и изложены в исторической последовательности материалы, относящиеся к эпидемиям и пандемиям наиболее опасных для человечества заболеваний. Показано, какое влияние оказывали они на общий ход истории и различные стороны человеческого бытия, на развитие науки, прежде всего медицины, техники, производства, как отразились в искусстве и литературе. Представлена целая галерея ученых, внесших весомый вклад в борьбу со смертоносными инфекциями. В книгу вошло около 430 иллюстраций. Издание рассчитано на медицинских работников и широкий круг читателей.

**ПРИБРЕСТИ КНИГУ ВЫ МОЖЕТЕ НА САЙТЕ  
БАЛТИЙСКОГО МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА  
<https://bmoc-spb.ru/izdat/>, тел.: (812) 956-92-55**

УДК 616.24-073.756.8

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-35-44>

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЦИДИВИРУЮЩЕЙ ГЛИАЛЬНОЙ ОПУХОЛИ И ЛУЧЕВОГО НЕКРОЗА МЕТОДОМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

<sup>2,3</sup>А. С. Шершевер<sup>✉\*</sup>, <sup>3</sup>Е. А. Дайнеко<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>С. Н. Соловьева<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Е. Е. Сулова<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Е. Ф. Аскарлова<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Свердловский областной онкологический диспансер, Екатеринбург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Дифференциальная диагностика между рецидивом глиомы и лучевым некрозом представляет собой актуальную нейрохирургическую и рентгенологическую проблему ввиду отсутствия патогномичных признаков разделения этих процессов с помощью магнитно-резонансной томографии. Для решения данной задачи перспективным представляется использование систем поддержки врачебных решений (СППР) с помощью классификации объекта на МРТ-изображениях.

**ЦЕЛЬ:** Разработка и практическая апробация методики дифференциальной диагностики лучевого некроза и рецидивирующей глиальной опухоли на МРТ-изображениях с использованием математических моделей обработки медицинских изображений.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Анализ существующих на данный момент основных методов дифференциальной диагностики рецидива глиальной опухоли и лучевого некроза с описанием основных недостатков. Разработка пакета алгоритмических, структурных и математических моделей предлагаемого решения: прототип приложения и интерфейса. Проведение практической апробации предлагаемой методики в рамках динамического обследования 78 пациентов с глиальными опухолями Grade III–IV — МРТ головного мозга с контрастным усилением через 1, 3, 6, 9, 12 месяцев после оперативного вмешательства и курса химиолучевой терапии.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** На основании результатов практической апробации предлагаемой методики дифференциальной диагностики с использованием СППР были получены результаты о высокой точности детекции участков рецидива и некроза на МРТ-изображениях (97,4%).

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Многообразие научных работ с описанием способов дифференциации рецидива ГОГМ и ЛН на основе МРТ-диагностики подтверждает актуальность тематики статьи в медицинском научном сообществе. Нами разработан метод ДД рецидива ГОГМ и ЛН с использованием МРТ ГМ с КУ, ввиду того, что это наиболее доступный метод диагностики в послеоперационном периоде и курса ХЛТ.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Представленная в статье методика дифференциальной диагностики лучевого некроза и рецидива глиомы с использованием системы поддержки принятия врачебных решений позволяет врачу-нейрохирургу и химиотерапевту своевременно корректировать лечебную тактику, тем самым улучшая показатели выживаемости пациентов с глиальными опухолями Grade III–IV.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нейрохирургия, дифференциация, моделирование, текстурный анализ, классификация, МРТ

\* Для корреспонденции: Шершевер Александр Сергеевич, e-mail: [shershever@mail.ru](mailto:shershever@mail.ru).

Для цитирования: Шершевер А.С., Дайнеко Е.А., Соловьева С.Н., Сулова Е.Е., Аскарлова Е.Ф. Разработка методики дифференциальной диагностики рецидивирующей глиальной опухоли и лучевого некроза по МРТ-изображениям с использованием системы поддержки принятия врачебных решений // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 35–44, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-35-44>.

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSTIC OF A RECURRENT GLIAL TUMOR FROM RADIATION NECROSIS BY CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MRI IMAGES

<sup>1</sup>Svetlana N. Solovieva<sup>✉</sup>, <sup>2,3</sup>Alexander S. Shershever<sup>✉\*</sup>, <sup>3</sup>Elizaveta A. Daineko<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Elizaveta E. Surova<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>Elizaveta F. Askarova<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary, Ekaterinburg, Russia

**INTRODUCTION:** Identification of brain glioma recurrence and necrosis — is actual neurosurgical problem, due to an absence of particular radiological signs on MRI image. Especially in the early stages. Identification of brain glioma recurrence and necrosis on MRI images — is a problem of object's classification on medical images. Depending on this, an issue of chemotherapy is decided.

**OBJECTIVE:** Development and practical approbation of a method for differential diagnostic of a recurrent glial tumor from radiation necrosis on MRI images by using mathematical model of medical image's processing.

**MATERIALS AND METHODS:** Analysis of existing methods for differential diagnostic of a recurrent glial tumor from radiation necrosis and description of principal deficiencies' description. Authors proposed an algorithm for differential diagnostic of a recurrent glial tumor from radiation necrosis. Development of algorithmic, structural and mathematical models for proposed solution: prototype of an app and an interface. Testing of proposed method on the practice: dynamic examination for 98 patients with brain glioma Grade III–IV — brain MRI with contrast enhancement 1, 3, 6, 9, 12 months after surgical intervention and a chemotherapy.

**RESULTS:** As a result of practical approbation, authors' noticed that this method has a high level of brain glioma recurrence and radial necrosis detection (97,4%).

**DISCUSSION:** The variety of scientific papers describing ways to differentiate recurrence of glial brain tumors and radiation necrosis based on MRI diagnostics confirms the relevance of the topic of the article in the medical scientific community. We have developed a method of differential diagnosis using MRI of the brain with contrast enhancement, due to the fact that this is the most accessible method of diagnosis in the postoperative period and a course of chemoradiotherapy.

**CONCLUSION:** A high-precision method for differential diagnosis of radial necrosis and brain glioma recurrence using a clinical decision support system allows the neurosurgeon to timely adjust treatment tactics, thereby improving the survival rates of patients with Grade III–IV glial tumors.

**KEYWORDS:** neurosurgery, differentiation, modeling, texture analysis, classification, MRI

\* For correspondence: Alexander S. Shershever, e-mail: shershever@mail.ru.

**For citation:** Soloveva S.N., Shershever A.S., Daineko E.A., Surova E.E., Askarova E.F. Development of a method for differential diagnostic of a recurrent glial tumor from radiation necrosis by clinical decision support system for MRI images // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 35–44, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-35-44>.

**Введение.** Глиальные опухоли головного мозга (ГОГМ) Grade III–IV — это группа опухолей с инфильтративным, быстро прогрессирующим ростом. Несмотря на развитие нейрохирургических методов лечения, медиана выживаемости таких пациентов составляет около двух лет, а пятилетняя выживаемость не превышает 10% [1].

Согласно статистике за 2023 год в США глиобластомы составили более 2% всех случаев злокачественных опухолей головного мозга [2].

В Российской Федерации по данным Каприна и соавт. [3] заболеваемость злокачественными опухолями головного и других отделов ЦНС среди пациентов обоих полов на 2020 год составила 5,75 на 100 000 населения. Среди них ГОГМ составили не менее 50% [3].

У 70–80% пациентов с ГОГМ Grade III–IV в течение года после оперативного вмешательства формируется рецидив, который в 70% случаев диагностируется лишь на поздних этапах — спустя 3–6 месяцев после химиолучевой терапии (ХЛТ), когда химиотерапия уже не оказывает существенного влияния на скорость прогрессии рецидива, что приводит к значительному снижению выживаемости [4].

Основной причиной несвоевременной диагностики рецидива ГОГМ является отсутствие в методах нейровизуализации патогномичных критериев для рецидива опухоли и лучевого некроза (ЛН) на ранних этапах после ХЛТ.

На первоначальном этапе диагностики дифференциация ЛН и рецидива ГОГМ проводится по данным

МРТ головного мозга с контрастным усилением на основании визуальной оценки характера накопления контрастного вещества в операционном ложе опухоли; чувствительность — 94%, специфичность — 64% [5]. Очаги накопления контрастного вещества являются маркерами нарушения гематоэнцефалического барьера (ГЭБ). Однако на ранних этапах после ХЛТ нарушение ГЭБ, степень распространения перифокального отека не являются специфичными маркерами для рецидива опухоли или ЛН. В первые 3 месяца после ХЛТ в зоне облучения происходит радиационно-индуцированное повреждение эндотелия, что приводит к повышению проницаемости ГЭБ и нарастанию перифокального отека. Исходом лучевого повреждения эндотелия сосудов в более поздние сроки после ХЛТ является фибриноидный некроз, который уже не определяется на МРТ как очаг накопления контраста [6]. При опухолевом росте накопление контрастного вещества обусловлено другим патофизиологическим процессом — активным ангиогенезом (образованием новых сосудов), опережающим темпы формирования ГЭБ вокруг новообразованных сосудов [7].

Методом выбора в дифференциальной диагностике рецидива ГОГМ и ЛН служит перфузионная МРТ. Для оценки перфузии используется показатель объемного мозгового кровотока (ОМК), который отражает состояние капиллярного русла: значения  $ОМК > 1,47$  имеют чувствительность 81,5% и специфичность — 77,8% в дифференциальной диагностике

псевдопрогрессии на фоне ЛН и опухолевой прогрессии [8]. Участки со сниженной перфузией свидетельствуют об отсутствии опухолевого роста, а выявленные изменения на МРТ в таком случае будут являться ЛН. Данный метод диагностики обладает высокой специфичностью при значениях ОМК ниже 0,6 (ЛН), выше 2,6 (рецидив ГОГМ). При получении промежуточных значений ОМК, которые часто наблюдаются в раннем периоде после ХЛТ, точность дифференциальной диагностики значительно снижается [9].

Для оценки метаболического статуса зон накопления контрастного вещества используют позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) в сочетании с компьютерной томографией (КТ). В качестве радифармпрепарата используют  $^{11}\text{C}$ -метионин: он не определяется или его накопление значительно ниже в зонах ЛН, чем в зонах рецидива ГОГМ, чувствительность метода достигает 90,1%, специфичность — 93,9%. Однако в первые 3 месяца после ХЛТ  $^{11}\text{C}$ -метионин способен накапливаться в зонах ЛН за счет ускоренного синтеза белка в делящихся клетках, участвующих в воспалительных процессах и зонах микрососудистой пролиферации, что делает крайне затруднительной визуальную дифференциацию этих патологических изменений врачом-радиологом [10].

Таким образом, остается актуальным вопрос разработки новых алгоритмов, включающих в себя получение дополнительных критериев для анализа врачом-рентгенологом, которые позволили бы повысить точность дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ.

Таким образом, разработка методик дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН, особенно на основе использования СППР, остается актуальной и обсуждаемой из года в год проблематикой, которую затруднительно полноценно решить в рамках отдельно взятого предлагаемого решения.

**Цель.** Разработка и практическая апробация методики дифференциальной диагностики некроза и рецидивирующей ГОГМ на МРТ-изображениях с использованием математических моделей обработки медицинских изображений.

**Материалы и методы.** Исследование одобрено этическим Комитетом ГАУЗ СО «Свердловский областной онкологический диспансер» Екатеринбурга. Выписка из протокола № 03 от 30.04.2020 г. Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией о правах человека. Все пациенты, поступившие с диагнозом «опухоль головного мозга», были прооперированы в ГАУЗ СО СООД.

После проведенного анализа существующих на данный момент основных методов дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН и выявления их недостатков, описанных выше, была произведена разработка нового диагностического алгоритма. Гипотеза, обозначенная авторами для разработки алгоритма дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН по МРТ-изображениям

с использованием систем поддержки принятия врачебных решений (СППР), способствует повышению точности дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН уже на раннем этапе динамического наблюдения за пациентами (первые 3 месяца).

Алгоритм основан на получении и дальнейшем анализе врачами-рентгенологами текстурных признаков, характерных для рецидива (качественные маркеры наличия ангиогенеза, деления опухолевых клеток, нарушения ГЭБ, показателя ОМК в капиллярном русле более 2,6) и ЛН (качественные маркеры наличия повреждения клеток нейроглии с внеклеточным протеолизом, демиелинизации, фибриноидного некроза артериол в ложе опухоли, нарушения ГЭБ, показателя ОМК в капиллярном русле менее 0,6). Эти текстурные признаки являются результатом компьютерной обработки МРТ-изображений ГМ с помощью программного обеспечения (ПО) «Медицинская экспертная система интеллектуальной диагностики» (Регистрационное удостоверение на медицинское изделие № РЗН 2020/11153 от 15.09.2020 г.). Разработка ПО проводилась на основе базы данных с верифицированными гистологическими случаями рецидива ГОГМ и ЛН по МРТ, семантической сегментации зон интереса для подготовки данных к машинному обучению.

В группу врачей-рентгенологов, осуществляющих практическую апробацию алгоритма, входили пять врачей ГАУЗ СО СООД с опытом работы в МРТ-диагностике опухолей головного мозга от 10 до 25 лет.

Выборку для апробации составляли пациенты с ГОГМ Grade III–IV, которым проводилось исследование МРТ ГМ спустя месяц после ХЛТ и дальнейшее динамическое наблюдение по данным МРТ-исследований в течение года ежеквартально.

На рис. 1 представлена последовательность предлагаемого диагностического алгоритма дифференциации рецидива ГОГМ и ЛН по МРТ-изображениям.

На этапе «Проведение МРТ с КВ» проводится МРТ-исследование с получением стандартного набора импульсных последовательностей: SE и TSE последовательности (T1- и T2-ВИ), FLAIR, SWI/SWAN, DWI, карты измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Далее исследование передается на рабочую станцию врача-рентгенолога для дальнейшего описания.

На рис. 1 показано, что к блоку загрузки МРТ в ПО для просмотра медицинских изображений добавлен блок «Использование дополнительного ПО для автоматической обработки МРТ-изображений», что приводит к изменениям в блоке анализа и интерпретации данных, ввиду получения дополнительных текстурных признаков, определенная комбинация которых позволяет врачу-рентгенологу производить дифференциальную диагностику рецидива ГОГМ и ЛН.

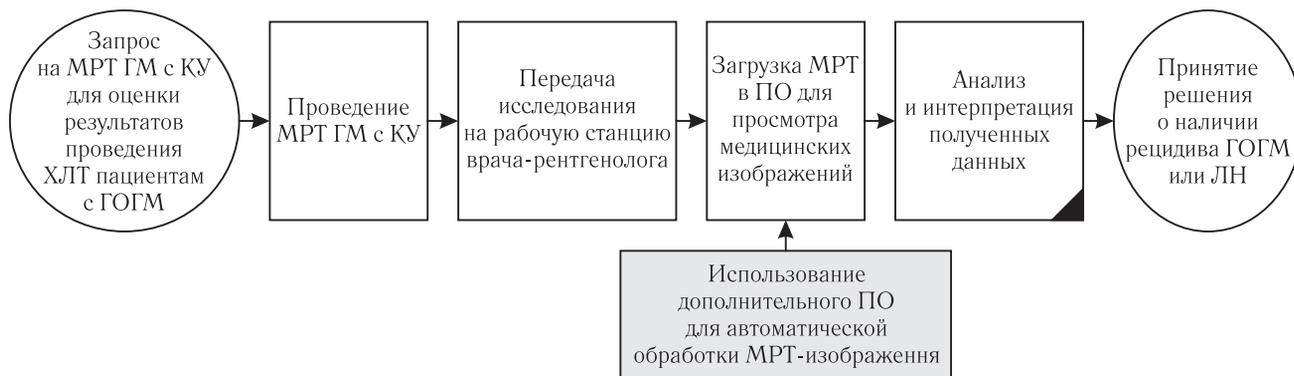
На этапе «Анализ и интерпретация полученных данных», помимо качественных признаков, описанных выше, врачу-рентгенологу доступна для анализа цветовая карта разметки зон рецидива и ЛН

(с представлением процентного соотношения данных зон в постоперационном ложе), отражающая комбинаторику текстурных признаков.

Для апробации предлагаемого рентгенологического диагностического алгоритма было проведено исследование 78 пациентов с ГОГМ Grade III–IV с помощью МРТ с КУ. Данные пациенты были прооперированы период с 2020 по 2021 г. в ГАУЗ СО

дления обработки МРТ-изображений с помощью программы на основе СППР было установлено, что у 25 (53%) — МР-признаки ЛН.

**Результаты.** После проведенного обследования пациентам обеих групп было рекомендовано динамическое наблюдение — проведение МРТ головного мозга с КУ каждые три месяца на фоне проведения ХТ, на протяжении двенадцати месяцев.



**Рис. 1.** Рентгенологический алгоритм дифференциации некроза и рецидива глиомы  
**Fig. 1.** Radiologic algorithm for differentiation of necrosis and recurrence of glioma

СООД. После оперативного лечения всем пациентам был проведен курс ХЛТ. Контрольное исследование МРТ головного мозга с КУ выполнялось через месяц после курса ХЛТ. После проведения исследования пациенты были разделены на две группы:

I (31 пациент — 39,7%): врачи-рентгенологи описывали наличие ЛН. После проведения обработки МРТ-изображений с помощью программы на основе СППР было установлено, что у 24 (77%) — МР-признаки рецидива ГОГМ.

II (47 пациентов — 60,3%): врачи-рентгенологи описывали наличие рецидива ГОГМ. После прове-

данные, полученные при обработке МРТ-изображений с помощью программы на основе СППР, в течение всего времени наблюдения оставались идентичными первому результату (см. описания групп пациентов). Результаты динамического МРТ-исследования пациентов клинических групп (заключения врачей-рентгенологов) представлены в таблице.

Таким образом, в конце динамического наблюдения за пациентами (спустя 12 месяцев) были получены данные о соответствии описаний врачей-рентгенологов результатам компьютерной обработки МРТ-изоб-

**Результаты динамического контроля над пациентами за период проведения четырех исследований МРТ головного мозга с контрастным усилением в течение года** Таблица

**Comparative analysis of DD methods for GBT and RN recurrence** Table

Показатель		I группа (пациенты с постлучевым некрозом по первичным заключениям врачей-рентгенологов)	II группа (пациенты с рецидивом глиальных опухолей по первичным заключениям врачей-рентгенологов)
Результаты первичного обследования с использованием СППР	<b>Рецидив</b>	24 пациента (77%)	22 пациента (47%)
	<b>Некроз</b>	7 пациентов (23%)	25 пациентов (53%)
Результаты 1-го МРТ-мониторинга (через 3 месяца после ДЛТ)	Рецидив	19 пациентов (61,2%)	17 пациентов (36,2%)
	Некроз	12 пациентов (38,8%)	30 пациентов (63,8%)
Результаты 2-го МРТ-мониторинга (через 6 месяцев после ДЛТ)	Рецидив	21 пациент (67,7%)	20 пациентов (42,6%)
	Некроз	10 пациентов (32,3%)	27 пациентов (57,4%)
Результаты 3-го МРТ-мониторинга (через 9 месяцев после ДЛТ)	Рецидив	22 пациента (71%)	22 пациента (47%)
	Некроз	9 пациентов (29%)	25 пациентов (53%)
Результаты 4-го МРТ-мониторинга (через 12 месяцев после ДЛТ)	<b>Рецидив</b>	22 пациента (71%)	22 пациента (47%)
	<b>Некроз</b>	9 пациентов (29%)	25 пациентов (53%)

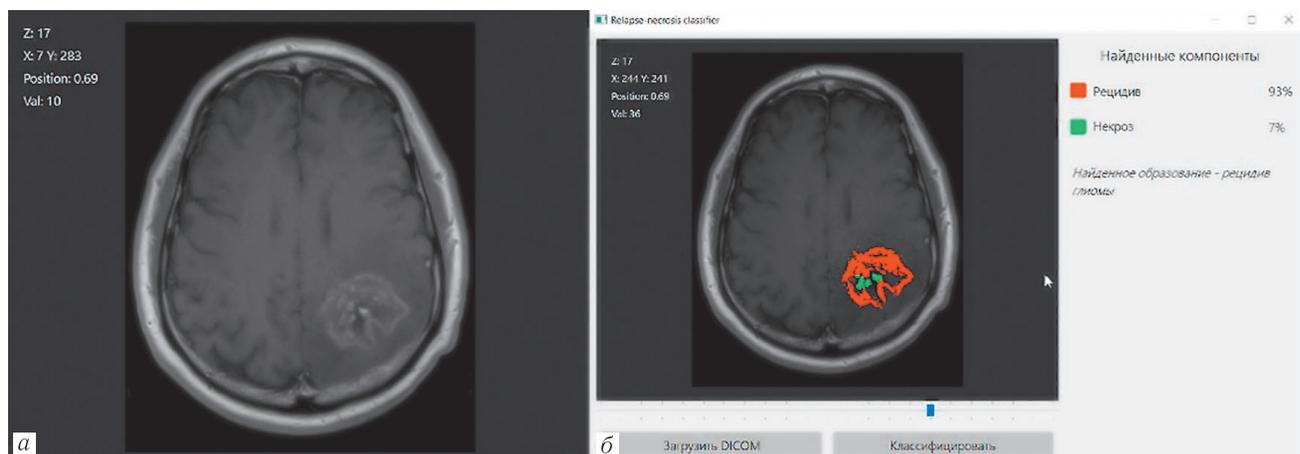
Примечание: полужирным шрифтом выделены результаты первичной компьютерной обработки медицинских изображений через 4 недели после ХЛТ и итоговые результаты мониторинга пациентов в динамике через 12 месяцев.

Note: the results of initial computerized processing of medical images 4 weeks after CHRT and the results of patient monitoring after 12 months highlighted in large font.

ражений с использованием СППР (еще через месяц после ХЛТ) на 97,4% (точность алгоритма).

У двух пациентов из 78 после обработки МРТ ГМ были получены данные о наличии участков рецидива, в то время как в ходе наблюдения за пациентами было установлено, что эти участки повышенного накопления контрастного вещества являлись зонами ЛН.

Ниже приведены описания клинических примеров пациентов, участвующих в практической апробации диагностического алгоритма.



**Рис. 2.** *а* — МРТ пациента Т., 48 лет, с диагнозом «Опухоль левой теменной доли». Субтотальное удаление опухоли левой теменной доли. Гистология: злокачественная опухоль из нервных клеток (лимфома исключена); *б* — результат обработки МРТ-изображения. Зеленым цветом выделены зоны ЛН, красным цветом — зоны рецидива ГОГМ

**Fig. 2.** *a* — MRI of patient T., 48 years old with the diagnosis «Left parietal lobe tumor». Subtotal removal of the left parietal lobe tumor. Histology: malignant tumor from nerve cells (lymphoma excluded); *b* — result of MRI image processing. Areas of RN are highlighted in green, areas of GBT recurrence are highlighted in red

На рис. 2, *а* представлено МРТ-изображение ГМ с КУ в T1+C последовательности пациента Т., 48 лет с диагнозом: «Опухоль левой теменной доли. Субтотальное удаление опухоли левой теменной доли. Гистология: злокачественная опухоль из нервных клеток (лимфома исключена). Учитывая выраженную атипичность клеток и митотическую активность, данную опухоль можно отнести к глиобластоме (Grade IV)»: в левой теменной области определяется очаг гетерогенной структуры за счет формирующихся участков ЛН, с неравномерным накоплением КВ.

В связи с тем, что зоны накопления КВ на данном медицинском изображении не имеют визуальных различительных признаков (имеют идентичные характеристики динамических процессов накопления КВ), а также в связи с ранним проведением МРТ ГМ данному пациенту после ХЛТ и отсутствием увеличения степени смещения срединных структур (в сравнении с МРТ ГМ, выполненной непосредственно после операции), врачи-рентгенологи установили, что участки накопления контрастного вещества в ложе опухоли имеют единое происхождение и являются участками ЛН.

На рис. 2, *б* представлены результаты обработки МРТ-изображения данного пациента. Получены результаты цветового картирования очага в левой теменной доле: на основании результатов текстурно-

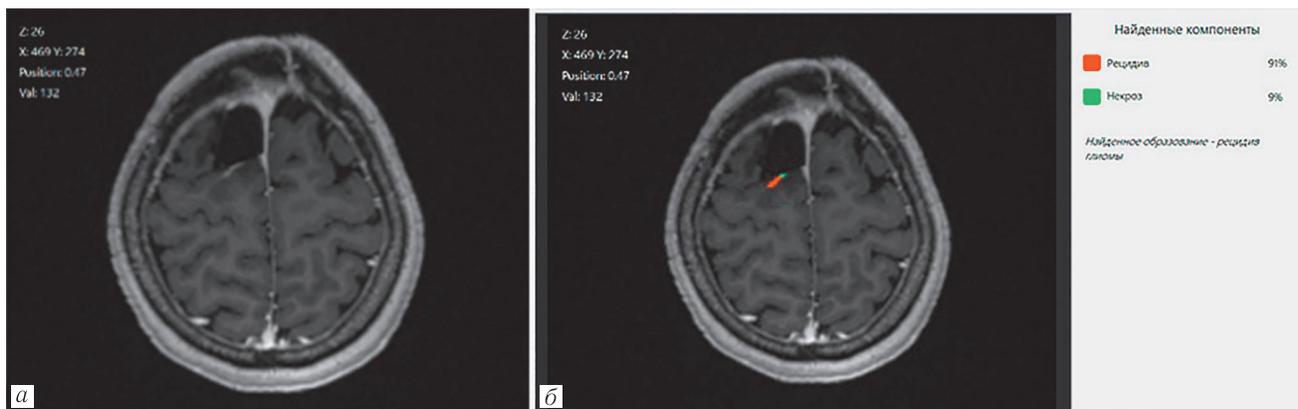
го анализа медицинского изображения в импульсной последовательности T1+C, получены данные о гетерогенности структуры участков накопления КВ — различных текстурных признаках, характерных для рецидива ГОГМ (93% площади очага) и для ЛН (7% площади очага), что послужило основанием для назначения ХТ.

На рис. 3–6 представлены результаты компьютерной обработки МРТ ГМ с КУ пациентки М., 51 года. Диагноз — опухоль правой лобной доли, Grade III.

Состояние после субтотального удаления опухоли правой лобной доли с УЗ-навигацией. В правой лобной доле сохраняется постоперационная киста, уменьшающаяся в размерах. Стенка кисты имеет гетерогенную структуру, неравномерно накапливающую КВ. Заключение врача-рентгенолога: состояние после субтотального удаления опухоли правой лобной доли: уменьшение размеров постоперационной кисты. Убедительных данных МРТ, свидетельствующих о наличии рецидива, не получено. Результаты компьютерной обработки: в ходе динамического наблюдения было установлено, что зона накопления КВ на 91% представлена рецидивом ГОГМ, на 9% — ЛН (рис. 3, *б*). При дальнейшем наблюдении за пациенткой размер зоны накопления КВ и процентного соотношения «рецидив/ЛН» увеличился до 97% (рецидив) и 3% (ЛН).

Ввиду наличия первичных данных о формирующемся рецидиве ГОГМ после проведения обработки медицинских изображений с использованием СППР и назначения ХТ стало возможным замедлить процесс роста зон рецидива у пациентов.

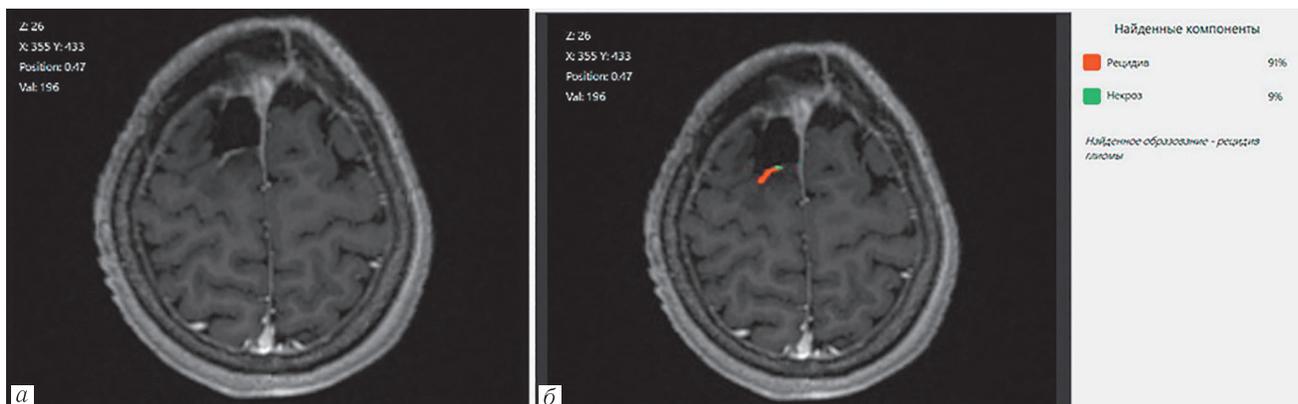
Точность первичной разметки зон рецидива и ЛН на цветовых картах, приведенных на рис. 2–6, была подтверждена в ходе апробации диагностического алгоритма тем, что всем пациентам проводилась МР-перфузия, данные которой оценивались консилиумом, состоящим из трех врачей-рентгенологов



**Рис. 3.** МРТ пациентки М., 51 год. Диагноз — опухоль правой лобной доли, Grade III. Состояние после субтотального удаления опухоли правой лобной доли с УЗ-навигацией. МРТ ГМ с КУ через месяц после оперативного вмешательства: *a* — до обработки. Заключение врача-рентгенолога: состояние после субтотального удаления опухоли правой лобной доли. Убедительных МРТ-данных, свидетельствующих о наличии рецидива, не получено; *б* — после обработки: зона накопления КВ на 91% представлена рецидивом ГОГМ, на 9% — ЛН

**Fig. 3.** MRI of patient M., 51 years old. Diagnosis — right frontal lobe tumor, Grade III. Status after subtotal removal of the right frontal lobe tumor with ultrasound navigation. MRI of the brain with CE one month after surgical intervention: *a* — before process. Radiologist's conclusion: condition after subtotal removal of the right frontal lobe tumor.

No convincing MR data for the presence of recurrence obtained; *б* — after process: the area of CA accumulation is 91% represented by GBT recurrence, 9% by RN



**Рис.4.** МРТ ГМ с КУ через 3 месяца после оперативного вмешательства: *a* — до обработки. Заключение врача-рентгенолога: состояние после субтотального удаления опухоли правой лобной доли. Уменьшение размеров постоперационной кисты. Убедительных МРТ-данных, свидетельствующих о наличии рецидива, не получено; *б* — после обработки: зона накопления КВ на 91% представлена рецидивом ГОГМ, на 9% — ЛН

**Fig. 4.** MRI of the brain with CE 3 months after surgical intervention: *a* — before process. Radiologist's conclusion: condition after subtotal removal of the right frontal lobe tumor. Reduction in the size of the postoperative cyst. No convincing MR data for the presence of recurrence obtained; *б* — after process: the area of CA accumulation is 91% represented by GBT recurrence, 9% by RN

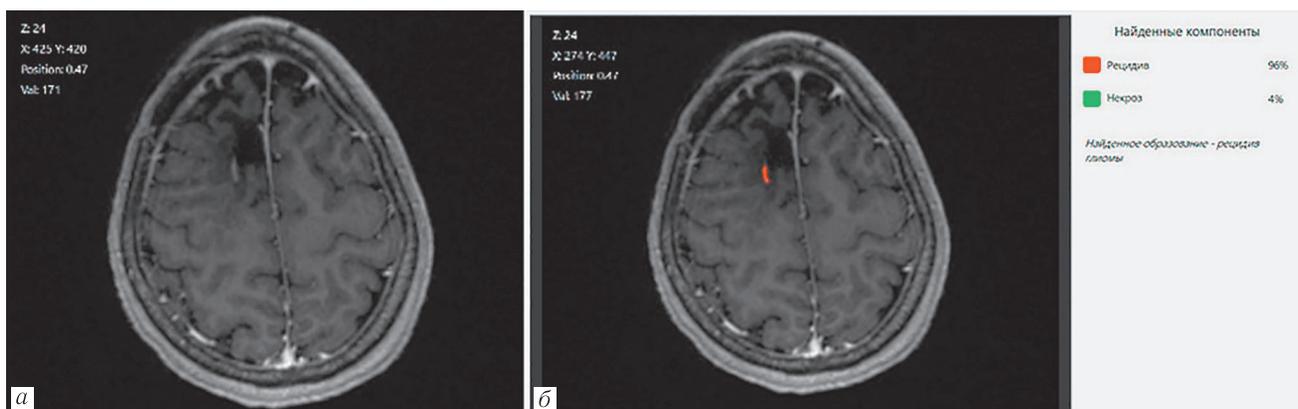
с экспертной квалификацией. В последующем результаты интерпретации МР-перфузии являлись «золотым стандартом», на который опирались при определении правильности совместной интерпретации МРТ-изображений врачом и алгоритмом.

**Обсуждение.** В настоящей статье основной задачей была разработка методики дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН, основываясь на объективных параметрических данных, полученных путем использования ПО на основе математических алгоритмов текстурного анализа медицинских изображений, тем самым минимизируя субъективную визуальную оценку врачом-рентгенологом участков накопления КВ на МРТ-изображениях,

которые вне зависимости от природы данных участков имеют идентичные параметры накопления КВ в динамике.

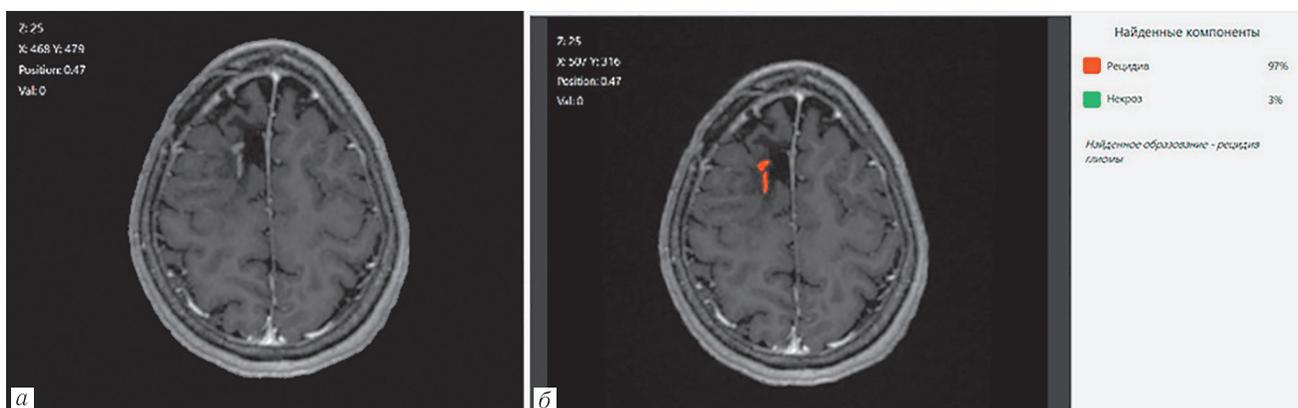
Наибольший интерес к разработке методов дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН для нас представляли именно исследования МРТ ГМ с КУ, ввиду того, что это наиболее доступный метод диагностики в послеоперационном периоде и курса ХЛТ.

Многообразие научных работ с описанием способов дифференциации рецидива ГОГМ и ЛН на основе МРТ-диагностики подтверждает актуальность данной тематики в медицинском научном сообществе [15]. В литературе описывают использование биофизиче-



**Рис. 5.** МРТ ГМ с КУ через 6 месяцев после оперативного вмешательства: *a* — до обработки. Заключение врача-рентгенолога: состояние после субтотального удаления опухоли правой лобной доли. Убедительных МР-данных за наличие рецидива не получено; *б* — после обработки: зона накопления КВ на 96% представлена рецидивом ГОГМ, на 4% — ЛН

**Fig. 5.** MRI of the brain with CE 6 months after surgical intervention: *a* — before process. Radiologist's conclusion: condition after subtotal removal of the right frontal lobe tumor. No convincing MR-data for the presence of recurrence obtained; *б* — after process: the area of CA accumulation is 96% represented by GBT recurrence, 4% by RN



**Рис. 6.** МРТ ГМ с КУ через 9 месяцев после оперативного вмешательства: *a* — до обработки. Заключение врача-рентгенолога: состояние после субтотального удаления опухоли правой лобной доли. Убедительных МР-данных, свидетельствующих о наличии рецидива, не получено; *б* — после обработки: зона накопления КВ на 97% представлена рецидивом ГОГМ, на 3% — ЛН

**Fig. 6.** MRI of the brain with CE 9 months after surgical intervention: *a* — before treatment. Radiologist's conclusion: condition after subtotal removal of the right frontal lobe tumor. No convincing MR-data for the presence of recurrence obtained; *б* — after treatment: the area of CA accumulation is 97% represented by GBT recurrence, 3% by RN

ской механистической модели прогнозирования клинически значимого изменения постоперационного ложа опухоли, созданной на основе использования постконтрастных T1-взвешенных МРТ-изображений, в сравнении с отеками, визуализированными на FLAIR, и использованием коэффициентов подобия DICE. На основе полученных коэффициентов и дополнительных радиомических признаков производилось формирование многомерных моделей логистической регрессии для прогнозирования радиационного некроза или прогрессирования опухоли [15].

В 2020 г. в JMIR Publication была опубликована статья [16], описывающая методику глубокого машинного обучения для автоматической дифференциации рецидива ГОГМ и ЛН также на основе МРТ с КУ с использованием нескольких импульсных последовательностей (ИП). Метод основывается на текстурном анализе T1, T2 T1+C ИП.

Результатом разработки модели на основе глубокой нейронной сети стало получение качественной идентификации очагов рецидива и ЛН. Метод показал себя как высокоточный метод детекции рецидива ГОГМ, ЛН, однако без параметрических показателей каждого структурного элемента послеоперационного ложа опухоли.

В 2021 г. был описан способ дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН на основе использования метода молекулярной визуализации, отражающий на медицинском изображении амидный перенос протонов [17]. При такой визуализации авторы предложили дополнительные параметрические данные: количественная оценка внутриклеточных подвижных белков и концентрация пептидов, характеризующие интенсивность процессов клеточного деления (чем выше уровень данных показателей, тем больше вероятность наличия рецидива

ГОГМ в зоне исследования). Эту методику допустимо применять лишь в совокупности с другими диагностическими модальностями, так как подобно ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином является отражением «смешанных» радиационно-индуцированных гистопатологических изменений.

Таким образом, можно говорить о том, что предложенная в данной статье методика дифференциальной диагностики рецидива ГОГМ и ЛН требует дальнейшей практической апробации для расширения выборки пациентов, расчета более точных параметров чувствительности и специфичности, и при выявлении недостатков методики — предложения и разработки путей их решения.

**Заключение.** В настоящей работе рассмотрена проблема ранней диагностики рецидива ГОГМ и ЛН, в связи с чем были проанализированы основные модальности, применяемые врачами для дифференциальной диагностики с кратким описанием их специфики и недостатков.

Ввиду наличия недостатков дифференциальной диагностики и актуальности проблемы остается важным решение вопроса ранней и точной дифференциации динамических изменений в послеоперационном ложе опухоли после ХЛТ.

Предложен рентгенологический алгоритм дифференциальной диагностики рецидивирующей ГОГМ и ЛН, основанный на анализе врачом-рентгено-

гом дополнительных текстурных признаков (описаны ранее), характерных для ЛН и рецидива ГОГМ, с их комбинаторикой и итоговым представлением в виде цветовой карты (см. рис. 2–6) и процентного соотношения зон рецидива ГОГМ и ЛН к общей площади зоны интереса. Получение данных признаков происходит путем текстурного анализа медицинских изображений МРТ головного мозга с КУ.

Предлагаемый рентгенологический алгоритм был апробирован на пациентах с глиальными опухолями ГМ Grade III–IV, поделенных на две группы: 1 — врачи-рентгенологи описывали наличие рецидива ГОГМ; 2 — врачи-рентгенологи описывали наличие ЛН. Результатом практической апробации этого алгоритма являются данные о высокой точности (97,4%) идентификации рецидива ГОГМ и ЛН, особенно в течение первых 3 месяцев после ХЛТ, что позволяет врачу-рентгенологу дифференцировать на МРТ-изображении рецидив ГОГМ и ЛН.

Таким образом, применение предлагаемого алгоритма с использованием анализа врачом-рентгенологом дополнительных текстурных признаков, полученных путем компьютерной обработки МРТ-изображений с использованием ПО на основе технологии текстурного анализа, позволяет отличить рецидив ГОГМ и ЛН, что является предиктором для своевременной корректировки лечебной тактики врача-онколога-нейрохирурга.

#### Сведения об авторах:

*Соловьева Светлана Николаевна* — доктор экономических наук, профессор, академик РАЕН, доцент кафедры технической физики физико-технологического института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»; 620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19; e-mail: solovevasn@yandex.ru; ORCID 0000–0001–7294–5757;

*Шершевер Александр Сергеевич* — доктор медицинских наук, профессор кафедры нервных болезней, нейрохирургии и медицинской генетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; 620028, Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; нейрохирург, заместитель главного врача по научной работе государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Свердловский областной онкологический диспансер»; 620036, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Соболева, д. 29; e-mail: shershever@mail.ru; ORCID 0000–0002–8515–6017;

*Дайнеко Елизавета Александровна* — врач-радиолог-рентгенолог государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Свердловский областной онкологический диспансер»; 620036, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Соболева, д. 29; e-mail: liza-dajneko@yandex.ru; ORCID 0000–0002–5253–5870;

*Сурова Елизавета Евгеньевна* — студент-магистрант II курса магистратуры кафедры технической физики физико-технологического института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»; 620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19; e-mail: e.e.surova@gmail.com; ORCID 0000–0003–4124–758X;

*Аскарова Елизавета Филусовна* — студент-специалист VI курса кафедры технической физики физико-технологического института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»; 620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19; e-mail: liza\_askarova@mail.ru; ORCID 0000–0002–2870–8620.

#### Information about the authors:

*Svetlana N. Soloveva* — Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Associate Professor of Technical physics Department, Institute of Physics and Technology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin»; 620002, Urals Federal District, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Mira Str. 19; e-mail: solovevasn@yandex.ru; ORCID 0000–0001–7294–5757;

*Alexander S. Shershever* — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Neurology, Neurosurgery and Medical genetics, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ural state medical university»; 620028, Russia, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Repin str., 3; Deputy Chief Physician for Research, Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary; 4620036, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Soboleva st., 29; e-mail: shershever@mail.ru; ORCID 0000–0002–8515–6017;

*Elizaveta A. Dajneko* — radiologist of Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary; 620036, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Soboleva st., 29; e-mail: liza-dajneko@yandex.ru; ORCID 0000-0002-5253-5870;

*Elizaveta E. Surova* — the master of Technical physics Department, Institute of Physics and Technology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin»; 620002 Urals Federal District, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Mira Str. 19; e-mail: e.e.surova@gmail.com; ORCID 0000-0003-4124-758X;

*Elizaveta F. Askarova* — student-specialist of Technical physics Department, Institute of Physics and Technology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin»; 620002 Urals Federal District, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Mira Str., 19; e-mail: liza\_askarova@mail.ru; ORCID 0000-0002-2870-8620.

**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 — *С. Н. Соловьева, А. С. Шершевер, Е. А. Дайнеко*; сбор и математический анализ данных — *Е. Е. Сулова, Е. Ф. Аскарова*; подготовка рукописи — *С. Н. Соловьева, А. С. Шершевер, Е. А. Дайнеко, Е. Е. Сулова, Е. Ф. Аскарова*.

**Authors' contributions:** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *SNS, ASSh, EAD* aided in the concept and plan of the study; *EES, EFA* provided collection and mathematical analysis of data; *SNS, ASSh, EAD, EES, EFA* preparation of the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare no conflicts of interest.

**Соответствие принципам этики.** Исследование одобрено этическим Комитетом ГАУЗ СО «Свердловский областной онкологический диспансер» Екатеринбург. Выписка из протокола № 03 от 30.04.2020 г., информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards.** The study was approved by the Ethics Committee of the State Autonomous Healthcare Institution of the Sverdlovsk region «Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary» of Yekaterinburg. Extract from Protocol No. 03 dated 30.04.2020, and informed consent obtained from each patient.

Поступила/Received: 24.01.2024

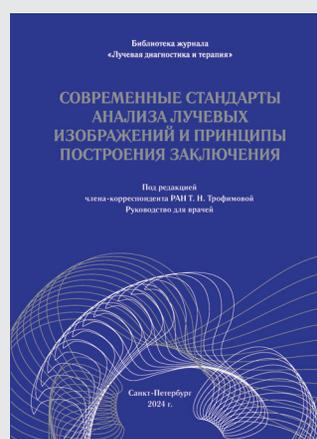
Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Mladenovsk M., Valkov I., Ovcharov M., Vasilev N., Duhlenki I. High Grade Glioma Surgery — Clinical Aspects and Prognosis // *Folia Med. (Plovdiv)*. 2021. Vol. 63, No. 1. P. 35–41. doi: 10.3897/foimed.63.e55255.
- Cancer Stat Facts: Brain and Other Nervous System Cancer // *National Cancer Institute Surveillance, Epidemiology and End Results Program*. 2023.
- Louis D.N., Perry A., Reifenberger G., von Deimling A., Figarella-Branger D., Cavenee W.K., Ohgaki H., Wiestler O.D., Kleihues P., Ellison D.W. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary // *Acta neuropathologica*. 2016. Vol. 131, No. 6. P. 803–820. doi: 10.1007/s00401-016-1545-1.
- Спивак М.Д. Современные возможности основных методов лечения мультиформной глиобластомы // *Молодой ученый*. 2018. № 17 (203). С. 120–123. [Spivak M.D. Current options for the main treatments for glioblastoma multiform. *Young Scientist*, 2018, No. 17 (203), pp. 120–123 (In Russ.).]
- Грибанова Т.Г., Фокин В.А., Мартынов Б.В., Труфанов Г.Е., Малаховский В.Н., Серебрякова С.В. Сопоставление различных методов нейровизуализации в дифференциальной диагностике рецидива злокачественных опухолей головного мозга и лучевого некроза // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2016. № 3. С. 56–63. [Gribanova T.G., Fokin V.A., Martynov B.V., Trufanov G.E., Malahovskij V.N., Serebrjakova S.V. Comparison of different neuroimaging methods in the differential diagnosis of relapse of malignant brain tumors and radiation necrosis. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 2016, No. 3, pp. 56–63 (In Russ.).] doi: 10.21638/11701/spbu11.2016.305.
- Kim J.M., Miller J.A., Kotecha R., Xiao R., Juloori A., Ward M.C., Ahluwalia M.S., Mohammadi A.M., Peereboom D.M., Murphy E.S., Suh J.H., Barnett G.H., Vogelbaum M.A., Angelov L., Stevens G.H., Chao S.T. The risk of radiation necrosis following stereotactic radiosurgery with concurrent systemic therapies // *Journal of neurooncology*. 2017. Vol. 133, No. 2. P. 357–368. doi: 10.1007/s11060-017-2442-8.
- Gahramanov S., Muldoon L.L., Varallyay C.G., Li X., Kraemer D.F., Fu R., Hamilton B.E., Rooney W.D., Neuwelt E.A. Pseudoprogression of glioblastoma after chemo- and radiation therapy: diagnosis by using dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced perfusion MR imaging with ferumoxytol versus gadoteridol and correlation with survival // *Radiology*. 2013. No. 266 (3). P. 842–852. doi: 10.1148/radiol.12111472.
- Kong D.S., Kim S.T., Kim E.H., Lim D.H., Kim W.S., Suh Y.L., Lee J.I., Park K., Kim J.H., Nam D.H. Diagnostic dilemma of pseudoprogression in the treatment of newly diagnosed glioblastomas: the role of assessing relative cerebral blood flow volume and oxygen-6-methylguanine-DNA methyltransferase promoter methylation status // *AJNR. American journal of neuroradiology*. 2011. Vol. 32, No. 2. P. 382–387. doi: 10.3174/ajnr.A2286.
- Трофимова Т.Н. Нейрорадиология: оценка эффективности хирургии и комбинированной терапии глиом // *Практическая онкология*. 2016. Т. 17, № 1. С. 32–40. [Trofimova T.N. Neuroradiology: evaluating the efficacy of surgery and combination therapy for gliomas. *Practical oncology*, 2016, Vol. 17, No. 1, pp. 32–40 (In Russ.).]
- Hotta M., Minamimoto R., Miwa K. <sup>11</sup>C-methionine-PET for differentiating recurrent brain tumor from radiation necrosis: radiomics approach with random forest classifier // *Scientific Reports*. 2019. No. 9 (1). doi: 10.1038/s41598-019-52279-2.
- He Q., Zhang L., Zhang B., Shi X., Yi C., Zhang X. Diagnostic accuracy of <sup>13</sup>N-ammonia PET, <sup>11</sup>C-methionine PET and <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose PET: a comparative study in patients with suspected cerebral glioma // *BMC Cancer*. 2019. Vol. 19 (1). doi: 10.1186/s12885-019-5560-1. PMID 30961564; PMCID PMC6454631.
- Jung J.H., Ahn B.C. Current Radiopharmaceuticals for Positron Emission Tomography of Brain Tumors // *Brain tumor research and treatment*. 2018. Vol. 6 (2). P. 47–53. doi: 10.14791/btrt.2018.6.e13.

13. Соловьева С.Н., Уророва В.С. Разработка модели автоматического определения границ глиомы головного мозга, на основе комплексного метода обработки МРТ- и КТ-изображения // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 5. С. 83–88. [Soloveva S.N., Urosova V.S. development of the model of automatic determination of the borders of the glioma of the brain, based on the complex method of processing MRI and CT images. *Modern high technologies*, 2018, No. 5, pp. 83–88 (In Russ.).]
14. Jog A., Roy S., Carass A., Prince J.L. Magnetic resonance image synthesis through patch regression // *Proceedings. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*. 2013. Vol. 2013. P. 350–353. doi: 10.1109/ISBI.2013.6556484.
15. Sonavane R., Sonar P. Classification and segmentation of brain tumor using Adaboost classifier // *2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC)*. P. 396–403. doi: 10.1109/ICGTSPICC.2016.7955334.
16. Dohm A.E., Nickles T.M., Miller C.E., Bowers H.J., Miga M.I., Attia A., Chan M.D., Weis J.A. Clinical assessment of a biophysical model for distinguishing tumor progression from radiation necrosis // *Medical physics*. 2021. Vol. 48, No. 7. P. 3852–3859. doi: 10.1002/mp.14999. Epub 2021 Jun 16.
17. Gao Y., Xiao X., Han B., Li G., Ning X., Wang D., Cai W., Kikinis R., Berkovsky S., Di Ieva A., Zhang L., Ji N., Liu S. Deep Learning Methodology for Differentiating Glioma Recurrence From Radiation Necrosis Using Multimodal Magnetic Resonance Imaging: Algorithm Development and Validation // *JMIR medical informatics*. 2020. Vol. 8, No. 11. doi: 10.2196/19805.
18. Nichelli L., Casagrande S. Current emerging MRI tools for radionecrosis and pseudoprogression diagnosis // *Current opinion in oncology*. 2021. Vol. 33, No. 6. P. 597–607. doi: 10.1097/CCO.0000000000000793.



### Уважаемые коллеги!

Библиотек 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 последилового 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 616-073.756.8:616.447-021.3

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-45-52>

## СРАВНЕНИЕ ПЭТ/КТ С <sup>11</sup>С-МЕТИОНИНОМ И <sup>11</sup>С-ХОЛИНОМ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ АДЕНОМ ОКОЛОЩИТОВИДНЫХ ЖЕЛЕЗ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

<sup>1</sup>К. А. Погосян<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Т. Л. Каронова<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Д. В. Рыжкова<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Л. Г. Яневская<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>М. Е. Борискова<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Д. В. Зуйкевич<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>О. В. Юдина, <sup>1</sup>У. А. Цой<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Е. Н. Гринева<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Первичный гиперпаратиреоз (ПГПТ) является распространенной эндокринной патологией, предпочтительный метод лечения заболевания — селективная паратиреоидэктомия (ПТЭ), для успешного проведения которой выполняют визуализацию аденом околощитовидных желез (ОЩЖ) на предоперационном этапе. Несмотря на широкий спектр методов топической диагностики ПГПТ, после проведения хирургического лечения в части случаев отмечается персистенция заболевания, в связи с чем поиск дополнительных инструментов визуализации аденом ОЩЖ остается актуальным. В последнее время для улучшения диагностики применяют совмещенную позитронно-эмиссионную томографию и рентгеновскую компьютерную томографию (ПЭТ/КТ).

**ЦЕЛЬ:** Оценить диагностическую эффективность ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином и с <sup>11</sup>С-холином у больных ПГПТ на основании сопоставления интенсивности накопления радиофармацевтических лекарственных препаратов в аденомах околощитовидных желез.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Проанализированы данные 26 больных с диагнозом ПГПТ. ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-холином была выполнена 14 больным, с <sup>11</sup>С-метионином — 10 больным, с двумя радиофармацевтическими лекарственными препаратами (РФЛП) — двум больным. Всем больным проведена ПТЭ. Результаты гистологического исследования сопоставляли с результатами ПЭТ/КТ. При помощи программного обеспечения рассчитывали стандартизированный уровень накопления РФЛП в гистологически верифицированных аденомах/гиперплазиях ОЩЖ и в трапециевидной мышце, затем находили соотношение между полученными величинами — коэффициент дифференциального накопления (КДН).

**Статистика:** Программное обеспечение STATISTICA 10 (StatSoft, Tulsa, OK, USA) было использовано для статистического анализа.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** При расчете медиана КДН <sup>11</sup>С-холина в аденомах ОЩЖ составила 2,3 (1,6; 3,2), несколько более высокие значения этого показателя были при выполнении ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином — 2,5 (1,9; 3,6), однако значимой разницы между КДН двух РФЛП в аденомах ОЩЖ получено не было.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Научная новизна настоящего исследования заключается в сравнении диагностической эффективности ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином и ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-холином на основании данных об интенсивности накопления обоих РФЛП в аденомах ОЩЖ.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Интенсивность накопления <sup>11</sup>С-метионина и <sup>11</sup>С-холина гиперфункционирующей тканью ОЩЖ не имеют достоверных отличий. Информативность ПЭТ/КТ с обоими РФЛП сопоставима, что позволяет успешно применять <sup>11</sup>С-метионин и <sup>11</sup>С-холин для топической диагностики аденом околощитовидных желез при ПГПТ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ПЭТ/КТ, <sup>11</sup>С-метионин, <sup>11</sup>С-холин, первичный гиперпаратиреоз, мультиспиральная компьютерная томография, сцинтиграфия, ультразвуковое исследование

\* Для корреспонденции: Погосян Карина Александровна, e-mail: [karina.a.pogosyan@gmail.com](mailto:karina.a.pogosyan@gmail.com).

Для цитирования: Погосян К.А., Каронова Т.Л., Рыжкова Д.В., Яневская Л.Г., Борискова М.Е., Зуйкевич Д.В., Юдина О.В., Цой У.А., Гринева Е.Н. Сравнение ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>С-метионином и <sup>11</sup>С-холином при визуализации аденом околощитовидных желез: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 45–52, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-45-52>.

## COMPARISON OF $^{11}\text{C}$ -METHIONINE AND $^{11}\text{C}$ -CHOLINE PET/CT FOR PARATHYROID VISUALISATION: A PROSPECTIVE STUDY

<sup>1</sup>Karina A. Pogosian<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Tatiana L. Karonova<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Daria V. Ryzhkova<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Liubov G. Yanevskaya<sup>✉</sup>,

<sup>2</sup>Marina E. Boriskova<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Daria V. Zuykevich<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Olga V. Yudina, <sup>1</sup>Uliana A. Tsoy<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Elena N. Grineva<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Almazov National Medical Research Centre, World-Class Research Centre for Personalized Medicine, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** Primary hyperparathyroidism (PHPT) is a common endocrine disorder. Minimal invasive parathyroidectomy (PTX) is favorable surgical approach in PHPT treatment. Its success is highly dependent on accurate preoperative localization of all causative parathyroid adenomas. Despite the fact that wide range of visualization methods are applied in PHPT diagnostics, PHPT persistence occurs. Therefore, the search for additional visualizing tools of parathyroid adenomas remains relevant. Recently, positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) has been used in order to improve PHPT diagnostics.

**OBJECTIVE:** To evaluate the diagnostic effectiveness of PET/CT with  $^{11}\text{C}$ -methionine and  $^{11}\text{C}$ -choline in patients with PHPT based on the intensity of both tracers uptake in parathyroid adenomas.

**MATERIALS AND METHODS:** The data of 26 patients diagnosed with PHPT was analyzed. PET/CT with  $^{11}\text{C}$ -choline was performed in 14 patients, with  $^{11}\text{C}$ -methionine — in 10 patients, with two radiopharmaceuticals — in two patients. All patients underwent PTX. Histological examination's results were compared with the results of PET/CT. Using the software, the standardized uptake value of radiopharmaceuticals in histologically verified parathyroid adenomas/hyperplasias and in the trapezius muscle was obtained, then tumor-to-background ratios (TBR) of  $^{11}\text{C}$ -methionine and  $^{11}\text{C}$ -choline were calculated.

*Statistics:* Software STATISTICA 10 was used in statistical analysis.

**RESULTS:**  $^{11}\text{C}$ -choline TBR median was of 2.3 (1.6; 3.2), median of  $^{11}\text{C}$ -methionine TBR showed slightly higher values — 2.5 (1.9; 3.6). However, no significant difference was found between the two radiopharmaceuticals' uptake in parathyroid adenomas.

**DISCUSSION:** The scientific impact of current study is determined by the diagnostic effectiveness comparison between PET/CT with  $^{11}\text{C}$ -methionine and  $^{11}\text{C}$ -choline, which is based on the accumulation intensity of both radiopharmaceuticals in parathyroid adenomas.

**CONCLUSION:** The intensity of accumulation of  $^{11}\text{C}$ -methionine and  $^{11}\text{C}$ -choline by hyperfunctioning parathyroid tissue does not differ significantly. Thus both tracers might be successfully applied for topic diagnosis of parathyroid adenomas in patients with PHPT.

**KEYWORDS:** PET/CT,  $^{11}\text{C}$ -methionine,  $^{11}\text{C}$ -choline, primary hyperparathyroidism, computed tomography, scintigraphy, ultrasound

\* For correspondence: Karina A. Pogosian, e-mail: karina.a.pogosyan@gmail.com.

**For citation:** Pogosian K.A., Karonova T.L., Ryzhkova D.V., Yanevskaya L.G., Boriskova M.E., Zuykevich D.V., Yudina O.V., Tsoy U.A., Grineva E.N. Comparison of  $^{11}\text{C}$ -methionine and  $^{11}\text{C}$ -choline pet/ct for parathyroid visualization: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 45–52, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-45-52>.

**Введение.** Хорошо известно, что первичный гиперпаратиреоз (ПГПТ) является часто встречаемой эндокринной патологией, распространенность которой в разных странах варьирует от 1 до 21 случая на 1000 жителей [1]. Диагностика заболевания основывается исключительно на биохимических критериях [2]. В последнее время отмечается увеличение встречаемости ПГПТ, что, вероятно, связано с повышением доступности методов лабораторной и инструментальной диагностики [1, 2]. Тем не менее в настоящее время некоторые вопросы тактики ведения больных ПГПТ остаются нерешенными. Так, в рамках лечения ПГПТ предпочтительным методом является селективная паратиреоидэктомия (ПТЭ), для успешного проведения которой очень важна точная визуализация аденом околощитовидных желез (ОЩЖ) на предоперационном этапе [2, 3]. Нередко среди больных ПГПТ встречаются случаи эктопированных (20%) и множественных аденом (15%) ОЩЖ, которые зачастую не удается

обнаружить при помощи классических методов топической диагностики [2–4]. Отсутствие точных данных о локализации аденом является одной из причин выполнения двусторонней ревизии шеи при оперативном лечении, которое в свою очередь сопряжено не только с увеличением времени оперативного вмешательства, но и с повышением риска развития осложнений [2–4]. Необходимо отметить, что даже при таком подходе в некоторых случаях наблюдается персистенция заболевания [1], в связи с чем поиск новых инструментов визуализации аденом ОЩЖ остается актуальным.

Долгое время «золотым стандартом» топической диагностики аденом ОЩЖ является сочетанное использование ультразвукового исследования (УЗИ) и сцинтиграфии с  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -технетрилом, при наличии отрицательных или дискордантных результатов которых обычно выполняется мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) с внутривенным контрастированием [2–4]. Несмотря на частое использова-

ние всех вышеперечисленных методов, отсутствие возможности одномоментного получения информации о функциональной активности и анатомических особенностях является их недостатком. Гибридные методы визуализации совмещают в себе МСКТ и радионуклидные технологии, что явилось предпосылкой для их использования в топической диагностике ПГПТ. По данным литературы впервые позитронно-эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с МСКТ (ПЭТ/КТ), в качестве визуализирующего метода у больного ПГПТ была использована в 1993 г., когда был обнаружен очаг повышенного накопления  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкозы ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ) в проекции ОЩЖ [5]. Начиная с 1994 г. спектр используемых РФЛП был расширен, стала применяться меченая аминокислота  $^{11}\text{C}$ -метионин [6]. В 2014 г. впервые появились данные о возможности использования  $^{11}\text{C}$ -холина у больных ПГПТ, было показано, что аденомы ОЩЖ накапливают этот РФЛП [7]. Позже был применен холин, меченный изотопом  $^{18}\text{F}$  [8]. Таким образом, к настоящему времени накоплен опыт применения различных РФЛП в диагностике аденом ОЩЖ. Не вызывает сомнений, что ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -ФДГ по сравнению с ПЭТ/КТ с меченым холином или метионином обладает более низкими показателями чувствительности и специфичности, поэтому использование данного РФЛП не получило широкого распространения [9]. Однако исследования, целью которых было сравнить накопление  $^{11}\text{C}$ -метионина и  $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ -холина в аденомах ОЩЖ при проведении ПЭТ/КТ, единичны [7–10], а анализ ПЭТ/КТ изображений был основан на визуальной оценке изображений и количественном показателе SUV, величина которого зависит от множества факторов, включая введенную пациенту активность РФЛП, периода накопления РФЛП, алгоритма реконструкции изображений и калибровочный фактор томографа. А изучение интенсивности накопления  $^{11}\text{C}$ -метионина и  $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ -холина в аденомах ОЩЖ на основании полуколичественного показателя — коэффициента дифференциального накопления (КДН) этих РФЛП не проводилось.

**Цель.** Оценка диагностической эффективности ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином и с  $^{11}\text{C}$ -холином у больных ПГПТ на основании сопоставления интенсивности накопления РФЛП в аденомах околощитовидных желез.

**Материалы и методы.** Исследование одобрено этическим комитетом Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова, протокол № 1906-22, от 14.06.2022 и проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации 1964 г. и ее более поздних поправок или сопоставимых стандартов. У всех пациентов было получено письменное информированное согласие.

В исследование было включено 26 больных с диагнозом ПГПТ, которым в Национальном медицинском исследовательском центре имени

В. А. Алмазова в период с января 2021 по декабрь 2023 г. выполнялось ПЭТ/КТ: у 14 больных в качестве РФЛП был использован  $^{11}\text{C}$ -холин, у 10 больных —  $^{11}\text{C}$ -метионин, у двух —  $^{11}\text{C}$ -холин и  $^{11}\text{C}$ -метионин. Были проанализированы клинические, лабораторные, инструментальные данные больных.

ПЭТ/КТ являлась не единственным методом визуализации, согласно клиническим рекомендациям [3], больным также выполнялось УЗИ ( $n=26$ ), субтракционная сцинтиграфия ( $n=13$ ) и/или МСКТ с внутривенным контрастированием ( $n=26$ ).

ПЭТ/КТ выполнялась сканере Discovery 710 (GE Healthcare, Milwaukee, WI, США). Сканирование проводили через 10 мин после внутривенного введения 350–600 МБк  $^{11}\text{C}$ -метионина или 350–600 МБк  $^{11}\text{C}$ -холина. ПЭТ/КТ-изображения получали от уровня основания черепа до уровня диафрагмы. Сначала выполнялась низкодозовая компьютерная томография (КТ), затем проводили ПЭТ-сканирование. Завершающим этапом было выполнение КТ с контрастным усилением, изображения получали в нативной, артериальной, венозной фазах. Венозное сканирование проводилось через 80 секунд после введения контрастного вещества. Постпроцессинговая обработка результатов ПЭТ/КТ была выполнена с использованием специального программного обеспечения рабочей станции AW (GE). Анализ результатов ПЭТ/КТ, который выполняли два врача-радиолога независимо друг от друга, включал в себя визуальную оценку изображений в аксиальной, сагиттальной и коронарной плоскостях. Отмечены все очаги патологической аккумуляции  $^{11}\text{C}$ -метионина и  $^{11}\text{C}$ -холина, подозрительные на аденому ОЩЖ. Интенсивность накопления  $^{11}\text{C}$ -метионина и  $^{11}\text{C}$ -холина оценивали путем расчета коэффициента дифференциального накопления (КДН) очаг/фон. Коэффициент дифференциального накопления рассчитывался как отношение максимального значения стандартизированного показателя захвата (standardized uptake value — SUV)  $^{11}\text{C}$ -метионина и  $^{11}\text{C}$ -холина, нормализованного на безжировую массу тела (SUV<sub>lbm</sub> max) в аденоме ОЩЖ к SUV<sub>lbm</sub> max в трапециевидной мышце.

Всем больным была выполнена ПТЭ. Далее ретроспективно было выполнено сопоставление результатов гистологического исследования с интенсивностью накопления  $^{11}\text{C}$ -метионина или  $^{11}\text{C}$ -холина по данным ПЭТ/КТ в аденомах ОЩЖ.

Для статистического анализа полученных данных использовалось программное обеспечение STATISTICA 10 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). В связи с распределением всех показателей, отличным от нормального, были использованы непараметрические критерии, а характеристики выделяемых подгрупп по непрерывным показателям описывались с помощью медиан (Me) и квартилей (25; 75). Для парных сравнений количественных показателей использовался U-критерий Манна–Уитни. Дискретные показатели сравнивались с помощью критерия хи-квадрат

(для бинарных показателей применен точный критерий Фишера). Уровень значимости считался статистически достоверным при  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Возраст больных варьировал от 21 до 83 лет, медиана составила 58 (53; 66) лет. Большинство пациентов с ПППТ были женщины (1:13, 85%). У всех больных имел место манифестный ПППТ, чаще всего встречалась почечная форма — у 15 больных (58%), несколько реже — поражения желудочно-кишечного тракта — у 14 (54%). Поражение костной системы в виде остеопороза было выявлено в половине случаев, а в виде патологических переломов — в 2 (8%) наблюдениях. У одной больной имел место фиброзно-кистозный остеит. Лабораторные характеристики пациентов представлены в таблице.

ОЩЖ. Двенадцать из 37 удаленных аденом имели эктопированное расположение.

При расчете медиана КДН  $^{11}\text{C}$ -холина в аденомах ОЩЖ составила 2,3 (1,6; 3,2), несколько более высокие значения этого показателя были при выполнении ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином — 2,5 (1,9; 3,6). Значимой разницы между накоплением двух РФЛП в аденомах ОЩЖ получено не было. При дополнительном анализе КДН только в одиночных аденомах ( $n=20$ ) были получены аналогичные показатели: КДН  $^{11}\text{C}$ -метионина — 2,5 (3,2; 1,9), КДН  $^{11}\text{C}$ -холина — 2,4 (3,4; 1,7). При множественном характере поражения ОЩЖ значения КДН было аналогичным таковому при одиночных аденомах. Отмечена высокая информативность ПЭТ/КТ с обоими РФЛП: при ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -холином

Таблица

## Общая характеристика больных с первичным гиперпаратиреозом

Table

## General characteristics of patients with primary hyperparathyroidism

Показатель	Медиана	Нижний квартиль	Верхний квартиль
Возраст, лет	58	53	66
Масса, кг	73	64	83
Рост, см	162	159	166
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	27	25	30
Кальций ионизированный, ммоль/л	1,5	1,4	1,6
Кальций общий, ммоль/л	2,9	2,8	3,0
Суточная кальциурия, ммоль/сут	7,2	4,6	11,4
Фосфор, ммоль/л	1,0	0,8	1,3
ПТГ, пг/мл	128,8	103,5	186,7
25(ОН)D, нг/мл	30,9	21,8	39,8
Интраоперационный ПТГ, пг/мл	9,8	6,1	17,2
СКФ*, мл/мин/1,73 м <sup>2</sup>	84	41	102
T-критерий LI–LIV, SD	-1,6	-2,6	0,2
T-критерий Neck, SD	-1,2	-1,7	-1,2
T-критерий Radius 33%, SD	-1,64	-2,3	-1,2

Примечание: \* рассчитано по формуле СКД-EPI. ПТГ — паратиреоидный гормон, 25(ОН)D — 25-гидроксивитамин D; СКФ — скорость клубочковой фильтрации.

Note: \* was calculated by CKD-EPI formula. iPTH — intact parathyroid hormone; 25(ОН)D — 25-hydroxyvitamin D; GFR — glomerular filtration rate.

Всем пациентам была выполнена ПТЭ, после проведения которой наблюдалось адекватное снижение уровня ПТГ (до референсных значений или более чем на 50% от исходного уровня). По данным гистологического исследования у всех больных было подтверждено наличие аденомы/гиперплазии ОЩЖ. В большинстве случаев обнаруживалась одиночная аденома (20 аденом). Множественные аденомы/гиперплазии (17) были выявлены у 6 больных, у двух из которых имел место синдром множественных эндокринных неоплазий 1-го типа, в связи с чем объем хирургического вмешательства был представлен субтотальной ПТЭ. У одного больного было удалено 3 аденомы ОЩЖ, у трех больных — две аденомы/гиперплазии

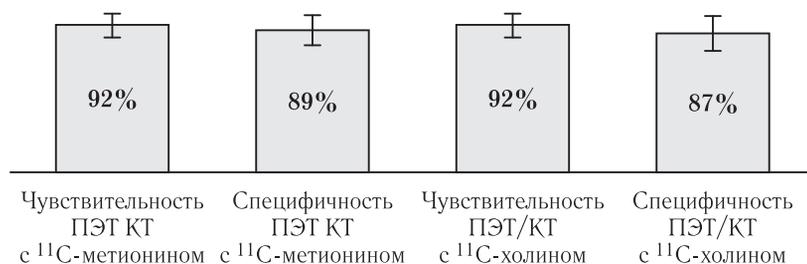
( $n=16$ ) чувствительность и специфичность метода составили 92% (95% ДИ от 85 до 99%) и 87% (95% ДИ от 76 до 98%), соответственно; при ПЭТ/КТ ( $n=12$ ) с  $^{11}\text{C}$ -метионином: чувствительность и специфичность составили 92% (95% ДИ от 85 до 100%) и 89% (95% ДИ от 79 до 98%) соответственно. Результаты представлены на рис. 1.

Результаты ПЭТ/КТ больной, которой были выполнены исследования с использованием двух РФЛП, представлены на рис. 2.

Стоит отметить, что в случае выполнения ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -холином и  $^{11}\text{C}$ -метионином лучевая нагрузка (общая эффективная доза) одинаковая и составляет 14,1 мЗв.

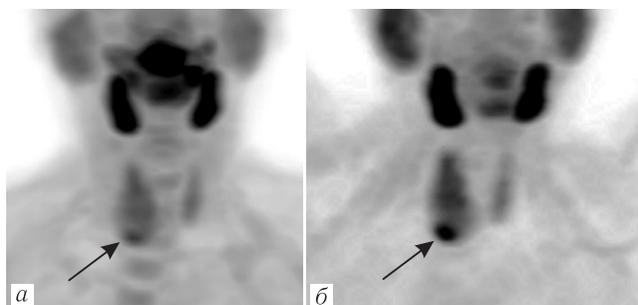
**Обсуждение.** В последние несколько десятилетий гибридные методы визуализации активно внедряют в диагностику различных эндокринных патологий,

ность ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -холином по сравнению с ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином. В то время как положительная прогностическая ценность ПЭТ/КТ



**Рис. 1.** Диагностическая информативность ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{11}\text{C}$ -холином  
**Fig. 1.** Diagnostic accuracy of PET/CT with  $^{11}\text{C}$ -methionine and  $^{11}\text{C}$ -choline

в том числе в топическую диагностику ПППТ [11]. Несколько РФЛП были изучены в отношении их способности накапливаться в гиперфункционирующей ткани ОЩЖ [11]. Однако лишь два из них начали широко применяться:  $^{11}\text{C}$ -метионин и  $^{18}\text{F}/^{11}\text{C}$ -холин [11, 12].



**Рис. 2.** ПЭТ-изображения аденомы эктопированной околощитовидной железы (указана стрелками), выявленной после введения  $^{11}\text{C}$ -метионина (а) и  $^{11}\text{C}$ -холина (б)

**Fig. 2.** PET-scans of ectopic parathyroid adenoma (arrows), which was found on PET with  $^{11}\text{C}$ -methionine (a) and  $^{11}\text{C}$ -choline (b)

По данным литературы, аденомы ОЩЖ способны захватывать  $^{11}\text{C}$ -метионин в связи с тем, что эта аминокислота участвует в синтезе предшественника ПТГ [13]. Механизмы, лежащие в основе поглощения  $^{11}\text{C}$ -холина аденомами ОЩЖ, несколько другие и основываются на процессах образования клеточных мембран, с учетом того, что холин необходим для синтеза фосфолипидов — основного компонента мембран, в том числе пролиферирующих клеток [14].

При анализе литературы, нами найдены лишь единичные публикации, в том числе метаанализы [11, 15–18], посвященные оценке диагностических возможностей ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{18}\text{F}$ -холином в топической диагностике аденом ОЩЖ, ограничением которых является малый объем выборки. Существует лишь один метаанализ Violetto и соавт. 2021 года, посвященный сравнительному анализу результатов 22 исследований в оценке диагностического потенциала ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином и  $^{18}\text{F}$ -холином [10]. Результаты метаанализа продемонстрировали более высокую чувствитель-

с обоими РФЛП была сопоставима, что свидетельствует о сравнимых значениях специфичности. Эти результаты были подтверждены при проведении многопараметрических исследований, построении метарегрессионной модели. Тем не менее исследование имело ряд ограничений, в связи с чем нельзя прийти к однозначному выводу о более высоких показателях чувствительности ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -холином, чем ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином.

Научная новизна настоящего исследования заключается в сравнении диагностической эффективности ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином и ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -холином на основании данных об интенсивности накопления обоих РФЛП в аденомах ОЩЖ. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что интенсивность накопления  $^{11}\text{C}$ -метионина (КДН=2,5 (1,9;3,6)) в гиперфункционирующей ткани ОЩЖ оказалась выше, чем  $^{11}\text{C}$ -холина (КДН=2,3 (1,6; 3,2)). Тем не менее при проведении статистической обработки данных, значимой разницы в степенях накопления этих двух РФЛП обнаружено не было. Дополнительно в нашем исследовании показатели чувствительности и специфичности при использовании двух РФЛП оказались практически равными друг другу, в том числе разница оказалась незначимой по данным статистического анализа.

Стоит отметить, что, несмотря на высокие значения чувствительности и специфичности, как при проведении ПЭТ/КТ с  $^{11}\text{C}$ -метионином, так и с  $^{11}\text{C}$ -холином, могут встречаться ложноотрицательные и ложноположительные результаты. Появление ложноотрицательных результатов обычно связано с небольшими размерами или относительно низкой функциональной активностью аденом/гиперплазий ОЩЖ, а также с маскирующим эффектом в отношении гиперфункционирующих интрапиреоидно расположенных ОЩЖ высокого накопления РФЛП тканью щитовидной железы [19, 20]. В нашем исследовании имели место примеры ложноотрицательных результатов вследствие низкого уровня функциональной активности аденом ОЩЖ при множественном поражении, наличия маскировочного эффекта накопления РФЛП в ткани щитовидной железы. За ложноположительный результат могут быть приняты узлы

щитовидной железы, реактивные или метастатические шейные лимфатические узлы, нормальные ОЩЖ [19, 20]. По нашим данным также были обнаружены морфологически неизменные ОЩЖ, характеризующиеся гиперметаболизмом  $^{11}\text{C}$ -холина.

Ограничением данного исследования является небольшой размер выборки.

**Заключение.** Интенсивность накопления  $^{11}\text{C}$ -метионина и  $^{11}\text{C}$ -холина гиперфункционирующей

тканью околощитовидных желез значимо не различается. Информативность ПЭТ/КТ с обоими радиофармацевтическими лекарственными препаратами сопоставима, что позволяет успешно применять  $^{11}\text{C}$ -метионин и  $^{11}\text{C}$ -холин для топической диагностики аденом околощитовидных желез при первичном гиперпаратиреозе. Выбор между радиофармацевтическими лекарственными препаратами в первую очередь определяется их доступностью.

#### Сведения об авторах:

*Погосян Карина Александровна* — младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории нейроэндокринных опухолей Научного исследовательского центра персонализированной онкологии, Научный центр мирового уровня «Центр персонализированной медицины» федерального государственного бюджетного учреждения «Научный 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;

*Каронова Татьяна Леонидовна* — доктор медицинских наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией новой коронавирусной инфекции и постковидного синдрома Научного центра мирового уровня «Центр персонализированной медицины», главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории клинической эндокринологии Института эндокринологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; ORCID 0000–0002–1547–0123;

*Рыжкова Дарья Викторовна* — доктор медицинских наук, профессор РАН, заведующий кафедрой ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой Института медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; ORCID 0000–0002–7086–9153;

*Яневская Любовь Геннадьевна* — врач-эндокринолог, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории клинической эндокринологии Института эндокринологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; ORCID 0000–0003–2271–8139;

*Борискова Марина Евгеньевна* — доктор медицинских наук, профессор кафедры хирургии общей с клиникой, профессор кафедры онкологии факультета послепломного образования, руководитель отделения хирургической эндокринологии, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова»; 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8; ORCID 0000–0002–0037–6222;

*Зуйкевич Дарья Владимировна* — врач-хирург отделения хирургической эндокринологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова»; 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8; ORCID 0000–0002–7951–7402;

*Цой Ульяна Александровна* — кандидат медицинских наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией нейроэндокринных опухолей Научного исследовательского центра персонализированной онкологии, Научный центр мирового уровня «Центр персонализированной медицины» федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; ORCID 0000–0003–4013–4831;

*Юдина Ольга Васильевна* — кандидат медицинских наук, доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий с клиникой Института медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;

*Гринева Елена Николаевна* — доктор медицинских наук, профессор, директор Института эндокринологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2; ORCID 0000–0003–0042–7680.

#### Information about authors:

*Karina A. Pogosian* — junior researcher of the Laboratory of Neuroendocrine Tumors in the Research Centre of Personalized Oncology, Almazov National Medical Research Centre, World-Class Research Centre for Personalized Medicine; St. Petersburg, Akkuratova str., 2, ORCID 0000–0003–0628–0085;

*Tatiana L. Karonova* — Dr. of Sci. (Med.), Head of New Coronavirus Infection and Postcovid Syndrome Laboratory of World-Class Research Centre for Personalized Medicine, chief researcher of Clinical Endocrinology Laboratory, Almazov National Medical Research Centre; St. Petersburg, Akkuratova str., 2, ORCID 0000–0002–1547–0123;

*Daria V. Ryzhkova* — Dr. of Sci. (Med.), professor RAS, Head of Department of Nuclear Medicine and Radiation Technology, Almazov National Medical Research Centre; St. Petersburg, Akkuratova str., 2. ORCID 0000–0002–7086–9153;

*Liubov G. Yanevskaya* — junior researcher of the Laboratory of Clinical Endocrinology Laboratory, Almazov National Medical Research Centre; St. Petersburg, Akkuratova str., 2, ORCID 0000–0003–2271–8139;

*Marina E. Borisikova* — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Department of General Surgery with Clinic, Professor of the Department of Oncology, Head of the Department of Surgical Endocrinology, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; St. Petersburg, Lva Tolstogo str., 6–8, ORCID 0000–0002–0037–6222;

*Daria V. Zuykevich* — General Surgery, surgeon, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; St. Petersburg, Lva Tolstogo str., 6–8, ORCID 0000–0002–7951–7402;

*Uliana A. Tsoy* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Laboratory of Neuroendocrine Tumors in the Research Centre of Personalized Oncology, Almazov National Medical Research Centre, World-Class Research Centre for Personalized Medicine; St. Petersburg, Akkuratova str., 2, ORCID 0000–0003–4013–4831;

*Olga V. Yudina* — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of the Nuclear Medicine and Radiation Technology, Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Akkuratova str., 2, ORCID 0009–0000–1195–4887;

*Elena N. Grineva* — Dr. of Sci. (Med.), professor, Director of the Institute of endocrinology, Almazov National Medical Research Centre; St. Petersburg, Akkuratova str., 2, ORCID 0000–0003–0042–7680.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ИСМЖЕ (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.Рыжкова, К.А.Погосян, Т.Л.Каронова*; сбор и математический анализ данных — *К.А.Погосян, Л.Г.Яневская, М.Е.Борискова, Д.В.Зуйкевич, О.В.Юдина, У.А.Цой, Е.Н.Гринева*; подготовка рукописи — *К.А.Погосян, Т.Л.Каронова, Д.В.Рыжкова, Л.Г.Яневская, М.Е.Борискова, Д.В.Зуйкевич, О.В.Юдина, У.А.Цой, Е.Н.Гринева*.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution aided in the concept and plan of the study — *DVR, KAP, KTL*; provided collection and mathematical analysis of data — *KAP, LGYa, MEB, DVZ, OVYu, UATs, ENG*; preparation of the manuscript — *DVR, KTL KAP, LGYa, MEB, DVZ, OVYu, UATs, ENG*.

**Потенциальный конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

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

**Соответствие принципам этики:** Исследование одобрено этическим комитетом Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова, протокол № 1906-22, от 14.06.2022. Информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards:** The study was approved by the Ethics Committee of Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg, Russia, № 1906-22, 14.06.2022. Informed consent is obtained from all patients.

Поступила/Received: 02.02.2024

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Яневская Л.Г., Каронова Т.Л., Слепцов И.В. и др. Первичный гиперпаратиреоз: клинические формы и их особенности. Результаты ретроспективного исследования // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2019. Т. 15, № 1. С. 19–29. [Yanevskaya L.G., Karonova T.L., Slepsov I.V. et al. Primary hyperparathyroidism: clinical forms and their features. Retrospective study. *Clinical and experimental thyroidology*, 2019, Vol. 15, No. 1, pp. 9–29 (In Russ.)]. doi: 10.14341/ket10213.
- Bilezikian J.P., Khan A.A., Clarke B.L. et al. The Fifth International Workshop on the Evaluation and Management of Primary Hyperparathyroidism // *J. Bone Miner Res.* 2022. Vol. 37, No. 11, pp. 2290–2292. doi: 10.1002/jbmr.4670.
- Мокрышева Н.Г., Еремкина А.К., Мирная С.С., и др. 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. et al. The clinical practice guidelines for primary hyperparathyroidism, short version. *Problems of Endocrinology*, 2021, Vol. 67, No. 4, pp. 94–124 (In Russ.)]. doi: 10.14341/probl12801.
- 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, pp. 2352–2363. doi: 10.21037/qims-22-584.
- Kluijthout 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, pp. 925–935. doi: 10.1007/s00423-016-1425-0.
- Lalonde M.N., Correia R.D., Syktiotis G.P. et al. Parathyroid Imaging // *Semin Nucl. Med.* 2023. Vol. 53, No. 4, pp. 490–502. doi:10.1053/j.semnuclmed.2023.02.004.
- Mapelli P., Busnardo E., Magnani P. et al. Incidental finding of parathyroid adenoma with <sup>11</sup>C-choline PET/CT // *Clin. Nucl. Med.* 2012. Vol. 37, No. 6, pp. 593–595. doi: 10.1097/RLU.0b013e31824c5ffc.
- Quak E., Lheureux S., Reznik Y., Bardet S., Aide N. F18-choline, a novel PET tracer for parathyroid adenoma? // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2013. Vol. 98, No. 8, pp. 3111–3112. doi: 10.1210/jc.2013-2084.
- 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, No. 2, pp. 577–583. doi: 10.1245/s10434-011-1870-5.
- Bioletto F., Barale M., Parasiliti-Caprinio M. et al. Comparison of the diagnostic accuracy of <sup>18</sup>F-Fluorocholine PET and <sup>11</sup>C-Methionine PET for parathyroid localization in primary hyperparathyroidism: a systematic review and meta-analysis // *Eur. J. Endocrinol.* 2021. Vol. 185, No. 1, pp. 109–120. doi: 10.1530/EJE-21-0038.
- Kluijthout 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, pp. 925–935. doi: 10.1007/s00423-016-1425-0.
- Giovanella L., Vacigalupo 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.
- Погосян К.А., Каронова Т.Л., Рыжкова Д.В. и др. Возможности использования ПЭТ/КТ с <sup>11</sup>C-метнионом в топической диагностике первичного гиперпаратиреоза // *Российский журнал персонализированной медицины*. 2023. Т. 3, № 3. С. 108–117. [Pogosian K.A., Karonova T.L., Ryzhkova D.V. et al. <sup>11</sup>C-methionine PET/CT use in the diagnosis of primary hyperparathyroidism. *Russian Journal for Personalized Medicine*, 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 108–117 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2023-3-3-108-117>.
- Cazaentre T., Clivaz F., Triponez F. False-positive result in <sup>18</sup>F-fluorocholine PET/CT due to incidental and ectopic parathyroid hyperplasia // *Clin. Nucl. Med.* 2014. Vol. 39, No. 6, pp. e328–e330. doi: 10.1097/RLU.0b013e3182a77b62.

15. Yuan L., Liu J., Kan Y. et al. The diagnostic value of  $^{11}\text{C}$ -methionine PET in hyperparathyroidism with negative  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MIBI SPECT: a meta-analysis // *Acta Radiologica*. 2017. Vol. 58, No. 5. P. 558–564. doi: 10.1177/0284185116661878.
16. Treglia G., Piccardo A., Imperiale A. et al. 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. 46, No. 3, pp. 751–765. doi: 10.1007/s00259-018-4123-z.
17. Evangelista L., Ravelli I., Magnani F. et al.  $^{18}\text{F}$ -choline PET/CT and PET/MRI in primary and recurrent hyperparathyroidism: a systematic review of the literature // *Ann. Nucl. Med.* 2020. Vol. 34, No. 9, pp. 601–619. doi: 10.1007/s12149-020-01507-1.
18. Kim S.J., Lee S.W., Jeong S.Y. et al. Diagnostic Performance of F-18 Fluorocholine PET/CT for Parathyroid Localization in Hyperparathyroidism: a Systematic Review and Meta-Analysis // *Horm Cancer*. 2018. Vol. 9, No. 6, pp. 440–447. doi: 10.1007/s12672-018-0347-4.
19. Pretet V., Rotania M., Helali M. et al.  $^{18}\text{F}$ -Fluorocholine PET and Multiphase CT Integrated in Dual Modality PET/4D-CT for Preoperative Evaluation of Primary Hyperparathyroidism // *J. Clin Med.* 2020. Vol. 9, No. 6. P. 2005. doi: 10.3390/jcm9062005.
20. Weber T., Maier-Funk C., Ohlhauser D. et al. Accurate preoperative localization of parathyroid adenomas with C-11 methionine PET/CT // *Ann. Surg.* 2013. Vol. 257, No. 6. P. 1124–1128. doi: 10.1097/SLA.0b013e318289b345.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**

## ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ В ДИФФЕРЕНЦИРОВКЕ ОПУХОЛЕВЫХ И НЕОПУХОЛЕВЫХ КИСТОЗНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ВОЗМОЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕГМЕНТАЦИИ

<sup>1</sup>А. А. Коваленко<sup>✉\*</sup>, <sup>2</sup>В. С. Петровичев<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>О. В. Крючкова<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>З. А. Коваленко<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Д. П. Ананьев<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>Д. А. Матвеев<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Р. В. Петров<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента РФ, Москва, Россия

<sup>2</sup>Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр», Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** В настоящее время определение подтипа кистозного образования поджелудочной железы по-прежнему представляет значительные трудности. Возможности предоперационной инвазивной диагностики в большинстве случаев крайне затруднены по причине малоклеточности аспирата. Точная верификация характера изменений крайне важна для прогнозирования тактики ведения пациентов и планирования вмешательства.

**ЦЕЛЬ:** Определить диагностическую значимость текстурного анализа КТ-изображений в дифференцировке опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы; сравнить результаты применения двух режимов (2D и 3D) сегментации КТ-изображений; разработать диагностическую модель, включающую текстурные показатели, для дифференцировки опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В исследование было включено 15 пациентов с муцинозными цистаденомами, 15 пациентов с серозными цистаденомами и 10 пациентов с постнекротическими кистами, которым была выполнена резекция образований с последующей гистологической верификацией. Всем пациентам было выполнено мультифазное КТ с контрастным усилением. Расчет текстурных показателей осуществлялся во все фазы контрастного усиления (нативную, артериальную, венозную и отсроченную) в условиях предварительной обработки изображений путем приведения последних к изотропному вокселю 1×1×1 мм (RES) и ограничения по плотности от 0 до 200 HU. Сегментация изображений проводилась в двух режимах — 2D и 3D.

**Статистика:** Статистический анализ и визуализация полученных данных проводились с использованием среды для статистических вычислений R 4.3.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Для оценки дискриминативной способности текстурных показателей в отношении типов новообразований использовались тест Манна–Уитни и AUC с соответствующим точным 95% доверительным интервалом (95% ДИ). При проведении анализа первых главных компонент переменные включались в анализ после стандартизации. Отбор предикторов в многофакторную модель осуществлялся с использованием L1 (LASSO) регуляризации. Оценка дискриминативных характеристик полученной модели производилась с использованием наблюдаемых и бутстреп оценок (B=1000) AUC Хэнда–Тилла (AUC для мультиномиальных моделей) и коэффициента корреляции ф Мэтьюса.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Применение 3D-сегментации является предпочтительным для дифференцировки опухолевых и неопухолевых кистозных образований ПЖ.

Разработанная диагностическая модель с использованием текстурных показателей (INTENSITY-HISTOGRAM\_Intensity-Histogram75<sup>th</sup> Percentile, MORPHOLOGICAL\_Volume, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation) нативной и артериальной фаз сканирования при 2D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования обладает следующими характеристиками: площадь под ROC-кривой — 0,89, чувствительность и специфичность в отношении постнекротических кист — 70 и 93,3%, в отношении муцинозных опухолей — 73,3 и 92%, в отношении серозных опухолей — 86,7 и 80%.

Разработанная диагностическая модель с использованием текстурных показателей (MORPHOLOGICAL\_SurfaceToVolume-Ratio, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation, GLCM\_Correlation, GLSZM\_ZonePercentage) нативной, артериальной и отсроченной фаз сканирования при 3D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования обладает следующими характеристиками: площадь под ROC-кривой — 0,96, чувствительность и специфичность в отношении постнекротических кист — 80 и 96,7%, в отношении муцинозных опухолей — 86,7 и 88%, в отношении серозных опухолей — 80 и 88%.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** На момент проведения исследования нами не было найдено ни одной работы, в которой бы анализировались все фазы контрастного усиления. Обзор имеющихся публикаций показал, что в подавляющем большинстве случаев исследователи сегментировали лишь одну из фаз сканирования (артериальную/венозную) в 3D-режиме. В настоящее

время путем текстурного анализа исследователи преследуют решение двух основных задач — дифференцировка различных гистологических классов кист ПЖ и определение степени дифференцировки опухолевых кист. Открытым остается вопрос стандартизации предварительной обработки изображений и условий сегментации. В нашем исследовании были проанализированы четыре фазы контрастного усиления (нативная, артериальная, венозная и отсроченная) в различных параметрах сегментации. В отличие от ряда работ, в нашем исследовании в качестве предикторов дифференцировки не было отобрано ни одного показателя более высокого порядка. Также в нашем исследовании не выявлено статистически значимых текстурных показателей-предикторов для венозной фазы сканирования.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Текстурный анализ КТ-изображений позволяет с высокой точностью дифференцировать опухолевые и неопухолевые кистозные образования поджелудочной железы на дооперационном этапе.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** поджелудочная железа, кистозная опухоль, радиомика, текстурный анализ, компьютерная томография

\* Для корреспонденции: Коваленко Анастасия Андреевна, e-mail: [nastua\\_kovalenko@mail.ru](mailto:nastua_kovalenko@mail.ru).

Для цитирования: Коваленко А.А., Петровичев В.С., Крючкова О.В., Коваленко З.А., Ананьев Д.П., Матвеев Д.А., Петров Р.В. Текстурный анализ КТ-изображений в дифференцировке опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы: возможности в условиях предварительной обработки изображений и различных параметров сегментации // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 53–64, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-53-64>.

## TEXTURE ANALYSIS OF CONTRAST ENHANCEMENT CT IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF TUMOR AND TUMOR-LIKE CYSTIC LESIONS OF THE PANCREAS: POSSIBILITIES IN TEXTURE PREPROCESSING AND VARIOUS SEGMENTATION PARAMETERS

<sup>1</sup>Anastasia A. Kovalenko<sup>\*</sup>, <sup>2</sup>Victor S. Petrovichev<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Oksana V. Kryuchkova<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Zahar A. Kovalenko<sup>®</sup>,  
<sup>1</sup>Dmitry P. Ananьев<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Dmitry A. Matveev<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Roman V. Petrov<sup>®</sup>

<sup>1</sup>Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>2</sup>National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center», Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** Until now, diagnosis the subtype of pancreas cystic lesion remains a major challenge. The accuracy of pre-operative invasive diagnosis procedures is still very difficult due to the low cellularity of the aspirate. Accuracy verification of nature lesion's is essential for predicting tactical planning and planning interventions.

**OBJECTIVE:** To determine the diagnostic significance of texture analysis of contrast enhancement CT in differentiation of tumor and tumor-like pancreatic cystic lesions; to compare results of application of two models (2D and 3D) segmentation of CT images; to develop a diagnostic model including texture features to differentiate tumor and tumor-like pancreatic cystic lesions.

**MATERIALS AND METHODS:** Clinical and CT data of 40 patients with pancreatic cystic lesions were collected for this study. Among these patients, 15 were pathologically diagnosed with serous cystadenoma, 15 were diagnosed with mucinous cystadenoma and 10 were diagnosed with pseudocyst. The radiomic features were extracted from four CT phases (native, arterial, venous and delayed). All images were normalized prior to the radiomics analysis, using spatial resampling with fixed voxel size of 1 mm<sup>3</sup> (RES) and density threshold from 0 to 200 HU. For each phase, one radiologist (3 year's experience in abdominal imaging) segmented the lesion contour on each slice (3D) and on the slice with maximum axial diameter (2D).

**Statistics:** The program R 4.3.2 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) was used. The Mann-Whitney test and AUC with 95% confidence interval were used to assess the discriminative texture predictors for tumour types. Texture features were included in the analysis after standardization, and L1 (LASSO) regularization was used to select predictors. Finally, discriminative models were evaluated by bootstrap estimation and Matthews correlation coefficient.

**RESULTS:** Using 3D segmentation is preferable for differentiation of tumor and tumor-like pancreatic cystic lesions. A 2-D radiomics diagnostic model was included features (INTENSITY-HISTOGRAM\_IntensityHistogram75<sup>th</sup> Percentile, MORPHOLOGICAL\_Volume, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation) from native and arterial phases. It was resulted in an average AUC 0.89, with an sensitivity and specificity 70 and 93.3% according to pseudocysts, 73.3 and 92% according to mucinous cystadenomas, 86.7 and 80% according to serous cystadenomas. A 3-D radiomics diagnostic model was included features (MORPHOLOGICAL\_SurfaceToVolumeRatio, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation, GLCM\_Correlation, GLSZM\_ZonePercentage) from native, arterial and delayed phases. It was resulted in an average AUC 0.96, with an sensitivity and specificity 80 and 96.7% according to pseudocysts, 86.7 and 88% according to mucinous cystadenomas, 80 and 88% according to serous cystadenomas.

**DISCUSSION:** Currently, textural analysis is aimed at solve two main problems — differentiation of histological classes and grade of pancreatic cysts. The standardization of pre-processing and segmentation remains an unresolved issue. At the time of this study, we haven't found any papers analyzing all the phases of CT imaging. A review of publications revealed that in the majority of cases researchers analyzed only one phase (arterial/venous) by 3D-segmentation. In our study, four phases of CT (native, arterial, venous and delayed) were analyzed by two types of segmentaion. In order to reduce texture ranges and offset the segmentation errors, we investigate preprocessing steps such as density distributions (0–200 HU) and voxel resampling 1 mm<sup>3</sup>

(RES). In contrast to other papers, in our study there are no statistically significant textural features for the venous phase. Also, we don't identify higher-order textural features as a differentiation predictors.

**CONCLUSION:** Texture analysis of contrast enhancement CT have a favorable differential diagnostic performance for tumor and tumor-like cystic lesions of the pancreas.

**KEYWORDS:** pancreas, cystic tumor, radiomics, texture analysis, computed tomography

\* **For correspondence:** Anastasia A. Kovalenko, e-mail: nastua\_kovalenko@mail.ru.

**For citation:** Kovalenko A.A., Petrovichev V.S., Kryuchkova O.V., Kovalenko Z.A., Ananov D.P., Matveev D.A., Petrov R.V. Texture analysis of contrast enhancement CT in the differential diagnosis of tumor and tumor-like cystic lesions of the pancreas: possibilities in texture preprocessing and various segmentation parameters // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 53–64, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-53-64>.

**Введение.** В связи с неуклонно возрастающей доступностью визуализационных методов исследований увеличивается и количество пациентов со случайно выявленными кистозными образованиями поджелудочной железы (ПЖ). По данным различных исследований распространенность кистозных образований ПЖ колеблется в диапазоне от 2 до 45% [1].

Кистозные образования ПЖ представлены вариативной группой опухолевых и неопухолевых изменений с различным потенциалом злокачественности [2, 3]. Своевременное и точное определение характера кистозного образования является важным для принятия решения о целесообразности выполнения и сроках оперативного вмешательства [4].

В литературе широко освещены результаты использования инструментальных методов диагностики в выявлении и уточнении характера кист ПЖ [5, 6]. По сей день наиболее информативными методами остаются КТ, МРТ и УЗИ, общая диагностическая точность которых варьирует от 75 до 85% [7]. Тем не менее анализ медицинских изображений кист ПЖ часто представляет определенные трудности ввиду схожей семиотической картины различных подтипов и неспецифических перекрестных морфологических паттернов [8]. Также до настоящего времени не утвержден единый стандартизованный подход к ведению пациентов с кистами ПЖ. Многочисленные руководства местами противоречивы как в отношении спектра нозологий, так и в отно-

телиальной выстилкой желудочно-кишечного тракта находит ограниченное применение [10, 17–19].

Все вышеизложенное диктует необходимость применения новых неинвазивных методик, позволяющих более прецизионно оценивать весь объем образования, стратифицировать нозологическую категорию и потенциальный риск. Радиомика — современный инструмент анализа медицинских изображений, основанный на определении количественных характеристик гетерогенности тканей [20]. Комбинированная оценка текстурных показателей и клинико-лабораторных критериев способствует более персонализированному анализу конкретного случая заболевания [21].

**Цель.** Определить диагностическую значимость текстурного анализа КТ-изображений в дифференцировке опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы; сравнить результаты применения двух режимов (2D и 3D) сегментации КТ-изображений; разработать диагностическую модель, включающую текстурные показатели, для дифференцировки опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы.

**Материалы и методы. Общая характеристика пациентов.** Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. Исследование проводилось ретроспективно. Всего в исследование включено 40 пациентов, среди которых 15 пациентов с муцинозными цистаденомами,

Таблица 1

## Клинико-демографические характеристики пациентов

Table 1

## Clinical and demographic characteristics of patients

Группа	Количество пациентов	Возраст, годы, среднее значение Ме (Q1; Q3)	Пол (М/Ж)	Локализация: головка/тело/хвост	Размер образования, см, среднее значение Ме (Q1; Q3)
Муцинозные цистаденомы	15	52 (25; 68)	1/14	1/3/11	8 (4; 12)
Серозные цистаденомы	15	55 (28; 73)	3/12	10/2/3	3 (2; 6)
Постнекротические кисты	10	43 (28; 65)	6/4	7/1/2	5 (1; 12)

шении диагностических критериев и тактического ведения пациентов [9–17]. Морфологическая верификация на дооперационном этапе ввиду малоклеточности аспирата и контаминации последнего эпи-

15 пациентов с серозными цистаденомами и 10 пациентов с постнекротическими кистами (табл. 1). Все пациенты были прооперированы в ФГАУ «НМИЦ ЛРЦ» Минздрава России за период с 2016 по 2023 г.

Ретроспективно проанализированы дооперационные КТ органов брюшной полости с внутривенным болюсным контрастированием, выполненные как в ФГАУ «НМИЦ ЛРЦ» Минздрава России, так в других медицинских организациях, по стандартному протоколу. Исследования были выполнены на томографах следующих производителей: GE, Siemens, Philips. Толщина среза варьировала от 1 до 5 мм.

КТ у больных, проходивших исследование в ФГАУ «НМИЦ ЛРЦ» Минздрава России, выполняли на томографе Discovery CT750HD (GE Healthcare) в спиральном режиме с толщиной томографических срезов 1,5 мм, питчем 1,0, напряжением рентгеновской трубки 100–120 кВ, силой тока 100–200 мА. Использовали неионное рентгеноконтрастное вещество (КВ) (Омнипак-350) из расчета 1 мл/кг массы тела, но не более 100 мл. Параметры протокола ска-

— наличие дооперационно выполненного МСКТ с внутривенным болюсным контрастированием;

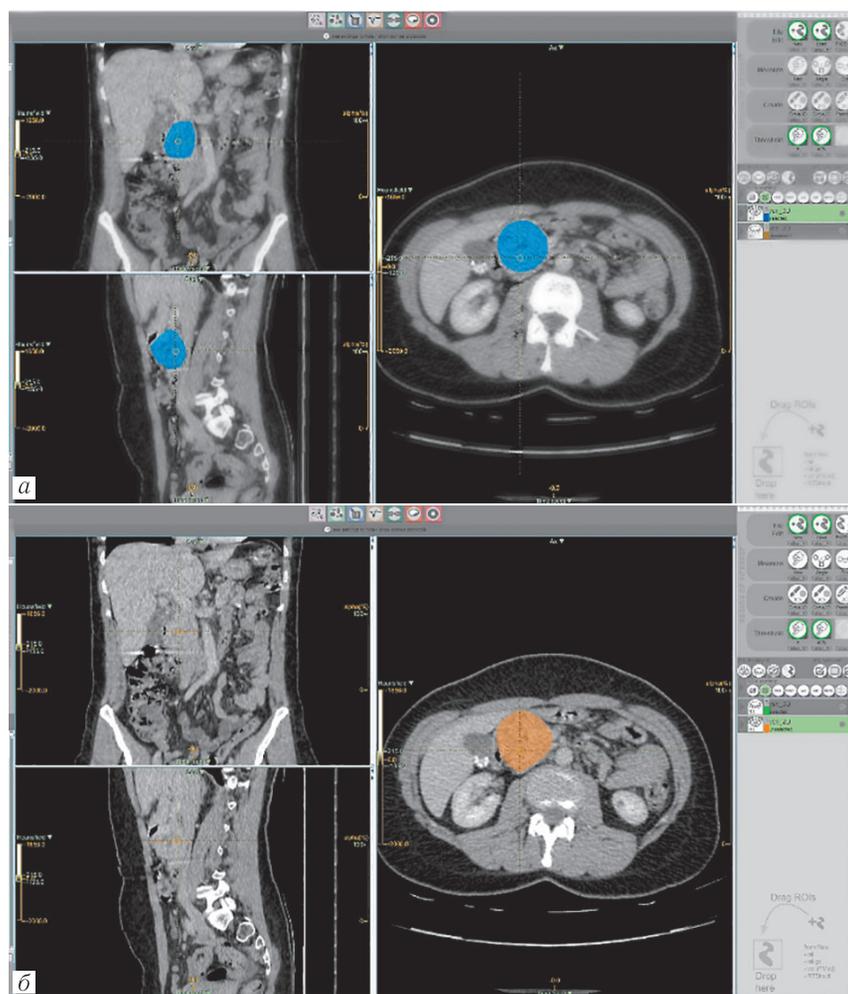
— наличие в исследовании всех четырех фаз контрастного усиления (нативной, артериальной, венозной, отсроченной);

— удовлетворительное качество исследования с отсутствием артефактов в зоне интереса;

— наличие данных послеоперационного гистологического исследования.

Критерием исключения являлось проведение системного или регионарного лечения.

**Методология текстурного анализа.** Для извлечения текстурных показателей применяли программное обеспечение LIFEx (version v7.4.0, [www.lifexsoft.org](http://www.lifexsoft.org)). Сегментация изображений проводилась одним врачом-рентгенологом с опытом абдоминальной визуализации 3 года.



**Рис. 1.** Компьютерная томограмма. Серозная цистаденома ПЖ, венозная фаза сканирования: *а* — сегментация всего объема образования (3D-ROI); *б* — сегментация образования на срезе, соответствующем наибольшему размеру образования (2D-ROI)

**Fig. 1.** CT-scan. Pancreatic serous cystadenoma, venous phase: *a* — 3D-ROI segmentation of the lesion; *b* — 2D-ROI segmentation with the largest diameter of the lesion

нирования были стандартные — скорость введения КВ 3,5 мл/с, средние задержки от начала введения КВ в артериальную фазу — 12–15 с, в венозную фазу — 40–70 с, в отсроченную фазу — 300 с.

Критериями включения в исследование являлись:

Сегментация образований проводилась в двух режимах — 3D и 2D (рис. 1). Для всех изображений была применена двухэтапная предварительная обработка, заключающаяся в применении заданного размера вокселя  $1 \times 1 \times 1$  мм (RES) и ограничении по плот-

ности от 0 до 200 HU. В качестве стартовой фазы для сегментации была выбрана венозная фаза ввиду наилучшей контрастности и визуализации границ образований, в особенности в отношении прилежащих сосудистых структур. В венозную фазу исследования в аксиальной плоскости выделялся весь объем опухоли (3D-ROI). 2D-сегментация (2D-ROI), в свою очередь, проводилась на аксиальном срезе с наибольшим размером образования. В дальнейшем в ручном режиме была проведена синхронизация «маски» образования с оставшимися фазами исследования.

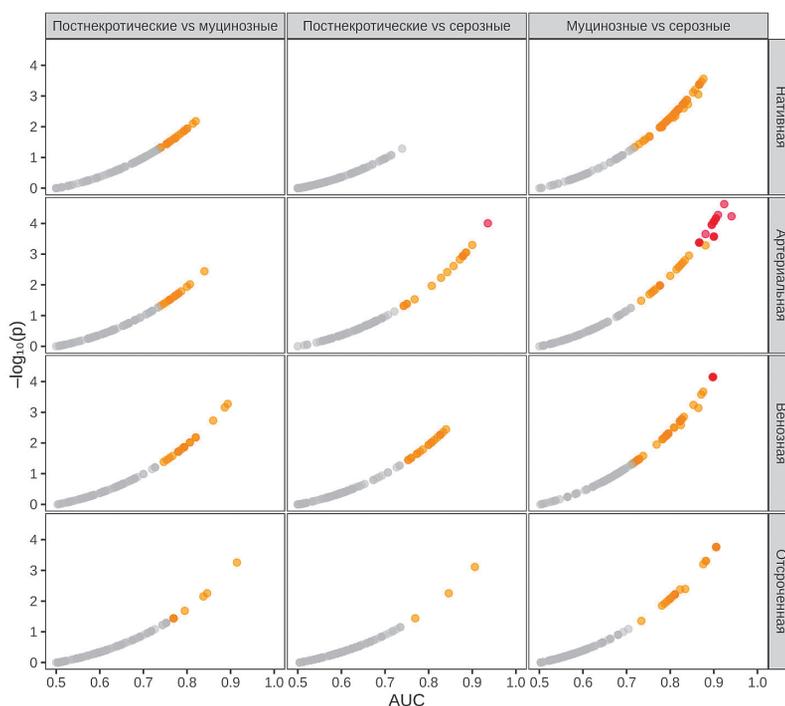
После сегментации для каждой фазы КТ-исследования и для каждого варианта сегментации рассчитывалось по 179 текстурных показателей.

**Статистика.** Статистический анализ и визуализация полученных данных проводились с использованием среды для статистических вычислений R 4.3.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

Для оценки дискриминативной способности текстурных показателей в отношении типов новообразований использовались тест Манна–Уитни и AUC с соответствующим точным 95% доверительным интервалом (95% ДИ). Для контроля FDR при множественном тестировании гипотез использовалась поправка Беньямини–Хохберга (BH). При проведении анализа первых главных компонент переменные включались в анализ после стандартизации. Отбор предикторов в многофакторную модель осуществ-

лялось с использованием полученной модели производилась с использованием наблюдаемых и бутстреп оценок ( $B=1000$ ) AUC Хэнда–Тилла (AUC для мультиномиальных моделей) и коэффициента корреляции  $\phi$  Мэтьюса.

**Результаты.** При 2D-сегментации нами была выявлена дискриминация ( $p < 0,05$  и нижняя граница  $AUC > 0,5$ ) постнекротических кист и муцинозных опухолей 62 текстурными параметрами (18 параметров нативной фазы, 15 — артериальной, 21 — венозной и 8 — отсроченной), дискриминация постнекротических кист и серозных опухолей 41 параметром (19 параметров артериальной фазы, 19 — венозной и 3 — отсроченной) и дискриминация серозных и муцинозных опухолей 156 текстурными параметрами (52 параметров нативной фазы, 38 — артериальной, 43 — венозной и 23 — отсроченной). При 3D-сегментации нами выявлена дискриминация постнекротических кист и муцинозных опухолей 88 параметрами (47 параметров нативной фазы, 7 — артериальной, 12 — венозной и 22 — отсроченной), дискриминация постнекротических кист и серозных опухолей 39 параметром (5 параметров нативной фазы, 17 — артериальной, 15 — венозной и 2 — отсроченной) и дискриминация серозных и муцинозных опухолей 150 текстурными параметрами (26 параметров нативной фазы, 26 — артериальной, 41 — венозной и 57 — отсроченной) (рис. 2, 3).



**Рис. 2.** Результаты однофакторного анализа, 3D-сегментация (красным цветом выделены текстурные параметры с  $p_{BH} < 0,05$  и нижней границей  $AUC > 0,5$ )

**Fig. 2.** Results of one-way analysis, 3D segmentation (texture parameters with  $p_{BH} < 0.05$  and lower limit  $AUC > 0.5$  are highlighted in red)

лялся с использованием L1 (LASSO) регуляризации. Отобранные предикторы включались в мультиномиальные лог-линейные модели. Оценка дискри-

В табл. 2 и на рис. 4 и 5 представлена характеристика разделения классов опухолей при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты

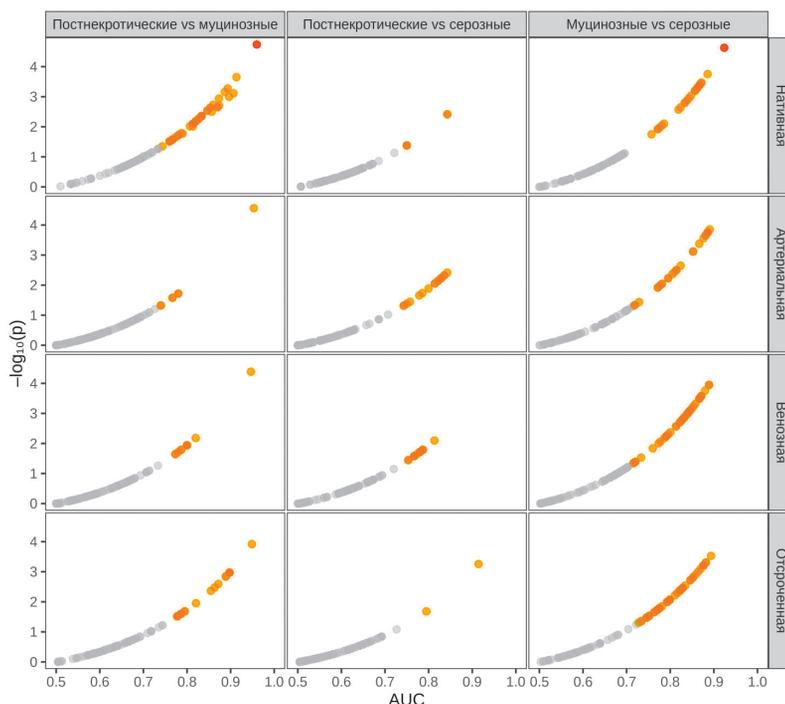


Рис. 3. Результаты однофакторного анализа, 2D-сегментация (оранжевым цветом отмечены показатели при  $p < 0,05$ , красным — при  $p_{BH} < 0,05$ )

Fig. 3. Results of one-way analysis, 2D segmentation (parameters with  $p < 0.05$  are highlighted in orange, parameters with  $p_{BH} < 0.05$  are highlighted in red)

Характеристика разделения классов опухолей (AUC [95% ДИ]) при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты

Таблица 2

Characteristics of tumor classes (AUC [95% CI]) when using the first principal component as a predictor

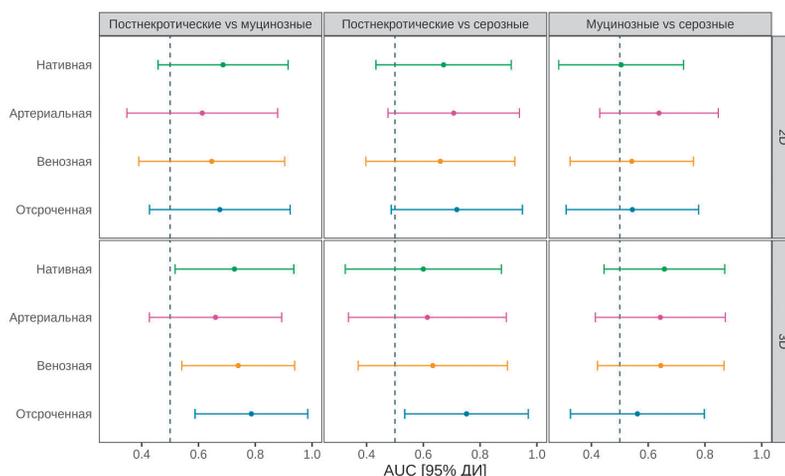
Table 2

Фаза	Доля дисперсии, объясняемой первой главной компонентой, %	Постнекротические vs муцинозные	Постнекротические vs серозные	Муцинозные vs серозные
<b>2D-сегментация</b>				
Нативная	75,6	0,69 [0,46; 0,92]	0,67 [0,43; 0,91]	0,5 [0,28; 0,72]
Артериальная	84	0,61 [0,35; 0,88]	0,71 [0,48; 0,94]	0,64 [0,43; 0,85]
Венозная	82,2	0,65 [0,39; 0,9]	0,66 [0,4; 0,92]	0,54 [0,32; 0,76]
Отсроченная	82	0,68 [0,43; 0,92]	0,72 [0,49; 0,95]	0,54 [0,31; 0,78]
Все фазы	74,9	0,66 [0,42; 0,9]	0,56 [0,29; 0,83]	0,57 [0,35; 0,8]
<b>3D-сегментация</b>				
Нативная	78	<b>0,73 [0,52; 0,94]</b>	0,6 [0,32; 0,88]	0,66 [0,44; 0,87]
Артериальная	79,8	0,66 [0,43; 0,89]	0,61 [0,34; 0,89]	0,64 [0,41; 0,87]
Венозная	80,4	<b>0,74 [0,54; 0,94]</b>	0,63 [0,37; 0,9]	0,64 [0,42; 0,87]
Отсроченная	81,5	<b>0,79 [0,59; 0,98]</b>	<b>0,75 [0,53; 0,97]</b>	0,56 [0,33; 0,8]
Все фазы	70,1	0,7 [0,49; 0,91]	0,57 [0,32; 0,81]	0,65 [0,45; 0,86]

текстурных показателей, полученных при использовании 2D- и 3D-сегментации в разные фазы контрастирования. Нами не было выявлено первых главных компонент, разделяющих группы новообразований (нижняя граница  $AUC > 0,5$ ) при 2D-сегментации. При 3D-сегментации была выявлена дискриминация постнекротических кист и муцинозных опухолей первой главной компонентой текстурных параметров в нативную, венозную и отсроченную фазу, а также постнекротических кист и серозных опухолей первой

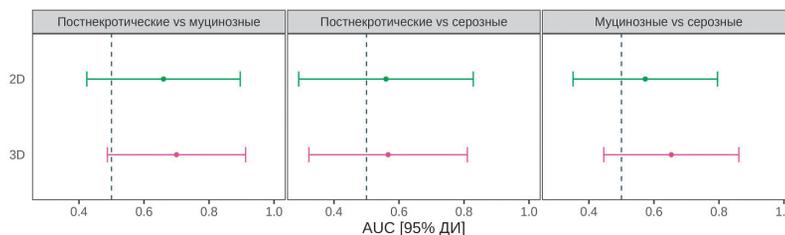
главной компонентой текстурных параметров в отсроченную фазу.

В табл. 3 представлены коэффициенты, полученные в модели с использованием текстурных показателей при 2D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования. Наблюдаемая AUC Хэнда–Тилла для предсказаний, полученных с использованием модели составил 0,89 (бутстреп оценка — 0,79 [95% ДИ 0,72; 0,85]), наблюдаемый коэффициент корреляции  $\phi$  Мэттьюса составил 0,66 (бутстреп оценка —



**Рис. 4.** Характеристика дискриминации классов опухолей при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты текстурных параметров

**Fig. 4.** Characteristics of tumor’s classes discrimination when using the first principal component of texture parameters as a predictor



**Рис. 5.** Характеристика дискриминации классов опухолей при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты текстурных параметров, полученных при использовании 2D- и 3D-сегментации

**Fig. 5.** Characteristics of tumor’s classes discrimination when using the first principal component of texture parameters obtained in 2D/3D segmentation as a predictor

Таблица 3

Результаты логистической регрессионной модели, построенные при анализе режима 2D-сегментации КТ-изображений

Table 3

Results of the logistic regression model constructed by analyzing the 2D segmentation of CT images

Предиктор	Фаза	$\beta$	95% ДИ	p
<b>Муцинозные</b>				
Свободный член		4,240	4,236; 4,245	<0,001
INTENSITY-HISTOGRAM_IntensityHistogram75 <sup>th</sup> Percentile (IBSI:No)	Нативная	-0,138	-0,282; 0,005	0,059
MORPHOLOGICAL_Volume (IBSI:RNU0), mm <sup>3</sup>	Артериальная	-0,001	-0,003; 0,001	0,425
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	-0,036	-0,299; 0,227	0,787
<b>Серозные</b>				
Свободный член		-3,235	-3,238; -3,232	<0,001
INTENSITY-HISTOGRAM_IntensityHistogram75 <sup>th</sup> Percentile (IBSI:No)	Нативная	-0,017	-0,147; 0,114	0,803
MORPHOLOGICAL_Volume (IBSI:RNU0), mm <sup>3</sup>	Артериальная	-0,001	-0,004; 0,001	0,248
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	0,197	-0,02; 0,414	0,075

0,38 [95% ДИ 0,26; 0,5]). Чувствительность и специфичность модели при использовании порогового значения предсказанной вероятности полученного с использованием J-статистики Юдена в отношении постнекротических кист составила 70% [95% ДИ 34,8; 93,3] и 93,3% [95% ДИ 77,9; 99,2] соответственно, в отношении муцинозных опухолей —

73,3% [95% ДИ 44,9; 92,2] и 92% [95% ДИ 74; 99], в отношении серозных опухолей — 86,7% [95% ДИ 59,5; 98,3] и 80% [95% ДИ 59,3; 93,2].

В табл. 4 представлены коэффициенты, полученные в модели с использованием текстурных показателей при 3D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования. Наблюдаемый AUC Хэнда–Тилла

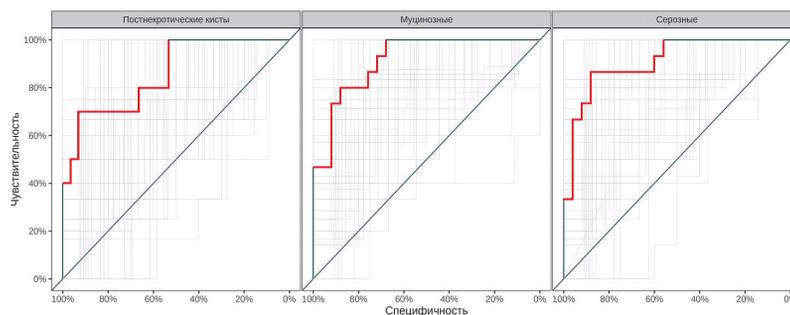


Рис. 6. ROC-кривые для предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 2D-сегментации в качестве предикторов. Красным цветом выделена ROC-кривая с использованием обучающей выборки, серым цветом — бутстреп оценки

Fig. 6. ROC-curves for predictive model using texture features from 2D segmentation as predictors. Red — training set, gray — bootstrap estimates

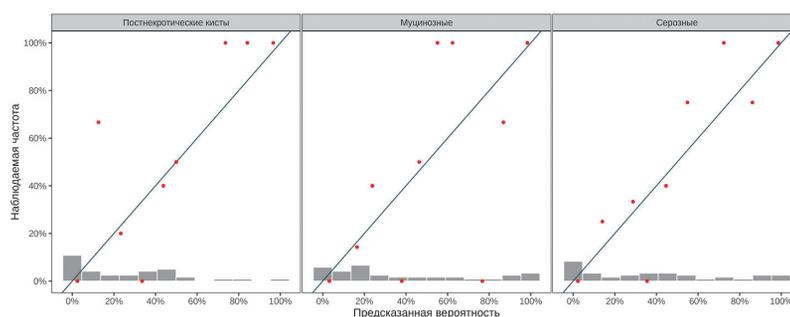


Рис. 7. Калибровка предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 2D-сегментации в качестве предикторов

Fig. 7. Calibration of predictive model probabilities using texture features from 2D segmentation as predictors

Результаты логистической регрессионной модели, построенные при анализе режима 3D-сегментации КТ-изображений

Таблица 4

Table 4

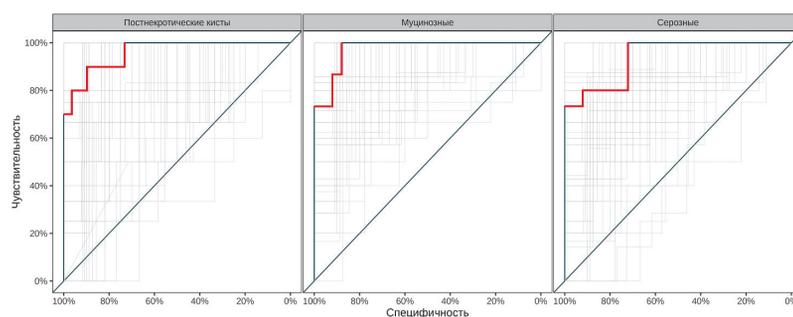
Results of the logistic regression model constructed by analyzing the 3D segmentation of CT images

Предиктор	Фаза	$\beta$	95% ДИ	p
<b>Муцинозные</b>				
Свободный член		3,251	3,249; 3,252	<0,001
MORPHOLOGICAL_Surface To Volume Ratio (IBSI:2PR5) [mm]	Нативная	-11,533	-11,533; -11,532	<0,001
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	0,101	0,075; 0,126	<0,001
GLCM_Correlation (IBSI:NI2N)	Отсроченная	6,455	6,454; 6,455	<0,001
GLSZM_ZonePercentage (IBSI:P30P)	Отсроченная	-2,082	-2,082; -2,081	<0,001
<b>Серозные</b>				
Свободный член		-3,057	-3,059; -3,054	<0,001
MORPHOLOGICAL_Surface To Volume Ratio (IBSI:2PR5) [mm]	Нативная	-1,803	-1,805; -1,801	<0,001
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	0,307	0,255; 0,359	<0,001
GLCM_Correlation (IBSI:NI2N)	Отсроченная	5,791	5,79; 5,791	<0,001
GLSZM_ZonePercentage (IBSI:P30P)	Отсроченная	-5,351	-5,352; -5,349	<0,001

для предсказаний, полученных с использованием модели составил 0,96 (бутстреп оценка — 0,88 [95% ДИ 0,81; 0,92]), наблюдаемый коэффициент корреляции  $\phi$  Мэтьюса составил 0,73 (бутстреп оценка — 0,52 [95% ДИ 0,39; 0,62]). Чувствительность и специфичность модели в отношении постнекротических кист составила 80% [95% ДИ 44,4; 97,5] и 96,7%

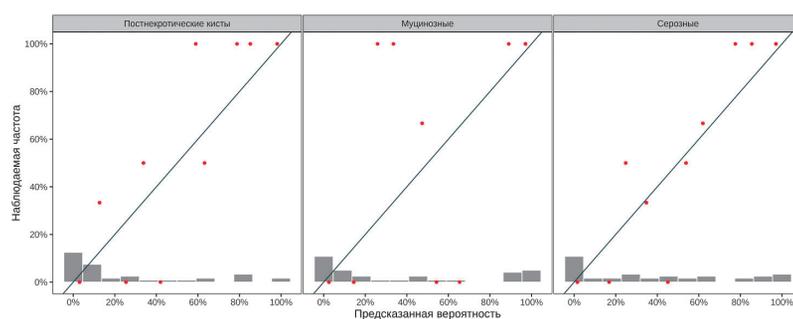
[95% ДИ 82,8; 99,9] соответственно, в отношении муцинозных опухолей — 86,7% [95% ДИ 59,5; 98,3] и 88% [95% ДИ 68,8; 97,5], в отношении серозных опухолей — 80% [95% ДИ 51,9; 95,7] и 88% [95% ДИ 68,8; 97,5].

**Обсуждение.** Дооперационная дифференцировка подгрупп кистозных образований ПЖ нередко



**Рис. 8.** ROC-кривые для предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 3D-сегментации в качестве предикторов. Красным цветом выделена ROC-кривая с использованием обучающей выборки, серым цветом — бутстреп оценки

**Fig. 8.** ROC-curves for predictive model using texture features from 2D segmentation as predictors. Red — training set, gray — bootstrap estimates



**Рис. 9.** Калибровка предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 3D-сегментации в качестве предикторов

**Fig. 9.** Calibration of predictive model probabilities using texture features from 3D segmentation as predictors

составляет значительные трудности, в особенности это касается макрокистозных типов [8]. В большинстве своем как опухолевые, так и неопухолевые кисты ПЖ представлены округлой формой образованиями с вариабельной толщиной стенок, факультативным наличием перегородок и нередко ассоциированной панкреатической гипертензией [2, 22–24].

За последние годы неуклонно возрастает количество публикаций, посвященных возможностям применения текстурного анализа кистозных образований ПЖ, и на настоящий момент подобных исследований уже более 20. Актуальность и перспективы интеграции радиомики в рутинную практику доказаны результатами целого ряда исследований на основе анализа как КТ, так и МРТ — изображений. В настоящее время путем текстурного анализа исследователи преследуют решение двух основных задач — дифференцировка различных гистологических классов кист ПЖ и определение степени дифференцировки опухолевых кист [25–30].

Открытым остается вопрос стандартизации предварительной обработки изображений и условий сегментации. Анализ 3D-изображений позволяет полноценно оценить всю степень неоднородности опухоли, чего невозможно добиться в условиях 2D-сегментации [31]. Napania и соавт. (2016) наоборот постулируют о том, что большое количество извлеченных текстурных показателей может приводить к неверным результатам [25].

На момент проведения исследования нами не было найдено ни одной работы, в которой бы анализировались все фазы контрастного усиления. Обзор имеющихся публикаций показал, что в подавляющем большинстве случаев исследователи сегментировали лишь одну из фаз сканирования (артериальную/венозную) в 3D-режиме [25, 27, 28].

В нашем исследовании были проанализированы четыре фазы контрастного усиления (нативная, артериальная, венозная и отсроченная) в различных параметрах сегментации. В область интереса (ROI) не входили кальцинаты, сосуды, интактная паренхима ПЖ и окружающая парапанкреатическая клетчатка. С целью сужения спектра текстурных параметров и нивелирования ошибок сегментации нами было установлено ограничение по плотности зоны сегментации от 0 до 200 HU. Учитывая тот факт, что анализируемые исследования выполнялись в различных организациях и на различных томографах, а также опираясь на опыт и результаты опубликованных работ [32, 33], с целью стандартизации изображений последние были приведены к фиксированному размеру изотропного вокселя  $1 \text{ мм}^3$  (RES).

По итогам исследования нами были выявлены статистически значимо различающиеся текстурные показатели-предикторы дифференцировки трех типов кистозных образований поджелудочной железы. В итоговую предиктивную модель в условиях 2D-сегментации изображений вошли три текстурных

показателя первого порядка (INTENSITY-HISTOGRAM\_Intensity Histogram75<sup>th</sup> Percentile, MORPHOLOGICAL\_Volume, INTENSITY-BASED\_Standard Deviation). В свою очередь, в предиктивную модель в условиях 3D-сегментации вошли четыре текстурных показателя, как первого (MORPHOLOGICAL\_SurfaceToVolumeRatio, INTENSITY-BASED\_Standard Deviation), так и второго порядков (GLCM\_Correlation, GLSZM\_ZonePercentage).

В отличие от ряда работ [27, 34], в нашем исследовании в качестве предикторов дифференцировки не было отобрано ни одного показателя более высокого порядка. Также в нашем исследовании не выявлено статистически значимых текстурных показателей-предикторов для венозной фазы сканирования.

Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, имеет место относительно небольшая выборка пациентов, что во многом связано с ред-

костью анализируемых нозологий. Вторым ограничением является ретроспективный характер исследования. В-третьих, обработка изображений для текстурного анализа выполнялась одним врачом-рентгенологом. В-четвертых, не была проведена внешняя валидация имеющихся данных.

**Заключение.** Таким образом, настоящее исследование доказывает высокий потенциал текстурного анализа КТ-изображений в дифференцировке кистозных образований ПЖ. На основании полученных нами данных показано, что анализ всего объема образований (режим 3D-сегментации) представляет наибольший диагностический потенциал. Разработанные модели представляют большой интерес в контексте неинвазивного метода исследования и могут внести весомый вклад в повышение точности дооперационного обследования в неоднозначных клинических случаях.

#### Сведения об авторах:

*Коваленко Анастасия Андреевна* — врач-рентгенолог отделения рентгеновской диагностики и томографии федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: nastua\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0001-8276-3594;

*Петровичев Виктор Сергеевич* — кандидат медицинских наук, заведующий отделением томографии федерального государственного автономного учреждения «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125367, Москва, Ивановское шоссе, д. 3; e-mail: petrovi4ev@gmail.com; ORCID 0000-0002-8391-2771;

*Крючкова Оксана Валентиновна* — кандидат медицинских наук, заведующая отделением рентгеновской диагностики и томографии федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: ovk16@bk.ru; ORCID 0000-0001-6483-2074;

*Коваленко Захар Андреевич* — кандидат медицинских наук, заведующий отделением хирургической онкологии № 2 федерального государственного автономного учреждения «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125367, Москва, Ивановское шоссе, д. 3; e-mail: zahar\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0002-8314-9307;

*Ананьев Дмитрий Павлович* — кандидат медицинских наук, заместитель главного врача по медицинской части (по хирургии) федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: ananyew2365@mail.ru; ORCID 0000-0002-0494-4098;

*Матвеев Дмитрий Андреевич* — заведующий отделением торакоабдоминальной онкологии федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: matveevmitya@mail.ru; ORCID 0009-0005-7159-3039;

*Петров Роман Валерьевич* — врач-хирург отделения хирургической онкологии №2 федерального государственного автономного учреждения «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125367, Москва, Ивановское шоссе, д. 3; e-mail: petrov-r-v@yandex.ru; ORCID 0000-0003-3872-7363.

#### Information about authors:

*Anastasia A. Kovalenko* — radiologist of the Radiology department «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: nastua\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0001-8276-3594;

*Victor S. Petrovichev* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiology Department National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center»; 125367, Moscow, 3, Ivan'kovskoe shosse; e-mail: petrovi4ev@gmail.com; ORCID 0000-0002-8391-2771;

*Oksana V. Kryuchkova* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiology Department «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: ovk16@bk.ru; ORCID 0000-0001-6483-2074;

*Zahar A. Kovalenko* — Cand. of Sci. (Med.), Surgeon, Head of Surgical Oncology Department National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center»; 125367, Moscow, 3, Ivan'kovskoe shosse; e-mail: zahar\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0002-8314-9307;

*Dmitry P. Ananev* — Cand. of Sci. (Med.), Surgeon, Deputy Chief Physician for Surgery «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: ananyew2365@mail.ru; ORCID 0000-0002-0494-4098;

*Dmitry A. Matveev* — Surgeon, Head of Thoracoabdominal Oncology Department «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: matveevmitya@mail.ru; ORCID 0009-0005-7159-3039;

*Roman V. Petrov* — Surgeon of Surgical Oncology Department National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center»; 125367, Moscow, 3, Ivan'kovskoe shosse; e-mail: petrov-r-v@yandex.ru; ORCID 000-0003-3872-7367.

**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.А.Коваленко; сбор и анализ данных — В.С.Петровиц, З.А.Коваленко, Д.П.Ананиев, Д.А.Матвеев, П.В.Петров; подготовка рукописи — А.А.Коваленко, В.С.Петровиц, З.А.Коваленко, Д.П.Ананиев, Д.А.Матвеев, П.В.Петров.

**Authors' contributions:** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution AAK aided in the concept and plan of the study; VSP, ZAK, DPA, DAM, RVP provided collection and analysis of data; AAK, VSP, ZAK, DPA, DAM, RVP preparation of the manuscript.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare no conflicts of interest.

**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 has been obtained from each patient.

Поступила/Received: 14.12.2023

Принята к печати/Accepted: 26.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Chu L.C., Park S., Soleimani S. et al. Classification of pancreatic cystic neoplasms using radiomic feature analysis is equivalent to an experienced academic radiologist: a step toward computer-augmented diagnostics for radiologists // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2022. Vol. 47, No. 12. P. 4139–4150. doi: 10.1007/s00261-022-03663-6.
2. Ozaki K., Ikeno H., Kaizaki Y. et al. Pearls and pitfalls of imaging features of pancreatic cystic lesions: a case-based approach with imaging-pathologic correlation // *Jpn. J. Radiol.* 2021. Vol. 39, No. 2. P. 118–142. doi: 10.1007/s11604-020-01032-1.
3. Kloth C., Hagggenmüller B., Beck A et al. Diagnostic, Structured Classification and Therapeutic Approach in Cystic Pancreatic Lesions: Systematic Findings with Regard to the European Guidelines // *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 454. doi: 10.3390/diagnostics13030454.
4. De Pretis N., Mukewar S., Aryal-Khanal A., Bi Y., Takahashi N., Chari S. Pancreatic cysts: Diagnostic accuracy and risk of inappropriate resections // *Pancreatol.* 2017. Vol. 17, No. 2. P. 267–272. doi: 10.1016/j.pan.2017.01.002.
5. Liu H., Cui Y., Shao J., Shao Z., Su F., Li Y. The diagnostic role of CT, MRI/MRCP, PET/CT, EUS and DWI in the differentiation of benign and malignant IPMN: A meta-analysis // *Clin Imaging*. 2021. Vol. 72. P. 183–193. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.11.018.
6. Zhu S., Wang W.T., Shang X.S. et al. Difference analysis in prevalence of incidental pancreatic cystic lesions between computed tomography and magnetic resonance imaging // *BMC Med. Imaging*. 2019. Vol. 19, No. 1. P. 43–52. doi: 10.1186/s12880-019-0341-5.
7. Udare A., Agarwal M., Alabousi M. et al. Diagnostic Accuracy of MRI for Differentiation of Benign and Malignant Pancreatic Cystic Lesions Compared to CT and Endoscopic Ultrasound: Systematic Review and Meta-analysis // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2021. Vol. 54, No. 4. P. 1126–1137. doi: 10.1002/jmri.27606.
8. Ishigami K., Nishie A., Mochidome N. et al. Mucinous nonneoplastic cyst of the pancreas: CT and MRI appearances // *Abdom. Radiol (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 12. P. 2827–2834. doi: 10.1007/s00261-017-1204-6.
9. Kovalenko A., Karmazanovsky G. Preconditions for radiomics-based approach in differential diagnosis of pancreatic cystic lesions: critical evaluation of meta-analyses and international guidelines // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No 3. P. 27–38. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-27-38>.
10. Tanaka M., Fernández-Del Castillo C., Kamisawa T. et al. Revisions of international consensus Fukuoka guidelines for the management of IPMN of the pancreas // *Pancreatol.* 2017. Vol. 17, No. 5. P. 738–753. doi: 10.1016/j.pan.2017.07.007.
11. Vege S.S., Ziring B., Jain R., Moayyedi P. Clinical Guidelines Committee; American Gastroenterology Association. American gastroenterological association institute guideline on the diagnosis and management of asymptomatic neoplastic pancreatic cysts // *Gastroenterology*. 2015. Vol. 148, No. 4. P. 819–822. doi: 10.1053/j.gastro.2015.01.015.
12. European Study Group on Cystic Tumours of the Pancreas. European evidence-based guidelines on pancreatic cystic neoplasms // *Gut*. 2018. Vol. 67, No. 5. P. 789–804. doi: 10.1136/gutjnl-2018-316027.
13. Megibow A.J., Baker M.E., Morgan D.E. et al. Management of Incidental Pancreatic Cysts: A White Paper of the ACR Incidental Findings Committee // *J. Am. Coll Radiol.* 2017. Vol. 14, No. 7. P. 911–923. doi: 10.1016/j.jacr.2017.03.010.
14. Dunn D.P., Brook O.R., Brook A. et al. Measurement of pancreatic cystic lesions on magnetic resonance imaging: efficacy of standards in reducing inter-observer variability // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2016. Vol. 41, No. 3. P. 500–507. doi: 10.1007/s00261-015-0588-4.
15. Boos J., Brook A., Chingko C.M. et al. MDCT vs. MRI for incidental pancreatic cysts: measurement variability and impact on clinical management // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 2, P. 521–530. doi: 10.1007/s00261-016-0883-8.
16. Takakura K., Torisu Y., Kinoshita Y. et al. An Appraisal of Current Guidelines for Managing Malignancy in Pancreatic Intraductal Papillary Mucinous Neoplasm // *JOP*. 2018. Vol. 19, No. 4. P. 178–182.
17. Elta G.H., Enestvedt B.K., Sauer B.G., Lennon A.M. ACG Clinical Guideline: Diagnosis and Management of Pancreatic Cysts // *Am. J. Gastroenterol.* 2018. Vol. 113, No. 4. P. 464–479. doi: 10.1038/ajg.2018.14.
18. Boot C. A review of pancreatic cyst fluid analysis in the differential diagnosis of pancreatic cyst lesions // *Ann Clin Biochem*. 2014. Vol. 51, No. 2. P. 151–166. doi: 10.1177/0004563213503819.
19. Abdelkader A., Hunt B., Hartley C.P., Panarelli N.C., Giordadze T. Cystic Lesions of the Pancreas: Differential Diagnosis and Cytologic-Histologic Correlation // *Arch Pathol Lab Med*. 2020. Vol. 144, No. 1. P. 47–61. doi: 10.5858/arpa.2019-0308-RA.
20. Rizzo S., Botta F., Raimondi S. et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis // *Eur Radiol. Exp*. 2018; Vol. 2, No. 1. doi: 10.1186/s41747-018-0068-z.

21. Dalal V., Carmicheal J., Dhaliwal A., Jain M., Kaur S., Batra S.K. Radiomics in stratification of pancreatic cystic lesions: Machine learning in action // *Cancer Lett.* 2020. Vol. 469. P. 228–237. doi: 10.1016/j.canlet.2019.10.023.
22. Mamone G., Barresi L., Tropea A., Di Piazza A., Miraglia R. MRI of mucinous pancreatic cystic lesions: a new updated morphological approach for the differential diagnosis // *Updates Surg.* 2020. Vol. 72, No. 3. P. 617–637. doi: 10.1007/s13304-020-00800-y.
23. Habashi S., Draganov P.V. Pancreatic pseudocyst // *World J. Gastroenterol.* 2009. Vol. 15, No. 1. P. 38–47. doi: 10.3748/wjg.15.38.
24. Amico E.C., Alves J.R., de Araújo Lima Liguori A., Sousa R.L. Serous Pancreatic Cystadenoma with Compression of Wirsung's Duct // *J. Gastrointest. Surg.* 2019. Vol. 23, No. 1. P. 176–178. doi: 10.1007/s11605-018-3794-x.
25. Hanania A.N., Bantis L.E., Feng Z. et al. Quantitative imaging to evaluate malignant potential of IPMNs // *Oncotarget.* 2016. Vol. 7, No. 52. P. 85776–85784. doi: 10.18632/oncotarget.11769.
26. Yang J., Guo X., Ou X., Zhang W., Ma X. Discrimination of Pancreatic Serous Cystadenomas From Mucinous Cystadenomas With CT Textural Features: Based on Machine Learning // *Front Oncol.* 2019. Vol. 9, No. 494. doi: 10.3389/fonc.2019.00494.
27. Xie H., Ma S., Guo X., Zhang X., Wang X. Preoperative differentiation of pancreatic mucinous cystic neoplasm from macrocystic serous cystic adenoma using radiomics: Preliminary findings and comparison with radiological model // *Eur. J. Radiol.* 2020. Vol. 122. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.108747.
28. Jeon S.K., Kim J.H., Yoo J. et al. Assessment of malignant potential in intraductal papillary mucinous neoplasms of the pancreas using MR findings and texture analysis // *Eur. Radiol.* 2021. Vol. 31, No. 5. P. 3394–3404. doi: 10.1007/s00330-020-07425-0.
29. Chu L.C., Park S., Soleimani S. et al. Classification of pancreatic cystic neoplasms using radiomic feature analysis is equivalent to an experienced academic radiologist: a step toward computer-augmented diagnostics for radiologists // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2022. Vol. 47, No. 12. P. 4139–4150. doi: 10.1007/s00261-022-03663-6.
30. Ștefan P.A., Lupean R.A., Lebovici A. et al. Quantitative MRI of Pancreatic Cystic Lesions: A New Diagnostic Approach // *Healthcare (Basel)*. 2022. Vol. 10, No. 6. doi: 10.3390/healthcare10061039.
31. Rosenkrantz A. Histogram-based apparent diffusion coefficient analysis: an emerging tool for cervical cancer characterization // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2013. Vol. 200, No. 2. P. 311–313. doi: 10.2214/AJR.12.9926.
32. Shen X., Yang F., Yang P. et al. A Contrast-Enhanced Computed Tomography Based Radiomics Approach for Preoperative Differentiation of Pancreatic Cystic Neoplasm Subtypes: A Feasibility Study // *Front Oncol.* 2020. Vol. 10. doi: 10.3389/fonc.2020.00248.
33. Dong Z., Chen X., Cheng Z. et al. Differential diagnosis of pancreatic cystic neoplasms through a radiomics-assisted system // *Front Oncol.* 2022. Vol. 12. doi: 10.3389/fonc.2022.941744.
34. Wei R., Lin K., Yan W. et al. Computer-Aided Diagnosis of Pancreas Serous Cystic Neoplasms: A Radiomics Method on Preoperative MDCT Images // *Technol. Cancer Res. Treat.* 2019. Vol. 18. doi: 10.1177/1533033818824339.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**

УДК 616.36-073.43-616.98-036.21

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-65-76>

## ТОЧЕЧНАЯ ЭЛАСТОГРАФИЯ СДВИГОВЫХ ВОЛН В ОЦЕНКЕ ОЧАГОВОЙ ПАТОЛОГИИ ПЕЧЕНИ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

<sup>1</sup>К. В. Козубова<sup>✉\*</sup>, <sup>1,2</sup>Е. А. Бусько<sup>✉</sup>, <sup>1,3</sup>С. С. Багненко<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>П. В. Балахнин<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>А. С. Шмелев<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>А. Б. Гончарова<sup>✉</sup>,  
<sup>1,3</sup>Е. В. Костромина<sup>✉</sup>, <sup>1,2</sup>Р. А. Кадырлеев<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Э. С. Любимская<sup>✉</sup>, <sup>1,2</sup>И. А. Буровик<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Определение характера очаговой патологии печени представляет собой важный вопрос, особенно в онкологической практике. Методы визуализации с внутривенным болюсным контрастным усилением являются основными способами диагностики патологии гепатобилиарной зоны, однако существуют ограничения в применении компьютерной, магнитно-резонансной томографии, а также контрастно-усиленного ультразвукового исследования. В последние годы точечная эластография сдвиговых волн стала широко используемым методом в оценке изменений в печени, в частности для количественного определения диффузной патологии. Также в настоящее время активно ведутся научные исследования по определению пороговых значений жесткости различных образований печени.

**ЦЕЛЬ:** Определить возможность альтернативного способа дифференциальной диагностики солидных образований печени от псевдоочагового поражения с помощью методики точечной эластографии сдвиговой волной в контексте мультипараметрического ультразвукового исследования.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В исследование было включено 64 пациента с отягощенным онкоанамнезом. Во всех случаях проводилась компьютерная томография с контрастным усилением и мультипараметрическое ультразвуковое исследование с применением технологии точечной сдвиговой эластографии для оценки количественных показателей жесткости очага в нецирротической печени. Оценивалась минимальная, средняя и максимальная жесткость образования, выраженная в м/с по результатам 10 измерений. Полученные результаты сравнивали с принятыми нормативами жесткости паренхимы печени для оценки диффузных изменений, рекомендованной EFSUMB.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** В соответствии с данными окончательного клинического диагноза, в исследования вошли следующие ОПП: гемангиома (n=16; 25,0%), участок фокального стеатоза (n=19; 29,7%), метастазы (n=29; 45,3%). Нами оценивались три подгруппы значений: минимальное значение жесткости в очаге, максимальное и среднее. Наиболее важным параметром, использующийся для дальнейшей интерпретации данных — среднее значение жесткости по результатам всех измерений. При оценке этого показателя для гемангиомы медиана равнялась 1,63 м/с, стандартное отклонение составило 0,36, размах — 1,02 м/с. Для данных очаговых изменений 25-й перцентиль равен 1,47 м/с, 75-й перцентиль — 2,01 м/с. Для метастатического поражения медиана составила 1,83 м/с. При определении стандартного отклонения данный показатель составил 0,34 м/с, размах — 1,58 м/с. Также значения 25-го перцентилья равнялись 1,68 м/с, а 75-го — 2,08 м/с. При анализе данных показателей жесткости в очагах фокального стеатоза получены следующие значения: медиана — 1,09 м/с; размах — 0,21 м/с и стандартное отклонение — 0,06 м/с. Значения 25-го перцентилья составляли 1,025 м/с, 75-го — 1,105 м/с.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Исходя из представленных данных, истинные солидные очаги, такие как гемангиома и метастаз, имели значимо высокие показатели жесткости в сравнении с неизменной паренхимой печени. Полученные нами результаты близки со значениями, описанными в ряде крупных исследований, однако на данный момент не существует единого консенсуса относительно пороговых величин, а также методологии выполнения исследования и определения зоны для оценки жесткости в очаге, что делает данную методику перспективной для дальнейшего изучения.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Выполнение мультипараметрического ультразвукового исследования с применением методики точечной эластографии сдвиговых волн в оценке количественных показателей жесткости в очаге позволяет выявить изменения в печени на этапе скрининга, вести постоянное неинвазивное наблюдение за онкологическими больными, определить дальнейшую тактику ведения больного. Данная методика является перспективным, легкодоступным, экономичным и, главное, безболезненным диагностическим инструментом для обнаружения и характеристики поражения печени, позволяет сократить время дифференциальной диагностики на первичном этапе, снизить затраты на дальнейшие исследования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** очаговое поражение печени, метастаз, гемангиома, фокальный стеатоз, ультразвуковое исследование, точечная эластография сдвиговых волн

\* Для корреспонденции: Козубова Ксения Вячеславовна, e-mail: dr.kozubova@yandex.ru.

Для цитирования: Козубова К.В., Бусько Е.А., Бажненко С.С., Балахнин П.В., Шмелев А.С., Гончарова А.Б., Костромина Е.В., Кадырлеев Р.А., Любимская Э.С., Буровик И.А. Точечная эластография сдвиговых волн в оценке очаговой патологии печени: проспективное исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 2. С. 65–76, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-65-76>.

## ACOUSTIC RADIATION FORCE IMPULSE ELASTOGRAPHY IN THE EVALUATION OF FOCAL LIVER PATHOLOGY: A PROSPECTIVE STUDY

<sup>1</sup>Ksenia V. Kozubova<sup>\*</sup>, <sup>1,2</sup>Ekaterina A. Busko<sup>®</sup>, <sup>1,3</sup>Sergey S. Bagnenko<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Pavel V. Balakhnin<sup>®</sup>,  
<sup>1</sup>Alexey S. Shmelev<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Anastasia B. Goncharova<sup>®</sup>, <sup>1,3</sup>Ekaterina V. Kostromina<sup>®</sup>, <sup>1,2</sup>Roman A. Kadyrleev<sup>®</sup>,  
<sup>1</sup>Elvira S. Lyubimskaya<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Ilya A. Burovick<sup>®</sup>

<sup>1</sup>Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** Determining the nature of focal liver pathology is an important issue, especially in oncological practice. Imaging methods with contrast enhancement are the main methods for diagnosing pathology of the hepatobiliary tract, however, there are limitations in the use of computed tomography, magnetic resonance imaging, and contrast-enhanced ultrasound. In recent years, acoustic radiation force impulse elastography has become a widely used method in assessing changes in the liver. This technique has been successfully used to quantify diffuse disease in the liver, and scientific research is currently being actively conducted to determine the threshold values of the stiffness of various liver lesions.

**OBJECTIVE:** To determine the possibility of an alternative method for differential diagnosis of solid liver lesions from pseudofocal lesions using the acoustic radiation force impulse elastography technique in the context of multiparametric ultrasound examination.

**MATERIALS AND METHODS:** The study included 64 patients with a history of cancer. In all cases, contrast-enhanced computed tomography and multiparametric ultrasound using acoustic radiation force impulse elastography technology were performed to assess quantitative indicators of lesion stiffness in the non-cirrhotic liver. The minimum, average and maximum stiffness of the lesion was assessed, expressed in m/s based on the results of 10 measurements. The results obtained were compared with accepted standards for the stiffness of the liver parenchyma for assessing diffuse changes, recommended by EFSUMB.

**RESULTS:** In accordance with the final clinical diagnosis, the studies included focal liver lesions: hemangioma (n=16; 25.0%), focal steatosis (n=19; 29.7%), metastases (n=29; 45.3%). We assessed three subgroups of values: the minimum value, the maximum and the average. The most important parameter used for further interpretation of the data is the average stiffness value based on the results of all measurements. When assessing this indicator for hemangioma, the median was 1.63 m/s, the standard deviation was 0.36, and the range was 1.02 m/s. For these focal lesions the 25<sup>th</sup> percentile is 1.47 m/s, the 75<sup>th</sup> percentile is 2.01 m/s. For metastatic lesions, the median was 1.83 m/s. When determining the standard deviation, this indicator was 0.34 m/s, and the range was 1.58 m/s. Also, the values of the 25<sup>th</sup> percentile were 1.68 m/s, and the 75<sup>th</sup> were 2.08 m/s. When analyzing these indicators of stiffness in focal steatosis, the following values were obtained: median — 1.09 m/s; range — 0.21 m/s and standard deviation — 0.06 m/s. The 25<sup>th</sup> percentile values were 1.025 m/s, the 75<sup>th</sup> percentile — 1.105 m/s.

**DISCUSSION:** Based on the presented data, solid lesions, such as hemangioma and metastasis, had significantly high stiffness values in comparison with unchanged liver parenchyma. Our results are close to the values described in a number of large studies, but at the moment there is no consensus regarding the threshold values, as well as the methodology for performing the study and determining the zone for assessing stiffness in the lesion, which makes this technique promising for further study.

**CONCLUSION:** Performing a multiparametric ultrasound examination using the technique of acoustic radiation force impulse elastography to assess quantitative indicators of stiffness in the lesion makes it possible to identify changes in the liver at the screening stage, conduct constant non-invasive monitoring of cancer patients, and determine further tactics for patient management. This technique is a promising, easily accessible, economical and, most importantly, dose-free diagnostic tool for detecting and characterizing liver lesion, allowing to reduce the time of differential diagnosis at the initial stage and reduce the costs of further research.

**KEYWORDS:** focal liver lesion, metastasis, hemangioma, focal steatosis, ultrasound, acoustic radiation force impulse elastography

\* For correspondence: Ksenia V. Kozubova, e-mail: dr.kozubova@yandex.ru.

For citation: Kozubova K.V., Busko E.A., Bagnenko S.S., Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Goncharova A.B., Kostromina E.V., Kadyrleev R.A., Lyubimskaya E.S., Burovick I.A. Acoustic radiation force impulse elastography in the evaluation of focal liver pathology: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 65–76, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-65-76>.

**Введение.** Очаговые поражения печени (ОПП) являются достаточно распространенной патологией и включают в себя гетерогенную группу новообразований как доброкачественного, так и злокачественного генеза. Согласно клиническим рекомендациям Американского общества гастроэнтерологов, «ОПП — это солидные или кистозные образования, или участки печеночной паренхимы, имеющие строение, отличное от здоровой ткани печени». Представленное определение включает достаточно обширный диапазон ОПП, которые могут иметь различный генез, как неопластический, так и воспалительный [1, 2].

Согласно данным литературы частота выявления ОПП в общей популяции достигает 33%, а при проведении посмертного патологоанатомического исследования превышает 50% [3]. Особое внимание стоит уделить пациентам с онкологическим заболеванием в анамнезе, поскольку метастатическое поражение является наиболее распространенным злокачественным поражением печени и составляет до 30% всех опухолевых изменений в рассматриваемом паренхиматозном органе [4]. Отметим, что доброкачественные очаги в данной когорте пациентов встречаются с той же частотой, что и у здорового населения, поэтому важно разработать грамотный алгоритм наблюдения для выявления и оценки изменений в гепатобилиарной зоне, поскольку точный диагноз дает возможность оптимизировать алгоритм наблюдения и лечения, а в некоторых случаях позволяет избежать необходимости проведения интервенционных вмешательств [5, 6].

Методы визуализации с применением контрастного усиления (компьютерная, магнитно-резонансная томография) на протяжении длительного времени зарекомендовали себя как высокоэффективные технологии в дифференциальной диагностике ОПП [7]. Заявленные методики позволяют оценить как локализацию и количество очагов в печени, так и ангиоархитектонику в зоне интереса, а также отношение патологического процесса к крупным печеночным сосудам и прилежащим анатомическим структурам [8, 9].

Помимо значимых преимуществ, также существует и ряд противопоказаний к выполнению данных исследований, в частности аллергия на контрастные препараты, а также лучевая нагрузка на организм, невозможность выполнения у пациентов с хроническими заболеваниями почек в стадии декомпенсации при компьютерной томографии и наличие кардиостимуляторов и металлоконструкций в организме, выраженные неврологические нарушения при проведении магнитно-резонансной томографии [10, 11].

Контрастно-усиленное ультразвуковое исследование зарекомендовало себя как надежный инструмент в выявлении и дифференциальной диагностике ОПП с высокой диагностической эффективностью, но в настоящее время применение данной технологии ограничено [12, 13].

Поиск альтернативных вариантов привел к изучению использования эластографии сдвиговых волн в контексте мультипараметрического ультразвукового исследования очаговых образований печени [14]. Данная методика позволяет оценить количественные значения жесткости в зоне интереса и сопоставить с интактной паренхимой, что может являться диагностически значимым инструментом в диагностике ОПП и позволяет грамотно выстроить алгоритм дальнейшего ведения пациентов с обоснованием назначения дополнительных методов визуализации при необходимости [15, 16]. В обновлении к рекомендациям по ультразвуковой эластографии печени высказано предположение, что данная технология может быть дополняющим критерием в оценке очаговой патологии, например, при фокально-нодулярной гиперплазии по сравнению с аденомой печени или в случае гепатоцеллюлярного рака, но в настоящий момент эластография не рекомендована как основной метод именно при диагностике очагов, поскольку как доброкачественные, так и злокачественные очаги могут иметь разную жесткость относительно паренхимы печени. Необходимо также учитывать, что у пациента могут присутствовать фиброзные изменения различной степени выраженности, что также может влиять на диагностику [17].

Экспертами в области гепатологии (G. Ferraioli и соавт.) в 2022 г. был выпущен обзор, представляющий собой обобщенную информацию по оценке печени при использовании эластографии сдвиговых волн. Экстраполируя информацию из обзора и принимая во внимание все общие указания по проведению процедуры, также важно сделать вывод о пороговых значениях жесткости нормальной паренхимы печени — <5 кПа (1,3 м/с). Данный показатель крайне важен не только с целью исключения фиброзных изменений, но также и для анализа количественных значений жесткости очага по отношению к неизмененной ткани печени [18, 19].

Если говорить об отечественных научных работах, С. Н. Берников и соавт. опубликовали исследование, где сравнивали различные типы эластографии в контексте дифференциальной диагностики гемангиом от метастатического поражения печени при колоректальном раке. Помимо определения цветовой кодировки очагов, исследователями были определены пороговое значение, позволяющее дифференцировать гемангиомы от гиперэхогенных метастазов колоректального рака, что может являться полезным инструментом в практической деятельности [20].

Также много научных работ опубликовано А. В. Борсуковым и соавт., где детально приведены правила проведения эластографии, включая очаговые изменения печени, описана методология исследования и приведены аппаратно- и операторозависимые факторы, что необходимо учитывать при трактовке полученных измерений и аналитически подходить к вопросу о корректности выполнения

измерений и необходимости включения полученных значений в протокол сканирования [15, 21].

Однако, принимая во внимание накопленный отечественный и зарубежный опыт применения точечной эластографии сдвиговых волн в оценке очаговой патологии печени, вопрос о возможностях данной методики с целью постановки правильного диагноза и минимизации выполнения альтернативных методов исследования остается открытым.

**Цель.** Определить возможность альтернативного способа дифференциальной диагностики солидных образований печени от псевдоочагового поражения с помощью методики точечной эластографии сдвиговой волной в контексте мультипараметрического ультразвукового исследования

**Материалы и методы.** Исследование одобрено этическим комитетом федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 17 от 28.10.2021). Информированное согласие получено от каждого пациента. Исследование проводилось на отделении лучевой диагностики на базе научно-исследовательского института. В исследование было включено 64 пациента, имеющих отягощенный онкоанамнез, из них 22 мужчины (средний возраст  $54,6 \pm 8,6$  года) и 42 женщины (средний возраст  $51 \pm 6,4$  года).

Основными требованиями включения в исследование являлась четкая визуализация очаговых изменений в паренхиме печени при нативном ультразвуковом исследовании и размер зоны интереса более 1 см в диаметре. Ультразвуковое исследование выполнялось натощак (не менее 6 часов голода) на аппаратах экспертного класса с поддержкой режима точечной эластографии сдвиговых волн — ARFI (англ. Acoustic Radiation Force Impulse). УЗИ проводилось с применением конвексного датчика с частотой 2–8 МГц. После визуализации целевой зоны в серошкальном режиме активировался режим точечной эластографии сдвиговой волны. Интересующий участок должен визуализироваться на экране монитора, без артефактов от прилежащих газовых и костных структур. Значение контрольного окна ставилось минимальное ( $1 \times 0,5$  см) соответственно, зона интереса располагалась в центральной части очагового образования при размерах от 10 до 15 мм и в периферической части при размерах очага более 16 мм для нивелирования ложных значений при центрально расположенной зоне фиброза или некроза. Проводилось не менее 10 измерений в зоне интереса для получения надежных показателей, затем проводилось эквивалентное количество вычислений в интактной паренхиме печени для исключения диффузных изменений по типу фиброза. В исследование не вошли пациенты, у которых не удалось получить оптимальное изображение ОПП

в серошкальном режиме при выполнении ультразвукового исследования. Также в выборку не включались исследования, тесно сопряженные с пациентозависимыми факторами (лабораторно подтвержденный синдром цитолиза, напряженный асцит, подтвержденные фиброзные изменения в печени) и аппаратозависимыми ограничениями (ожирение III степени у пациента, кожные дефекты воспалительного и послеоперационного характера) [15, 18, 22].

В качестве референсных интервалов были взяты за основу пороговые значения для определения диффузных изменений печени, рекомендованные Европейской федерацией общества ультразвука в медицине и биологии (EFSUMB) [18]. Нормальные показатели жесткости для большинства ультразвуковых аппаратов стратифицированы и количественно соответствуют стадии фиброза по системе METAVIR, применимой для оценки фиброзных изменений в исследуемом органе.

Все ультразвуковые исследования проводились врачами ультразвуковой диагностики ( $n=4$ ), имеющими непрерывный медицинский стаж по специальности от 3 лет, а также самостоятельно выполнявшими не менее 150 исследований по количественной оценке жесткости печеночной паренхимы для определения фиброзных изменений.

Также всем пациентам, включенным в исследование, в качестве референтного метода выполнялась компьютерная томография с контрастным усилением (КТ с КУ), поэтому пациенты с тяжелой соматической патологией и почечными заболеваниями в стадии декомпенсации, а также при наличии аллергических реакций на контрастные препараты в анамнезе также были исключены из выборки. КТ с КУ выполнялась на мультиспиральном многослойном 64- или 128-срезовом сканере с толщиной среза 1,5 мм. Исследование проводилось с внутривенным болюсным контрастным усилением неонинными йодсодержащими препаратами при помощи автоматического программируемого двухколбового инжектора в количестве, рекомендуемом фирмой-производителем, со скоростью введения 3–4 мл/с. КТ с КУ выполнялась по стандартной методике с получением артериальной и портальной фаз контрастирования (двухфазная КТ). При необходимости исследование дополнялось нативной и отсроченной фазой контрастирования.

При подозрении на метастатическое поражение ( $n=30$ ) выполнялась трепан-биопсия очага в печени. Манипуляция осуществлялась при помощи УЗИ-наведения в стерильных условиях под местным обезболиванием с использованием автоматической биопсийной системы многократного использования Bard Magnum с применением иглы толщиной 16G. Для гистологического исследования бралось не менее двух полноценных столбиков ткани с последующей антисептической обработкой места манипуляции. Забранный материал помещался в 2% раствор формалина и транспортировался в патолого-

анатомическую лабораторию для дальнейшего исследования. После проведения инвазивной манипуляции пациент 2 часа находился под медицинским наблюдением. Каждые 30 минут выполнялось обзорное УЗИ брюшной полости с целью определения кровотока.

При наличии доброкачественных паттернов контрастирования ( $n=34$ ) по данным КТ пациенты находились на динамическом наблюдении в течение длительного временного промежутка (от 6 месяцев до 2 лет) с интервальным выполнением различных методов лучевой диагностики для контроля зоны интереса в печени: в первый год наблюдения контроль осуществлялся каждые 3 месяца, далее при отсутствии отрицательной динамики рекомендовался контроль каждые 6 месяцев.

По результатам окончательного клинического диагноза в исследование были включены очаги: гемангиома ( $n=16$ ), метастаз ( $n=29$ ), участки жирового гепатоза ( $n=19$ ).

**Результаты.** Все количественные показатели в соответствии с рекомендациями EFSUMB измерялись в метрах/секунду (м/с) и заносились в единую сводную таблицу для удобства статистического анализа (табл. 1).

значение составило 1,14 м/с, максимальное — 1,98 м/с, медиана равнялась 1,31 м/с. Таким образом, стандартное отклонение составило 0,208, размах — 0,84 м/с. Для этих очаговых изменений 25-й перцентиль равен 1,22 м/с, 75-й перцентиль — 1,43 м/с.

Для метастатического поражения печени минимальное значение при исследуемом параметре составило 1,12 м/с, максимальное — 1,96 м/с, медиана — 1,31 м/с; стандартное отклонение равно 0,209 и размах — 0,84 м/с. При этих очагах 25-й и 75-й перцентили составили 1,26 м/с и 1,44 м/с соответственно.

В случае обнаружения участка фокального стеатоза, минимальное значение составило по результатам всех измерений составило 0,99 м/с, максимальное — 1,11 м/с, медиана — 0,99 м/с. Стандартное отклонение составило 0,091, размах — 0,12. Значения 25-го перцентилля составили 0,917 м/с, 75-го перцентилля — 1,04 м/с.

Обобщенные данные по исследуемому параметру представлены на рис. 1.

2. Следующим этапом оценивалось максимальное значение количественного показателя жесткости в зоне интереса.

Обобщенные данные жесткости очаговых поражений печени при измерении минимального, максимального и среднего значения

Таблица 1

Generalized data on the stiffness of focal liver lesions when measuring the minimum, maximum and average values

Table 1

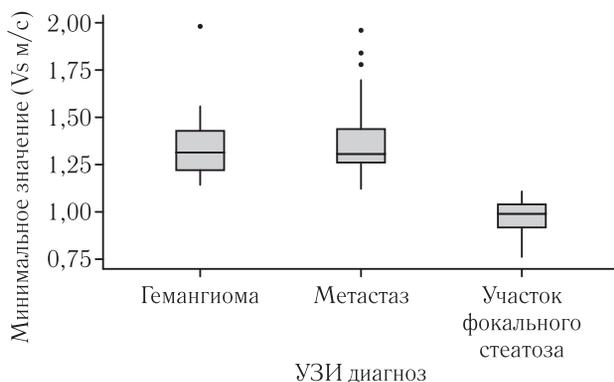
Показатель	Очаговое поражение печени	Минимальное значение, м/с	Максимальное значение, м/с	Среднее значение, м/с
Медиана	Гемангиома	1,31	2,21	1,63
	Метастаз	1,31	2,49	1,83
	Очаговый стеатоз	0,99	1,16	1,09
Стандартное отклонение	Гемангиома	0,208	0,544	0,36
	Метастаз	0,209	0,514	0,33
	Очаговый стеатоз	0,091	0,044	0,057
Минимум	Гемангиома	1,14	1,48	1,32
	Метастаз	1,12	1,68	1,42
	Очаговый стеатоз	0,76	1,05	0,95
Максимум	Гемангиома	1,98	3,07	2,34
	Метастаз	1,96	3,43	3,0
	Очаговый стеатоз	1,11	1,21	1,04
25-й перцентиль	Гемангиома	1,22	1,73	1,47
	Метастаз	1,26	1,98	1,68
	Очаговый стеатоз	0,92	1,12	1,03
50-й перцентиль	Гемангиома	1,31	2,21	1,63
	Метастаз	1,31	2,49	1,83
	Очаговый стеатоз	0,99	1,16	1,09
75-й перцентиль	Гемангиома	1,43	2,67	2,01
	Метастаз	1,44	2,82	2,07
	Очаговый стеатоз	1,04	1,17	1,11

Далее подробно проводился анализ статистических показателей каждой из групп.

1. Первым этапом изучалось наименьшее значение жесткости в ОПП. Для такого доброкачественного образования, как гемангиома, минимальное

Для солидного доброкачественного очага, такого как гемангиома, минимальным значением было 1,48 м/с, максимальным значением среди всех измерений являлось 3,07 м/с, медиана — 2,21 м/с. Размах в данной подгруппе составил 0,59 м/с, стандартное

отклонение — 0,544 м/с. 25-й процентиль имел значение 1,73 м/с, 75-й процентиль — 2,67 м/с.



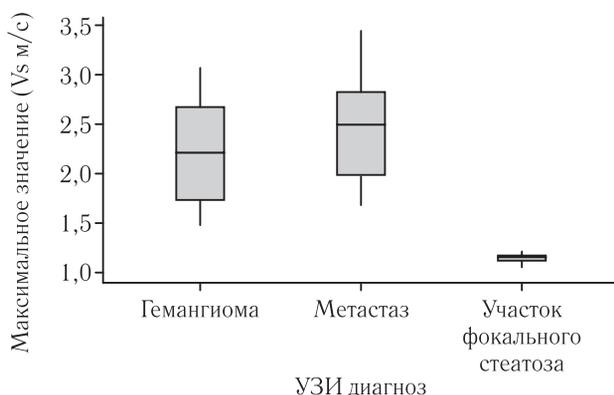
**Рис. 1.** Распределение минимальных значений жесткости (м/с) в измеряемых очагах в зависимости от нозологии очаговых поражений печени

**Fig. 1.** Distribution of minimum stiffness values (m/s) in measured lesions depending on the nosology of focal liver lesion

Для метастатического поражения минимальное значение составило 1,68 м/с, максимальное — 3,43 м/с, медиана — 2,49 м/с. Размах имел значение 0,74 м/с, а стандартное отклонение — 0,514 м/с. При данном типе очаговых изменений 25-й процентиль был равен 1,98, а 75-й — 2,82 м/с.

При определении аналогичных значений для участка фокального стеатоза были получены следующие данные: минимальное значение — 1,05 м/с, максимальное — 1,21 м/с, а медиана — 1,16 м/с. Размах имел количественное значение 0,16 м/с, а стандартное отклонение равнялось 0,44 м/с. Также значение 25-го перцентиля составляло 1,12 м/с, а 75-го — 1,17 м/с.

Обобщенные данные по максимальному значению жесткости в очаге представлены на рис. 2.



**Рис. 2.** Количественные значения максимального показателя жесткости в гемангиоме, метастатическом поражении и участке фокального стеатоза

**Fig. 2.** Quantitative values of the maximum stiffness index in hemangioma, metastatic lesion and focal steatosis

3. Завершающим этапом оценивался наиболее важный показатель, использующийся для дальней-

шей интерпретации данных — среднее значение жесткости очага по результатам всех измерений.

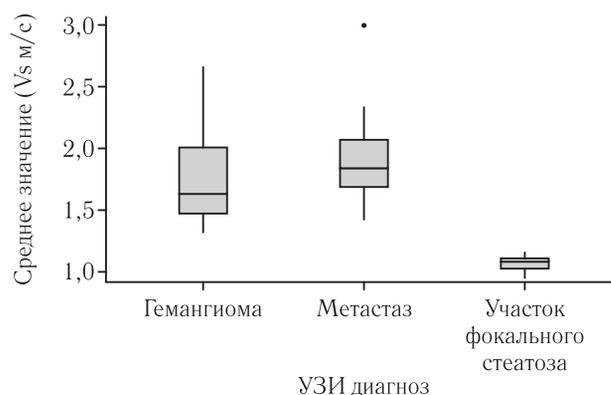
Для гемангиомы при анализе среднего значения всех измерений в очагах минимальное значение составило 1,3 м/с, максимальное — 2,34 м/с, медиана равнялась 1,63 м/с. Таким образом, стандартное отклонение составило 0,36, размах — 1,02 м/с. Для этих очаговых изменений 25-й процентиль равен 1,47 м/с, 75-й процентиль — 2,01 м/с.

Для метастатического поражения минимальным значением в данной подгруппе являлось 1,42 м/с, максимальным — 3 м/с, медиана — 1,83 м/с. При определении стандартного отклонения этот показатель составил 0,34 м/с, размах — 1,58 м/с. Значения 25-го перцентиля равнялись 1,68 м/с, 75-го — 2,08 м/с.

При анализе данных показателей жесткости в очагах фокального стеатоза были получены следующие значения: минимальное — 0,95 м/с, максимальное — 1,6 м/с, медиана — 1,09 м/с; размах — 0,21 м/с и стандартное отклонение — 0,06 м/с. Значения 25-го перцентиля составляли 1,025 м/с, 75-го — 1,105 м/с.

Для дальнейших исследований и применения анализируемых данных целесообразно ориентироваться на средний показатель в ОПП, поскольку минимальные и максимальные значения в очаге в зависимости от строения образования могут отличаться, так как измерения в зоне интереса проводятся в разных точках.

Обобщенные данные по результатам анализа очагов различной нозологии представлены на рис. 3.



**Рис. 3.** Среднее значение показателя жесткости в сопоставлении с природой очага

**Fig. 3.** The average value of the stiffness index in comparison with the nature of the lesion

При сопоставлении полученных данных среднего значения жесткости по результатам 10 измерений с рекомендованными значениями для измерения диффузных изменений печени нами выявлены следующие закономерности (табл. 2).

Как видно из представленной таблицы, для солидных очагов, таких как гемангиома и метастаз, количественные значения жесткости в очаге были значи-

мо выше по сравнению с нормальными показателями при отсутствии диффузных изменений печени. При оценке параметров участка фокального стеатоза, показатели были сопоставимы с нормальными значениями жесткости в нецирротической печени,

**Пример 2.** Пациентка К., 69 лет. Основное заболевание: Рак молочной железы. Состояние после органосохраняющей операции, лучевой терапии от 2012 года, с последующей гормонотерапией тамоксифеном в течение 5 лет. По результатам контрольной компьютерной томографии органов брюш-

Таблица 2  
Сопоставление полученных средних значений жесткости в очаге с рекомендованными значениями для диффузных заболеваний печени

Table 2

Comparison of the obtained average stiffness values in the lesion with the recommended values for diffuse liver diseases

Среднее значение жесткости в очаге	Гемангиома	Метастаз	Фокальный стеатоз
$M \pm \text{STD}$ (min; max)	$1,63 \pm 0,36$ (1,47; 2,01)	$1,83 \pm 0,33$ (1,68; 2,07)	$1,09 \pm 0,057$ (1,03; 1,11)
<b>Значения для определения диффузных изменений печени в соответствии с рекомендациями EFSUMB</b>			
Норма/клинически незначимый фиброз (F0/F1)	Клинически значимый фиброз (F2)	Выраженный фиброз (F3)	Цирроз (F4)
Менее 1,2 м/с	1,24 до 1,34 м/с	1,34–1,55 м/с	1,55–2,0 м/с

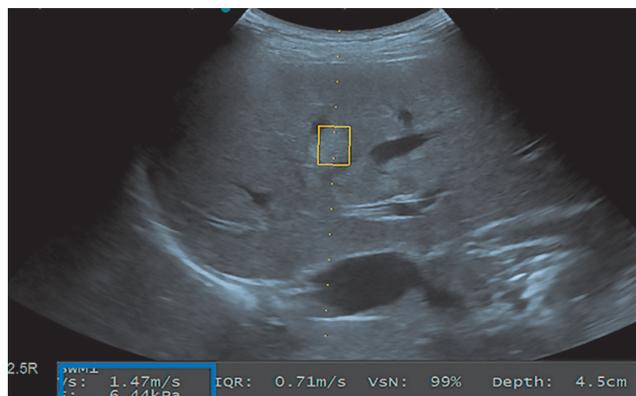
что говорит о псевдопоражении и позволяет исключить солидный компонент.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о значимой корреляции жесткости в истинных солидных ОПП и псевдоочаговом поражении печени.

Примеры, указанные ниже, подтверждают полученные нами выводы.

**Пример 1.** Пациентка Б., 46 лет. Основное заболевание: Са правой молочной железы (pT2N1M0), состояние после комплексного лечения от 2019 года, в настоящий момент получает гормонотерапию (тамоксифен). Пациентка находится на динамическом наблюдении в онкологическом центре. При УЗИ в правой доле печени визуализируется гиперэхогенное очаговое образование, размерами до 17 мм, с четкими неровными контурами. По результатам эластографии сдвиговых волн жесткость нормальной ткани печени без очаговых изменений в соответствии с клиническими рекомендациями равна нормальным показателям (F0/F1), что соответствует отсутствию фиброзных изменений. По результатам эластографии сдвиговых волн все значения измерений в очаге ( $n=10$ ) значительно превышали нормальные показатели (рис. 4), среднее значение жесткости очага при 10 измерениях составило 1,47 м/с — данные значения выходят из референсного интервала, соответственно образование было расценено как солидное новообразование печени, высказано предположение о гемангиоме. Проведена компьютерная томография с контрастным усилением, где паттерны контрастирования очага соответствовали гемангиоме печени. По результатам наблюдения в динамике размеры очага в печени без изменений. Следовательно, с учетом мультимодальной визуализации данное образование в печени расценивается как гемангиома.

ной полости с внутривенным контрастным усилением 6 месяцев назад данных, свидетельствующих о метастазах, не получено, ультразвуковое исследование не проводилось. Настоящая цель обращения: плановое наблюдение в соответствии с рекомендациями онколога.

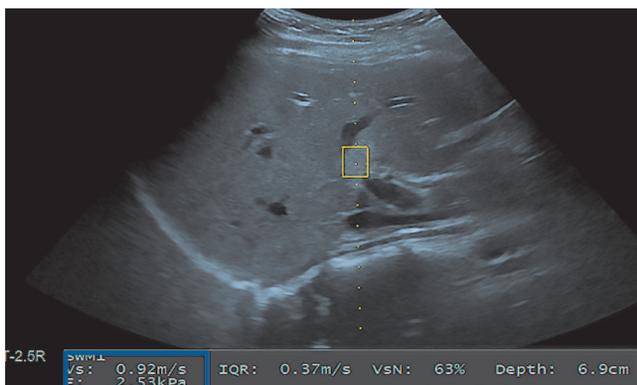


**Рис. 4.** Пример количественного измерения жесткости в очаге. При данном измерении жесткость в очаге составила 1,47 м/с (выделено синим), что соответствует показателям, превышающим нормальные значения жесткости нецирротической паренхимы печени

**Fig 4.** Example of quantitative measurement of stiffness in focal liver lesion. With this measurement, the stiffness was 1,47 m/s (highlighted in blue), which corresponds to values exceeding the normal values of stiffness of non-cirrhotic liver parenchyma

При контрольном УЗИ в В-режиме в правой доле печени, вблизи воротной вены, визуализируется гиперэхогенное очаговое образование, размерами 15×10 мм, с четкими неровными контурами. По результатам эластографии сдвиговых волн жесткость интактной ткани печени в соответствии с клиническими рекомендациями равна нормальным

показателям (1,12 м/с), то есть диффузные изменения по типу фиброза отсутствуют. При оценке визуализируемого очага в печени количественные показатели также соответствуют нормальным показателям жесткости (0,92 м/с), среднее значение жесткости очага при 10 измерениях составило 1,07 м/с — эти значения не выходят из референсного интервала нормальных показателей, соответственно данное образование было расценено как очаговый стеатоз печени. При контрольном исследовании через 3 месяца данные изменения без динамики, соответственно очаг в печени не является вторичным и не требует инвазивных вмешательств. По КТ, выполненной в динамике, зона интереса без измененных паттернов контрастирования при сравнении с окружающей паренхимой, что также трактуется в пользу отсутствия солидного очага.



**Рис. 5.** Пример измерения жесткости в визуализируемом очаговом поражении печени. Полученное значение (выделено синим) равно 0,92 м/с, что коррелирует со значениями в неизменной паренхиме печени

**Fig. 5.** Example of stiffness measurement in a visualized focal liver lesion. The resulting value (highlighted in blue) is 0,92 m/s, which correlates with values in unchanged liver parenchyma

**Обсуждение.** Любое выявленное очаговое изменение в печени вызывает тревожность у пациентов, особенно если имеется отягощенный онкоанамнез. Целью нашего исследования являлось изучение жесткости истинных солидных очагов, в частности гемангиом и метастазов от псевдоопухолевого поражения печени в виде участков фокального стеатоза, что позволит снизить последующее назначение иных лучевых методик для дифференциальной диагностики ОПП. В ходе исследования нами были изучены результаты исследований 64 пациентов с отягощенным онкоанамнезом, у которых по результатам серошкального ультразвукового исследования в печени визуализировались очаговые изменения, диаметром более 10 мм. В качестве референтного метода всем исследуемым из данной выборки выполнялась КТ с КУ, при определении злокачественных паттернов контрастирования очагов выполнялась морфологическая верификация узла, при отсутствии данных, свидетельствующих о вторичных измене-

ниях, проводилось частое динамическое наблюдение различными методами визуализации через короткий промежуток: в первый год — каждые три месяца с дальнейшим увеличением интервала контрольных обследований через каждые 6 месяцев. В соответствии с данными окончательного клинического диагноза, в исследование вошли следующие ОПП: гемангиома (n=16; 25,0%), участок фокального стеатоза (n=19; 29,7%), метастазы (n=29; 45,3%).

Для гемангиомы были получены следующие значения:

- минимальное:  $1,31 \pm 0,208$  м/с;
- максимальное:  $2,21 \pm 0,514$  м/с;
- среднее:  $1,63 \pm 0,36$  м/с.

При метастатическом поражении значения жесткости в очаге соответствовали следующим показателям:

- минимальное:  $1,31 \pm 0,209$  м/с;
- максимальное:  $2,49 \pm 0,514$  м/с;
- среднее:  $1,83 \pm 0,33$  м/с.

Участок фокального стеатоза имел значения:

- минимальное:  $0,99 \pm 0,091$  м/с;
- максимальное:  $1,16 \pm 0,044$  м/с;
- среднее:  $1,09 \pm 0,057$  м/с.

Исходя из представленных данных, истинные солидные очаги, такие как гемангиома и метастаз, имели значимо высокие показатели жесткости в сравнении с неизменной паренхимой печени. Принимая во внимание патоморфологическое строение вторичных очагов можно предположить, что повышенная жесткость при ультразвуковой эластографии является следствием десмопластической реакцией и фиброзными изменениями в зоне интереса. Высокие показатели жесткости для гемангиом, вероятно, обусловлены интранодулярным склерозом, тромбозом и обызвествлением сосудов внутри очага.

В нашем исследовании псевдоочаговые изменения в виде участков жирового гепатоза имели значения жесткости, равные таковым при отсутствии фиброза в нецирротической печени, что соответствует неповрежденным гепатоцитам или избыточному накоплению жиров в ткани печени без значимого изменения клеточной архитектоники.

Следует отметить, что в настоящее время не существует единых критериев оценки зоны интереса, в частности выбора зоны для определения наилучшей области проведения измерений, а также отсутствует консенсус относительно диагностического порогового значения различных ОПП.

Множество исследований противоречивы и не коррелируют между собой по выявленным пороговым значениями жесткости ОПП для каждой нозологии.

Полученные в нашем исследовании значения оказались меньше, чем по данным A. Gallotti (2012), где описываются средние значения для гемангиомы, равные  $2,30 \pm 0,95$  м/с, и  $2,87 \pm 1,13$  м/с для метастазов. Однако прослеживается единая тенденция:

в нашем исследовании и в ряде зарубежных гемангиомы и метастазы в контексте одного исследователя имели близкие значения по скорости распространения сдвиговой волны, что также прослеживается и в нашей работе. Выдвинутые предположения также подтверждаются данными из описанных выше источников, т.е. в исследовании не выявлено статистически значимой межоператорской оценки ( $p > 0,05$ ).

Полученные нами данные близки к значениям, полученным в исследовании С. Goya и соавт. (2015), где указаны следующие показатели: средняя жесткость гемангиомы составила  $1,45 \pm 0,45$  м/с, метастазов —  $1,64 \pm 0,45$  м/с.

В крупных азиатских исследованиях также отмечены средние значения жесткости для гемангиомы ( $1,69 \pm 0,89$  м/с;  $1,57 \pm 0,55$  м/с), сопоставимые с полученным в нашем исследовании, однако для метастазов показатели были значимо выше, чем в нашей работе ( $2,95 \pm 1,00$  м/с;  $2,77 \pm 0,68$  м/с) [14, 16].

Объединял ряд исследований тот факт, что жесткость солидных очагов в печени достоверно отличается от показателей интактной паренхимы, что позволяет судить о наличии истинного поражения, в отличие от участков жирового гепатоза, которые трактуются как псевдоопухолевые изменения.

В ряде других исследований также встречается вариативный показатель жесткости очагов, что дает возможность предположить прямую связь между количеством очагов в выборке, размером, гетерогенной структуры очагов, а также можно предположить операторозависимость.

Лишь единичные исследования сравнивают значения в истинных солидных очагах и псевдоопухолевых изменениях. В одном из исследований, включающих в себя данные о показателях жесткости в участках фокального стеатоза, приводятся также повышенные значения:  $1,71 \pm 0,65$  (диапазон 0,95–2,64) и  $1,51 \pm 1,15$  (диапазон 0,81–4,33), однако и в интактной паренхиме наблюдались численно высокие показатели:  $1,39 \pm 0,50$  (диапазон 0,78–2,13) и  $1,26 \pm 0,34$  (диапазон 0,76–1,84) соответственно. Можно предположить, что большая вариативность числовых значений в ОПП зависит от производителя аппарата, поскольку существует разница между аппаратом и рекомендуемыми пороговыми значениями.

Предложенные нами количественные показатели жесткости в очагах позволяют рекомендовать данную методику как один из параметров оценки ОПП. В случае получения низких количественных значений, сопоставимых с неизменной паренхимой печени, возможно проведение повторного исследования или выполнение методики с использованием контрастного усиления в качестве уточняющего метода через короткий промежуток времени.

Высокие показатели жесткости в визуализируемых изменениях на эхограмме свидетельствуют

о наличии истинного солидного очага в печени, что позволяет направить пациента на дальнейшее дообследование референтным методом.

Наша работа показала многообещающие результаты, но нельзя не отметить, что требуется исследование на большей когорте пациентов с различными ОПП, а также с метастазами в печени при различных нозологиях первичного опухолевого очага.

Важным преимуществом данного метода, в отличие от контрастных методик, кроме оценки ОПП, является измерение интактной паренхимы печени для исключения фиброзных изменений как предиктора цирроза, даже на начальных этапах развития патологических изменений.

Также нельзя не отметить затруднения, с которыми может столкнуться исследователь. Первое и самое главное — это глубина залегания зоны интереса. Для получения наиболее достоверных количественных данных максимальная глубина не должна превышать 10 см от кожи во избежание затухания поперечной волны. Также точность измерений прямо пропорционально зависит от двигательных артефактов, поэтому оценка некоторых изменений в левой доле печени может быть затруднена в связи с артефактами от двигательной активности сердца. Ограничением в проведении исследования также может стать локализация очага в поддиафрагмальных отделах печени, в связи с чем могут возникнуть трудности при визуализации и получении корректных измерений.

Большинство исследований рассматривают применение данной методики в контексте дифференциальной диагностики первичного рака печени от иных ОПП, что диктует необходимость продолжения нашего исследования в рамках разработки методологии сканирования и определения пороговых значений для солидных очагов печени в нецирротической печени.

**Заключение.** Таким образом, включение в алгоритм мультипараметрического ультразвукового исследования режима точечной эластографии сдвиговой волны для оценки количественных значений жесткости очага позволяет отличить истинные солидные очаги в гепатобилиарной зоне от псевдоочагового поражения печени. Данная методика может предоставить дополнительную информацию о характере визуализируемого очагового поражения печени, но достоверно не позволяет проводить дифференциальную диагностику между истинными солидными очагами, поскольку значения жесткости не имеют значимых различий.

Исследуемая методика является перспективной для дальнейшего изучения жесткости очагов различного генеза, что способствует сокращению времени постановки диагноза на первичном этапе и обоснованному назначению дополнительных исследований при необходимости.

**Сведения об авторах:**

*Козубова Ксения Вячеславовна* — аспирант научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: dr.kozubova@yandex.ru; ORCID 0000–0001–9611–0439;

*Бусько Екатерина Александровна* — доктор медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; профессор Научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина», медицинский факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: katrn@mail.ru; ORCID 0000–0002–0940–6491;

*Багненко Сергей Сергеевич* — доктор медицинских наук, доцент, заведующий научным отделением — ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; профессор кафедры лучевой диагностики и биомедицинской визуализации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; e-mail: bagnenko\_ss@mail.ru; ORCID 0000–0002–4131–6293;

*Балахнин Павел Васильевич* — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: balahnin\_p@mail.ru; ORCID 0000–0002–3042–6729;

*Шмелев Алексей Станиславович* — врач-хирург, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: shmel\_1972@mail.ru; ORCID 0000–0002–1610–8820;

*Гончарова Анастасия Борисовна* — кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры теории систем управления электрофизической аппаратурой факультета прикладной математики — процессов управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: a.goncharova@spbu.ru; ORCID 0000–0002–7980–1657;

*Костромина Екатерина Викторовна* — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; доцент кафедры лучевой диагностики и биомедицинской визуализации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; e-mail: terik-dog@mail.ru; ORCID 0000–0002–4245–687X;

*Кадырлеев Роман Андреевич* — кандидат медицинских наук, врач — ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ассистент Научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина», медицинский факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: romankadyrleev@gmail.com; ORCID 0000–0001–6576–1087;

*Любимская Эльвира Сергеевна* — аспирант научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач — ультразвуковой диагност отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: elialubimskaia@gmail.com; ORCID 0000–0002–2038–3964;

*Буровик Илья Александрович* — кандидат медицинских наук, заведующий отделением лучевой диагностики, научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ассистент кафедры онкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: burovick\_ilya@mail.ru; ORCID 0000–0002–4714–1228.

**Information about the authors:**

*Ksenia V. Kozubova* — Postgraduate Student, Ultrasound Diagnostician of Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: dr.kozubova@yandex.ru; ORCID 0000–0001–9611–0439;

*Ekaterina A. Busko* — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Ultrasound Diagnostician, Radiologist of the Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; Professor to «Radiation diagnostics and nuclear medicine», Faculty of Medicine of St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9; e-mail: katrn@mail.ru; ORCID 0000–0002–0940–6491;

*Sergey S. Bagnenko* — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Scientific Department — Leading Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68;

Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Biomedical Imaging, FSBEI of HE St. Petersburg State Pediatric Medical University MoH of the Russian Federation; 194100, St. Petersburg, st. Litovskaya, 2; e-mail: bagnenko\_ss@mail.ru; ORCID 0000-0002-4131-6293;

*Pavel V. Balahnin* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department — Doctor for Endovascular Diagnostics and Treatment of the Department of Radiology Surgical Methods of Diagnostics and Treatment, Senior Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: balahnin\_p@mail.ru; ORCID 0000-0002-3042-6729;

*Alexey S. Shmelev* — surgeon, Doctor for Endovascular Diagnostics and Treatment of the Department of Radiology Surgical Methods of Diagnostics and Treatment of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: shmel\_1972@mail.ru; ORCID 0000-0002-1610-8820;

*Anastasia B. Goncharova* — Cand. of Sci. (Phy. and Math.), senior lecturer at the Department of Theory of Control Systems for Electrophysical Equipment, Faculty of Applied Mathematics — Control Processes, St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7-9; e-mail: a.goncharova@spbu.ru; ORCID 0000-0002-7980-1657;

*Ekaterina V. Kostromina* — Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher at the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Ultrasound Diagnostician, Radiologist at the Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Biomedical Imaging, FSBEI of HE St. Petersburg State Pediatric Medical University MoH of the Russian Federation; 194100, St. Petersburg, st. Litovskaya, 2; e-mail: terik-dog@mail.ru; ORCID 0000-0002-4245-687X;

*Roman A. Kadyrleev* — Cand. of Sci. (Med.), Ultrasound Diagnostician of the Department of Radiation Diagnostics of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; assistant to «Radiation diagnostics and nuclear medicine», Faculty of Medicine, St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7-9; e-mail: romankadyrleev@gmail.com; ORCID 0000-0001-6576-1087;

*Elvira S. Lyubimskaya* — Postgraduate Student, Ultrasound Diagnostician of Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; e-mail: elialiubimskaia@gmail.com; ORCID 0000-0002-2038-3964;

*Ilya A. Burovick* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics, Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Ultrasound Diagnostician, Radiologist of the Radiation Diagnostics Department of FSBI N. N. Petrov NMRC of Oncology MoH of the Russian Federation; 197758, Saint Petersburg, Pesochny, Leningradskaya street 68; Assistant of Department of Oncology, St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7-9; e-mail: burovick\_ilya@mail.ru; ORCID 0000-0002-4714-1228.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *К.В. Козубова, Е.А. Бусько*; сбор и математический анализ данных — *К.В. Козубова, Е.А. Бусько, П.В. Балахнин, А.С. Шмелев, А.Б. Гончарова, Е.В. Костромина, Р.А. Кадырлеев, Э.С. Любимская, И.А. Буровик*; подготовка рукописи — *К.В. Козубова, Е.А. Бусько, С.С. Багненко*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *KVK, EAB* aided in the concept and plan of the study; *KVK, EAB, PVB, ASSh, ABG, EVK, KRA, ESL, IAB* provided collection and mathematical analysis of data, *KVK, EAB, SSB* — 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 одобрено этическим комитетом федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 17 от 28.10.2021). Информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards.** The study was approved by the local ethics committee Federal State Budgetary Institute N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology Ministry of Health of the Russian Federation (protocol No. 17 от 28.10.2021). Informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 30.12.2023

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Поникаровских А.С. Оперативное лечение больных с доброкачественными очаговыми образованиями печени // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2022. № 8. С. 224–227. [Ponikarovskikh A.S. Surgical treatment of patients with benign focal formations of the liver. *Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*, 2022, No. 8, pp. 224–227 (In Russ.)]. doi: 10.37882/2223-2966.2022.08.32.
2. Marrero J.A., Ahn J., Reddy R.K. ACG clinical guideline: the diagnosis and management of focal liver lesions // *Official journal of the American College of Gastroenterology* | *ACG*. 2014. Vol. 109, No. 9. P. 1328–1347. doi: 10.1038/ajg.2014.213.
3. Algarni A.A., Alshuhri A.H., Alonazi M.M. et al. Focal liver lesions found incidentally // *World journal of hepatology*. 2016. Vol. 8, No. 9. P. 446.
4. Катрич А.Н., Польшиков С.В. Мультипараметрическое ультразвуковое исследование в диагностике новообразований печени // *Инновационная медицина Кубани*. 2021. № 1 (21). С. 72–78. [Katrich A.N., Polshikov S.V. Multiparametric ultrasound in the diagnosis of liver tumors. *Innovative medicine of Kuban*, 2021, No. 1 (21), pp. 72–78 (In Russ.)]. doi: 10.35401/2500-0268-2021-21-1-72-78.
5. Husainy M.A., Sayyed F., Peddu P. Typical and atypical benign liver lesions: A review // *Clinical Imaging*. 2017. Vol. 44. P. 79–91. doi: 10.1016/j.clinimag.2017.05.002.

6. Reizine E., Mulé S., Luciani A. Focal Benign Liver Lesions and Their Diagnostic Pitfalls // *Radiologic Clinics*. 2022. Vol. 60, No. 5. P. 755–773. doi: 10.1016/j.rcl.2022.05.005.
7. Federica V., Cannella R., Bartolotta T.V. et al. Advances in liver US, CT, and MRI: moving toward the future // *European Radiology Experimental*. 2021. Vol. 5, No. 1. P. 52. doi: 10.1186/s41747-021-00250-0.
8. Багненко С.С., Труфанов Г.Е., Железняк И.С. Магнитно-резонансная томография в диагностике очаговых поражений печени // *Анналы хирургической гепатологии*. 2016. Т. 21, № 3. С. 64–69. [Bagnenko S.S., Trufanov G.E. Zheleznyak I.S. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of focal liver lesions. *Annals of surgical hepatology*, 2016, Vol. 21, No. 3. pp. 64–69 (In Russ.)].
9. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Природа и перфузионная динамика перитуморального кольцевого контрастирования мелких (5–9 мм) и очень мелких (<5 мм) гиповаскулярных метастазов в печени: Анализ данных динамической КТ-артериогепатикографии // *Практическая онкология*. 2017. Т. 18, № S1. С. 58–78. [Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. Nature and perfusion dynamics of peritumoral ring contrast of small (5–9 mm) and very small (<5 mm) hypovascular metastases in the liver: Analysis of dynamic CT arteriohepaticography data. *Practical Oncology*, 2017, Vol. 18, No. S1, pp. 58–78 (In Russ.)].
10. Costelloe C.M., Amini B., Madewell J.E. Risks and benefits of gadolinium-based contrast-enhanced MRI // *Seminars in Ultrasound, CT and MRI — WB Saunders*. 2020. Vol. 41, No. 2. P. 170–182. doi: 10.1053/j.sult.2019.12.005.
11. Rudnick M.R., Leonberg-Yoo A.K., Litt H.I. et al. The controversy of contrast-induced nephropathy with intravenous contrast: what is the risk? // *American Journal of Kidney Diseases*. 2020. Vol. 75, No. 1. P. 105–113. doi: 10.1053/j.ajkd.2019.05.022.
12. Dietrich C.F., Nolsøe C.P., Barr R.G. et al. Guidelines and good clinical practice recommendations for contrast enhanced ultrasound (CEUS) in the liver-update 2020-WFUMB in cooperation with EFSUMB, AFSUMB, AIUM, and FLAUS // *Ultraschall in der Medizin-European Journal of Ultrasound*. 2020. Vol. 41, No. 05. P. 562–585. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.030.
13. Козубова К.В., Бусько Е.А., Багненко С.С. и др. Сравнительный анализ эффективности ультразвукового исследования с контрастным усилением и компьютерной томографии в дифференциальной диагностике очагового поражения печени у пациентов с отягощенным онкологическим анамнезом // *Вопросы онкологии*. 2023. Т. 69, № 5. С. 897–907. [Kozubova K.V., Busko E.A., Bagnenko S.S. et al. Comparative analysis of the effectiveness of contrast-enhanced ultrasound and computed tomography in the differential diagnosis of focal liver lesions in patients with a family history of cancer. *Voprosy onkologii*, 2023, Vol. 69, No. 5, pp. 897–907 (In Russ.)]. doi: 10.37469/0507-3758-2023-69-5-897-907.
14. Guo L.H., Wang S.J., Xu H.X. et al. Differentiation of benign and malignant focal liver lesions: value of virtual touch tissue quantification of acoustic radiation force impulse elastography // *Medical oncology*. 2015. Vol. 32. P. 1–10. doi: 10.1007/s12032-015-0543-9.
15. Борсуков А.В., Морозова Т.Г., Мамошин А.В. и др. Мультипараметрическая эластография печени: современные перспективы в алгоритме диагностики диффузных заболеваний печени // *Вестник новых медицинских технологий*. 2019. № 2. С. 69–81. [Borsukov A.V., Morozova T.G., Mamoshin A.V. et al. Liver multiparametrical elastography: future perspectives in the diagnostic procedure of diffuse liver diseases. *Journal of New Medical Technologies*, 2019, Vol.2, pp. 69–81 (In Russ.)]. doi: 10.24411/1609-2163-2019-16364.
16. Nagolu H., Kattoju, S., Natesan C. et al. Role of acoustic radiation force impulse elastography in the characterization of focal solid hepatic lesions // *Journal of Clinical Imaging Science*. 2018. Vol. 8. doi: 10.4103/jcis.JCIS\_64\_17.
17. Ferraioli G., Wong V.W., Castera L. et al. Liver Ultrasound Elastography: An Update to the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Guidelines and Recommendations // *Ultrasound Med. Biol.* 2018. Vol. 44 (12). P. 2419–2440. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.008.
18. Ferraioli G., Barr R.G., Farrokhi A. et al. How to perform shear wave elastography. Part I // *Med. Ultrason*. 2022. Vol. 24 (1). P. 95–106. doi: 10.11152/mu-3217.
19. Борсуков А.В., Вендиктова Д.Ю., Скутарь А.И. и др. Эластография и стеатометрия печени с позиции мировых экспертов 2018–2022 гг. // *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2023. Т. 6. № 3. С. 32–40. [Borsukov A.V., Venidiktova D.Yu., Skutar A.I. et al. Elastography and Steatometry of the Liver from the Position of World Experts 2018–2022. *Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy*, 2023, Vol. 6 (3), pp. 32–40 (In Russ.)]. doi: 10.37174/2587-7593-2023-6-3-32-40.
20. Бердников С.Н., Шолохов В.Н., Синукова Г.Т. и др. Дифференциальная диагностика очаговых гиперэхогенных образований в печени // *Колoproктология*. 2017. Т. 2S. С. 19–25. [Berdnikov S.N., Sholokhov V.N., Siniukova G.T. et al. Differential diagnostics of liver hyperechoic lesions. *Koloproktologia*, 2017, Vol. (2S), pp 19–25 (In Russ.)]. doi: 10.33878/2073-7556-2017-0-2s-19-25.
21. Борсуков А.В., Морозова Т.Г., Мамошин А.В. и др. Мультипараметрическая эластография печени: современные перспективы в алгоритме диагностики диффузных заболеваний печени // *Вестник новых медицинских технологий*. 2019. Т. 26, № 2. С. 69–81. [Borsukov A.V., Morozova T.G., Mamoshin A.V. et al. Multiparametric liver elastography: modern perspectives in the algorithm of diagnosis of diffuse liver diseases. *Bulletin of new medical technologies*, 2019, Vol. 26 (2), pp. 69–81 (In Russ.)]. doi: 10.24411/1609-2163-2019-16364.
22. Пиманов С.И., Митькова М.Д., Митьков В.В. Факторы, оказывающие влияние на результаты ультразвуковой эластометрии печени // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2021. Т. 4. С. 9. [Pimanov S.I., Mitkova M.D., Mitkov V.V. Factors influencing the results of ultrasound elastometry of the liver. *Ultrasound and functional diagnostics*, 2021, Vol. 4, p. 9 (In Russ.)]. doi: 10.24835/1607-0771-2021-4-9-29.
23. Dietrich C.F., Bamber J., Berzigotti A. et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version) // *Ultraschall in der medizin*. 2017. Vol. 38, No. 4. P. e16-e47. doi: 10.1055/s-0043-103952.

УДК 616-073.75+616.03

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-77-84>

## ВОЗМОЖНОСТИ МСКТ И МРТ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЛЕЧЕБНОЙ ТАКТИКИ ПРИ МЕТАСТАЗАХ КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКА В ПЕЧЕНЬ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

<sup>1,2</sup>Л. С. Гусейнова<sup>✉\*</sup>, <sup>2</sup>Д. Ю. Каннер<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>А. О. Швейкин<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>М. В. Лившиц<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>М. В. Москалец<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Д. О. Воронов<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>Р. Ф. Бахтиозин<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московская городская онкологическая больница № 62, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Частая выявляемость метастазов в печень при колоректальном раке и высокий риск неблагоприятного исхода определяют алгоритм ведения таких пациентов в виде максимально возможной ранней диагностики и выбора методов лечения.

**ЦЕЛЬ:** Продемонстрировать возможности МСКТ и МРТ в определении лечебной тактики при метастазах колоректального рака в печень.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В исследование было включено 90 пациентов с метастазами колоректального рака в печень. Всем пациентам была выполнена МСКТ с динамическим контрастированием. Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография выполнена 49 пациентам (54%). Диагноз был подтвержден морфологически и (или) как минимум еще одним методом исследования (ультразвуковое исследование — УЗИ или совмещенная позитронная эмиссионная и рентгеновская компьютерная томография — ПЭТ/КТ).

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** При выявлении солитарного метастатического очага в печени или ограниченного количества очагов в пределах одного сегмента или доли методом выбора являлась типичная или атипичная резекция печени совместно с противоопухолевой лекарственной терапией (химиотерапия/таргетная терапия/иммунотерапия в зависимости от генетического статуса) (38,9%). При наличии нескольких небольших метастатических очагов, диаметр которых не превышал 3 см и расположенных удаленно друг от друга, радиочастотная абляция (РЧА) являлась дополнительным методом к резекции печени (4,4%). У неоперабельных пациентов и/или при нерезектабельных солитарных очагах меньше 5 см, в которых не выявлена сосудистая инвазия, методом выбора являлась стереотаксическая лучевая терапия (СТЛТ) (13,3%). Выраженное снижение функционального резерва печени, малый объем остающейся паренхимы, а также билобарное поражение исключило удаление всех очагов. Таким образом, при билобарном поражении печени, когда органосохраняющая операция невозможна, при наличии внепеченочных метастазов и когда пациент является функционально неоперабельным, методом выбора являлась химиотерапия/таргетная терапия/иммунотерапия в зависимости от генетического статуса (33,4%), трансартериальная химиоэмболизация (ТАХЭ) как паллиативная терапия (10%).

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Согласно данным литературы, наиболее чувствительными методом для обнаружения метастазов в печени являются МРТ с диффузионно-взвешенными изображениями (ДВИ) и применение гепатоспецифических контрастных веществ в гепатобилиарной фазе. КТ — надежный метод предоперационного стадирования, который позволяет получить высококачественную визуализацию печени и охватить всю брюшную полость и грудную клетку, что дает возможность выявить метастазы в регионарные лимфоузлы и отдаленные метастазы. Выявленная нами статистическая закономерность подтверждает эти данные. Однако в нескольких исследованиях отмечалось, что при выявлении мелких очагов (менее 10 мм) чувствительность при применении МРТ с гепатоспецифическими контрастными веществами в гепатобилиарной фазе выше, чем у ДВИ. По результатам нашего исследования МРТ с ДВИ оказалась более чувствительной (95,9%) для выявления мелких метастатических очагов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** МСКТ с динамическим контрастированием и мультипараметрическая МРТ показали высокую диагностическую ценность в оценке метастазов колоректального рака в печень при планировании радикального хирургического вмешательства и выборе альтернативных методов лечения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метастазы колоректального рака в печень, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография

\* Для корреспонденции: Гусейнова Ляман Санан кызы, e-mail: [Guseynova7@bk.ru](mailto:Guseynova7@bk.ru).

Для цитирования: Гусейнова Л.С., Каннер Д.Ю., Швейкин А.О., Лившиц М.В., Москалец М.В., Воронов Д.О., Бахтиозин Р.Ф. Возможности МСКТ и МРТ в определении лечебной тактики при метастазах колоректального рака в печень: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 77–84, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-77-84>.

## THE POSSIBILITIES OF CT AND MRI IN DESIGN OF TREATMENT FOR COLORECTAL LIVER METASTASES: A PROSPECTIVE STUDY

<sup>1,2</sup>Lyaman S. Huseynova<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Dmitriy Yu. Kanner<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Alexandr O. Shveikin<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Mikhail V. Livshits<sup>✉</sup>,  
<sup>2</sup>Mikhail V. Moskalets<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Dmitriy O. Voronov<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Rustam F. Bakhtiozin<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow City Oncological Hospital № 62, Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** Frequent detection of liver metastases in colorectal cancer and a high risk of adverse outcomes determine the algorithm for managing such patients, involving maximum early diagnosis and selection of treatment methods.

**OBJECTIVE:** To demonstrate the possibilities of CT and MRI in determining treatment tactics for colorectal liver metastases.

**MATERIALS AND METHODS:** 90 patients with metastatic colorectal cancer in the liver were examined. All patients underwent contrast-enhanced CT. Multiparametric magnetic resonance imaging was performed in 49 patients (54%). The diagnosis was confirmed morphologically and/or by at least one additional method of examination (ultrasound or PET/CT).

**RESULTS:** When a solitary metastatic lesion in the liver or a limited number of lesions within one segment or lobe was identified, the preferred method was typical or atypical liver resection together with drug therapy (38.9%). In the presence of several small metastatic lesions, each with a diameter not exceeding 3 cm, and located far apart from each other, radiofrequency ablation was an additional method to liver resection (4.4%). For unresectable patients and/or non-resectable solitary lesions smaller than 5 cm without evidence of vascular invasion, the preferred method was stereotactic body radiation therapy (SBRT) (13.3%). Marked reduction in liver functional reserve, small remaining liver volume, as well as bilobar involvement precluded the resection of all lesions. Therefore, in cases of bilobar liver involvement where organ-preserving surgery is not feasible, with the presence of extrahepatic metastases, and when the patient is functionally unresectable, the preferred method was drug therapy (33.4%), transarterial chemoembolization (TACE) as a palliative therapy (10%).

**DISCUSSION:** According to the literature, the most sensitive methods for detecting liver metastases are MRI with diffusion-weighted imaging (DWI) and the use of hepatospecific contrast agents in the hepatobiliary phase. CT is a reliable method for pre-operative staging, providing high-quality visualization of the liver and covering the entire abdominal and thoracic cavities, allowing for the detection of metastases in regional lymph nodes and distant metastases. The statistical regularity we identified confirms these findings. However, in several studies, it has been noted that the sensitivity of MRI with hepatospecific contrast agents in the hepatobiliary phase is higher than DWI when detecting small lesions (less than 10 mm). According to the results of our study, MRI with DWI was found to be more sensitive for detecting small metastatic lesions.

**CONCLUSION:** Contrast-enhanced CT and multiparametric MRI showed high diagnostic value in the assessment of metastatic colorectal cancer in the liver for planning radical surgical intervention and selecting alternative treatment methods.

**KEYWORDS:** colorectal liver metastasis, computed tomography, magnetic resonance imaging

\* For correspondence: Lyaman S. Huseynova, e-mail: Guseynova7@bk.ru.

**For citation:** Huseynova L.S., Kanner D.Yu., Shveikin A.O., Livshits M.V., Moskalets M.V., Voronov D.O., Bakhtiozin R.F. The possibilities of CT and MRI in design of treatment for colorectal liver metastases: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 77–84, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-77-84>.

**Введение.** Колоректальный рак является третьим по распространенности злокачественным новообразованием и занимает второе место по смертности от онкологических заболеваний [1–3].

Печень является одним из наиболее частых органов метастатического распространения эпителиальных раков, уступая только регионарным лимфатическим узлам [2]. Примерно у 20–25% пациентов с колоректальным раком на момент постановки диагноза имеются метастазы в печени, до 70% больных раком толстой кишки имеют метастазы в печень при вскрытии [3–5]. Таким образом, метастазы колоректального рака в печень представляют собой серьезный ограничивающий жизнь фактор, и их раннее выявление имеет первостепенное значение. Этим объясняется большой интерес исследователей и научной литературы к данной теме.

Компьютерная томография и магнитно-резонансная томография являются наиболее точными методами визуализации для диагностики метастазов в печень [6]. Однако предоперационная неинвазивная оценка метастазов в печень претерпела значительные изменения за последние несколько десятилетий, открыв новые возможности как диагностических, так и в хирургических подходах [6].

По мере совершенствования методов компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии можно получить исчерпывающие данные о локализации и васкуляризации очагов, состоянии сосудистой анатомии и билиарного дерева, сдавлении желчевыводящих протоков и сосудов, что имеет огромное значение в выборе тактики лечения (резекция печени, химио- и радиоэмболизация, химио/иммунотерапия, радиочастотная абляция) [7].

При планировании операции расположение опухоли печени по отношению к окружающим структурам, хирургически значимым сосудам и соседним органам имеет большое значение для хирурга. Оценка объема опухоли с расчетом предполагаемого объема резекции также предоставляет ценную информацию. Хирургическая резекция метастазов в печени приводит к пятилетней выживаемости 37% и 10-летней выживаемости 22% [8]. Пациенты, у которых отсутствуют отдаленные метастазы, по-прежнему имеют лучшие показатели выживаемости [9–11].

**Цель.** Продемонстрировать возможности МСКТ и МРТ в определении лечебной тактики при метастазах колоректального рака в печень.

**Материалы и методы.** Одобрения этического комитета не требовалось. Работа основана на анализе клинических наблюдений 90 больных колоректальным раком с метастазами в печень с проспективным набором в период с января 2021 по январь 2024 г. Информированное согласие получено от каждого пациента. Среди больных было 43 мужчины и 47 женщин в возрасте от 46 до 82 лет (средний возраст  $65,4 \pm 2,35$  года).

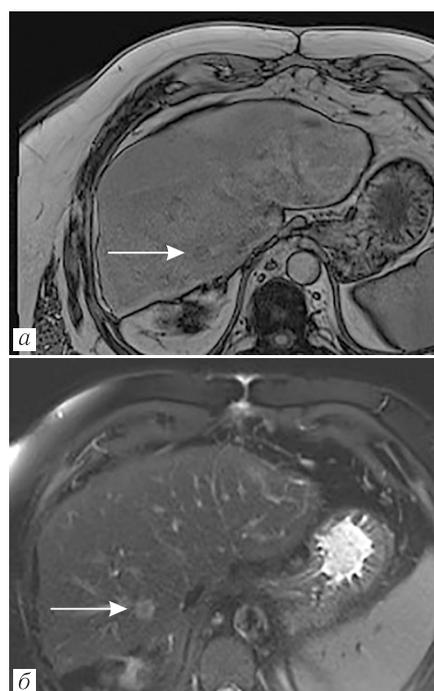
Всем пациентам была выполнена МСКТ до и после внутривенного болюсного контрастирования. Выполнялось трехфазное сканирование на 128-срезовом компьютерном томографе «Aquilion-128» (TOSHIBA). Использовали толщину реконструируемых срезов 0,5 мм. В качестве контрастного вещества применяли неионный низкоосмолярный контрастный препарат (Йомерон 400), внутривенное введение осуществляли со скоростью 3,5–4,5 мл/с. Постпроцессорная обработка выполнялась на мультимодальных рабочих станциях с построением трехмерных реконструкций. КТ-реконструкция объемного трехмерного изображения позволяет определить точную сегментарную локализацию и границы опухоли. Сосудистая реконструкция позволяет визуализировать печеночную и портальную анатомию, тем самым устраняя необходимость в обычной ангиографии.

Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография [12, 13] выполнена 49 пациентам (54%), из них 25 пациентам (51%) — с применением гепатоспецифических контрастных веществ (гадоксетовой кислоты — препарат примовист), 22 пациентам (45%) — с негепатоспецифическими контрастными веществами (гадобутрол — препарат гадовист) и 2 пациентам (4%) без применения контрастных препаратов. Исследование проводили на высокопольном МР-томографе Siemens Aera базовой комплектации с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Во время динамического исследования были получены артериальные, портальные венозные и отсроченные фазовые изображения. Изображения гепатобилиарной фазы были получены в среднем через 20 минут (диапазон 15–40 минут) после введения контрастного вещества.

Диагноз был подтвержден морфологически или как минимум еще одним методом исследования (УЗИ или ПЭТ/КТ).

**Результаты.** Солитарные метастазы наблюдались у 18 больных (20%), по 2–3 очага — у 24 (26,7%), более 3 метастазов — у 48 больных (53,3%). Локализация очагов: правая доля печени — 24 пациента (26,7%), левая доля — 14 (15,5%), билобарное поражение — 52 пациента (57,8%).

**Магнитно-резонансная томография.** Метастазы колоректального рака имели гипоинтенсивный МР-сигнал на нативных T1-ВИ и T1-ВИ с жироподавлением и несколько выше (гиперинтенсивный) на изотропных диффузионно-взвешенных изображениях (ДВИ), T2-ВИ и T2-ВИ с жироподавлением (рис. 1).



**Рис. 1.** МРТ печени: а — аксиальная плоскость, T1 dixon; б — аксиальная плоскость, T2-ВИ. В SVII печени определяется гипоинтенсивный МР-сигнал на T1 dixon и неоднородный гиперинтенсивный на T2-ВИ  
**Fig. 1.** Liver MRI: а — axial plane, T1 Dixon; б — axial plane, T2WI. A hypointense MRI signal is detected in segment VII of the liver on T1 Dixon and a heterogeneous hyperintense on T2WI

При контрастировании метастазов определялось кольцевидное накопление в артериальную фазу (93,7%), а при образованиях более 10 мм очаги визуализировались как гетерогенные без накопления центральной зоны. В 30% случаев отмечалось неравномерное раннее перитуморальное усиление в артериальную фазу, также определялась перитуморальная гипоинтенсивная область в гепатобилиарной фазе МРТ (10%). Инвазия в крупные сосуды (воротную вену и/или печеночную вену) была выявлена у 6 из 90 пациентов (6,7%). Обструкция желчных протоков,

выявленная на МРХПГ, отмечалась в 12,2% случаев. В гепатобилиарную фазу очаги визуализировались полностью гипоинтенсивными в 47,1% случаев, гипоинтенсивными по капсуле — в 11,8% случаев, гипоинтенсивными в центре — в 5,9% случаев. Кроме того, отмечались изоинтенсивные очаги (23,5%) и гиперинтенсивные (11,8%), что, возможно, указывало на наличие функционирующих гепатоцитов.

Наряду с контрастными сериями важными показателями являлись ДВИ (95,9%) со значениями  $b$  50, 400 и 800 или 1000 с/мм<sup>2</sup> и расшифровка ИКД-карты: солидный компонент метастазов имел гиперинтенсивный сигнал при ДВИ с высоким значением  $b$ -фактора и гипоинтенсивный сигнал при построении ИКД-карты. Часть (32,6%) метастазов ограничивали диффузию не всем своим объемом, а только частью — например, гиперинтенсивный сигнал на ДВИ только по периферии очага, а в центре очага сигнал промежуточный, при анализе ИКД-карты выявлено, что ограничивающий диффузию солидный компонент расположен по периферии очага, а в центре очаг диффузию не ограничивает, что, наиболее вероятно, связано с некрозом в центральной зоне очага (рис. 2).

Использование ДВИ позволило выявить в 6,3% случаев дополнительные мелкие очаги (<10 мм), которые не были выявлены при МРТ и КТ с контрастным усилением.

В 23,9% случаев мультипараметрическая МРТ позволила выявить дополнительные очаги и тем самым превзошла КТ в обнаружении метастазов колоректального рака в печень. В 2,2% случаев локальное расширение желчного протока на КТ было распознано как патологический очаг.

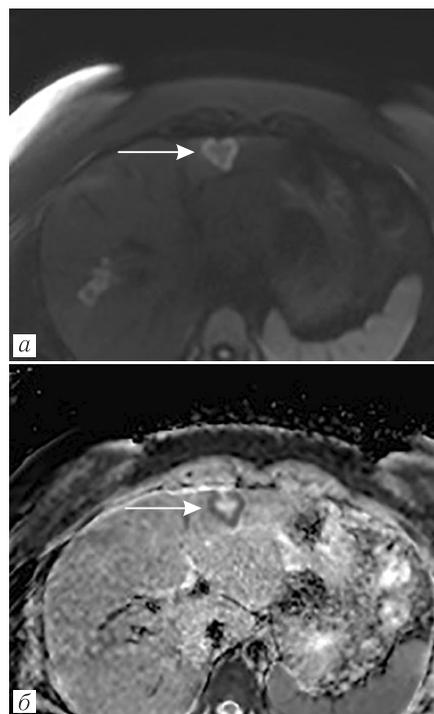
**Компьютерная томография.** При КТ без контрастного усиления метастазы в печень выглядели как гипо- или изоденсивные четко очерченные очаги (88,9%). Кроме того, отмечались очаги с нечеткими контурами (11,1%) в зависимости от размера. Некроз и кистозная трансформация, проявляющиеся в виде центральной области низкой плотности, определялись в 78,1% случаев.

Наиболее специфическим КТ-признаком метастазов колоректального рака в печени было наличие гиповаскулярных образований в венозную фазу. В этой фазе паренхима печени контрастируется за счет доминирующего кровоснабжения воротной веной. Отмечается усиление периферического края в артериальной фазе (94,4%), однако, как было сказано выше, венозная фаза — наиболее критическая фаза с чувствительностью 98,9% для выявления гиповаскулярных метастазов (рис. 3).

С точки зрения диагностической точности для каждого очага мультипараметрическая МРТ превосходит КТ (чувствительность 95,6% против 75,6% и специфичность 91,2% против 87,6%). Эта разница более заметна при поражениях размером менее 10 мм, при которых мультипараметрическая МРТ заметно более чувствительна (AUC 97,0%).

По результатам наших исследований мультимодальный подход в проведении КТ и МРТ изменил тактику лечения в 23,9% случаев.

**Определение тактики лечения на основании полученных данных.** При выявлении солитарного метастатического очага в печени или ограниченного количества очагов в пределах одного сегмента или доли методом выбора являлась резекция печени (типичная или атипичная). Медиана интервала между предоперационной МРТ и операцией составила 20 дней (диапазон от 1 до 74 дней). Статус хирургического края был классифицирован как R0 (отсутствие остаточной опухоли) или R1 (раковые клетки присутствуют микроскопически по краю резекции) (рис. 4).



**Рис. 2.** МРТ печени: *а* — аксиальная плоскость, ДВИ ( $b$ -фактор 1000); *б* — аксиальная плоскость, ИКД-карта. В SII/SIII печени определяется гиперинтенсивный сигнал на ДВИ только по периферии очага, а в центре очага сигнал промежуточный, при ИКД-карты выявлено ограничение диффузии солидный по периферии очага, а в центре очаг диффузию не ограничивает

**Fig. 2.** Liver MRI: *a* — axial plane, DWI ( $b$ -value 1000); *b* — axial plane, ADC map. A hyperintense signal is observed in segments II/III of the liver on DWI only at the periphery of the focal lesion, while the signal in the center of the lesion is intermediate. The ADC map reveals restricted diffusion at the periphery of the lesion, and unrestricted diffusion in the center

При наличии нескольких небольших метастатических очагов, диаметр которых не превышал 3 см и расположенных удаленно друг от друга, РЧА являлась дополнительным методом к резекции печени. У всех пациентов, кому была выполнена РЧА, отмечалось снижение плотности патологических



**Рис. 3.** КТ органов брюшной полости, аксиальные срезы: *a* — нативная фаза; *б* — артериальная фаза; *в* — портальная фаза. Определяется билобарное множественное поражение печени

**Fig. 3.** Abdominal CT scan, axial sections: *a* — native phase; *б* — arterial phase; *в* — portal phase. Bilobar multiple liver lesions are identified



**Рис. 4.** Участки нормальной ткани печени с метастазом аденокарциномы толстой кишки: *a* — интраоперационный материал; *б* — удаленная опухоль; *в* — гистологический материал. Окрасивание гематоксилин-эозином, увеличение  $\times 200$

**Fig. 4.** Areas of normal liver tissue with metastasis of adenocarcinoma of the colon: *a* — intraoperative material; *б* — removed tumor; *в* — histological material. Hematoxylin-eosin staining, magnification  $\times 200$

очагов (100%), у одного пациента также отмечалось уменьшение размеров очага (25%).

У неоперабельных пациентов и/или при нерезектабельных солитарных очагах меньше 5 см, без выявленной сосудистой инвазии, методом выбора являлась стереотаксическая лучевая терапия (СТЛТ). У данной группы пациентов отмечалось уменьшение размеров очагов (91,7%), снижение плотности (16,7%) и снижение васкуляризации (8,3%).

Выраженное снижение функционального резерва печени, малый объем остающейся паренхимы, а также билобарное поражение исключило удаление всех очагов. Таким образом, когда органосохраняющая операция невозможна, при наличии внепеченочных метастазов и когда пациент является функционально неоперабельным, методом выбора являлась лекарственная терапия (химиотерапия/таргетная терапия/иммунотерапия в зависимости от генетического статуса) или ТАХЭ как паллиативная терапия (рис. 5). ТАХЭ приводит к снижению плотности и васкуляризации на КТ, высокому сигналу T1-ВИ и низкому сигналу T2-ВИ на МРТ из-за коагуляционного некроза (88,9%). Снижение плот-

ности и васкуляризации происходит за счет уменьшения мягкотканного компонента и нарастания зон некроза, что может привести к увеличению размеров очагов (44,4%). О частичном ответе свидетельствовало снижение васкуляризации (50%), а отсутствие контрастного усиления на КТ/МРТ и низкий сигнал T2 (33,3%) указывали на полный ответ/успешную эмболизацию. При динамическом наблюдении в течение 3–6 месяцев данных, свидетельствующих о рецидиве (наличие периферического и/или узелкового контрастного усиления), не было выявлено. Алгоритм выбора лечебной тактики, основанный на этих наших результатах, может быть сформулирован так, как представлено на рис. 6.

**Обсуждение.** Высокая частота встречаемости метастазов печени при колоректальном раке и риски неблагоприятного исхода определяют алгоритм ведения таких пациентов в виде максимально возможной ранней диагностики и выбора максимально агрессивных методов противоопухолевого лечения. Своевременная диагностика метастазов в печень очень важна для планирования лечения онкологических больных, поскольку даже диагностическое подозрение на небольшой



**Рис. 5.** Селективная химиэмболизация правой печеночной артерии: *a* — ангиограмма печени до эмболизации показывает, что печеночная артерия кровоснабжает опухоль; *б* — ангиограмма после эмболизации показывает, что опухоль больше не кровоснабжается

**Fig. 5.** Selective chemoembolization of the right hepatic artery: *a* — the liver angiogram before embolization shows that the hepatic artery supplies the tumor; *b* — the angiogram after embolization shows that the tumor is no longer supplied with blood



**Рис. 6.** Алгоритм выбора лечебной тактики  
**Fig. 6.** Algorithm for choosing treatment tactics

метастаз в печень может изменить курс лечения пациента с лечебного назначения на паллиативное лечение [1]. Одним из основных методов лечения по-прежнему является хирургическое вмешательство. В связи с этим на этапе предоперационного планирования критически важную для хирурга роль играют не только выявление очага, но и состояние сосудистой анатомии и билиарного дерева, наличие или отсутствие сдавления желчевыводящих протоков и сосудов, оценка анатомического объема опухоли с расчетом предполагаемого объема резекции.

В настоящем исследовании мы оценивали диагностические возможности МСКТ и МРТ в определении лечебной тактики при метастазах колоректального рака в печень.

Наиболее чувствительным методом для обнаружения метастазов в печени является МРТ (AUC 97,0%) в гепатобилиарную фазу и ДВИ [14]. МРТ с гепатоспецифическими контрастными веществами демонстрирует высокую чувствительность при обнаружении метастазов в печени в гепатобилиарную фазу, что обеспечивает более щадящий подход, позволяет избежать дополнительных визуализирующих исследований [13], выявленная нами статистическая закономерность подтверждает эти данные. ДВИ также играет важную роль в обнаружении и характеристике опухоли на основе высокого контраста между поражением и окружающей тканью. Однако ДВИ имеет некоторые ограничения, такие как низкое разрешение изображения и плохое отношение

сигнал/шум (SNR), отчасти из-за короткого времени отражения (TE). Кроме того, ДВИ также может быть подвержено артефактам изображения, таким как размытие или ореолы [15].

Согласна некоторым данным литературы, при выявлении мелких очагов (менее 10 мм) чувствительность гепатобилиарной фазы выше, чем у ДВИ [13]. По результатам нашего исследования установлено, что МРТ с ДВИ оказалось более чувствительной (95,9%) для метастазов менее 1 см.

Мультиспиральная КТ — это надежный метод предоперационного стадирования, позволяющий получать объемные изображения с высококачественными многоплоскостными переформатированными изображениями, рассчитывать объем печени и планировать предоперационную резекцию опухоли с помощью 3D-реконструкций. КТ является быстрой и доступной, позволяет получить высококачественную визуализацию печени и охватить всю брюшную полость и грудную клетку, что позволяет

выявить регионарные пораженные лимфоузлы, другие отдаленные метастазы.

Применение мультимодального подхода (МСКТ с контрастным усилением и мультипараметрическая МРТ) является в таком случае наиболее высокоэффективным инструментом как в предоперационном планировании, так и в выборе альтернативных методов лечения и лечебном мониторинге у пациентов с метастатическим колоректальным раком, поскольку позволяет сочетать важнейшие преимущества этих физически различных томографических методов, что в частности находит отражение в предложенном нами комплексном алгоритме томографического исследования у таких пациентов.

**Заключение.** МСКТ с динамическим контрастированием и мультипараметрическая МРТ показали высокую диагностическую ценность в оценке метастазов колоректального рака в печень при планировании радикального хирургического вмешательства и выборе альтернативных методов лечения.

#### Сведения об авторах:

*Гусейнова Ляман Санан кызы* — врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения города Москвы», аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Институт клинической медицины имени Н. В. Склифосовского федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова (Сеченовский Университет)» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119048, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; e-mail: guseynova7@bk.ru; ORCID 0009-0001-5579-5213;

*Каннер Дмитрий Юрьевич* — кандидат медицинских наук, главный врач государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения города Москвы»; 143423, Московская область, Красногорский район, пос. Истра, д. 27, строения с 1 по 26; e-mail: kanner@yandex.ru; ORCID 0000-0002-9243-6068;

*Швейкин Александр Олегович* — кандидат медицинских наук, заведующий 5 хирургическим отделением общей онкологии государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения города Москвы»; 143423, Московская область, Красногорский район, пос. Истра, д. 27, стр. с 1 по 26; e-mail: alex5577@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8295-2715;

*Лившиц Михаил Владимирович* — заведующий кабинетом рентгенохирургических методов диагностики и лечения государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения города Москвы»; 143423, Московская область, Красногорский район, пос. Истра, д. 27, стр. с 1 по 26; e-mail: careful-access@mail.ru; ORCID 0000-0003-3936-9414;

*Москалец Михаил Владиславович* — врач-патологоанатом государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения города Москвы»; 143423, Московская область, Красногорский район, пос. Истра, д. 27, стр. с 1 по 26; e-mail: moskamm@gmail.ru; ORCID 0009-0000-3725-0394;

*Воронов Дмитрий Олегович* — заведующий отделением рентгеновской компьютерной томографии государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения города Москвы»; 143423, Московская область, Красногорский район, пос. Истра, д. 27, стр. с 1 по 26; e-mail: dmitrij-voronov@inbox.ru; ORCID 0009-0003-6860-947X;

*Бахтиозин Рустам Фаридович* — доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Институт клинической медицины имени Н. В. Склифосовского федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова (Сеченовский Университет)» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119048, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; e-mail: rbakhtiozin@yahoo.com; ORCID 0000-0003-1244-1359.

#### Information about the authors:

*Lyaman S. Huseynova* — radiologist at the Moscow City Oncology Hospital №62, a postgraduate student of the Department of Radiation Diagnostics and Therapy of the N. V. Sklifosovskiy ICM of the I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University) of the Ministry of Health of the Russian Federation; 119991, Moscow, Trubetskaya str., 8/2; e-mail: guseynova7@bk.ru; ORCID 0009-0001-5579-5213;

*Dmitriy Yu. Kanner* — Cand. of Sci. (Med.), chief physician of the Moscow City Oncology Hospital №62; 143423, Moscow region, Krasnogorsky district, Istra village, building 27, buildings 1 to 26; e-mail: kanner@yandex.ru; ORCID 0000-0002-9243-6068;

*Alexandr O. Shveikin* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the 5th surgical department of general oncology of the Moscow City Oncology Hospital № 62; 143423, Moscow region, Krasnogorsky district, Istra village, building 27, buildings 1 to 26; e-mail: alex5577@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8295-2715;

*Mikhail V. Livshits* — Head of the Department of X-ray Surgical Methods of Diagnostics and Treatment of the Moscow City Oncology Hospital № 62; 143423, Moscow region, Krasnogorsky district, Istra village, building 27, buildings 1 to 26; e-mail: careful-access@mail.ru; ORCID 0000-0003-3936-9414;

*Mikhail V. Moskalets* — pathologist of the Moscow City Oncology Hospital № 62; 143423, Moscow region, Krasnogorsky district, Istra village, building 27, buildings 1 to 26; e-mail: mosskamm@gmail.ru; ORCID 0009-0000-3725-0394;

*Dmitriy O. Voronov* — Head of the Department of X-ray Computed Tomography of the Moscow City Oncology Hospital №62; 143423, Moscow region, Krasnogorsky district, Istra village, building 27, buildings 1 to 26; e-mail: dmitrij-voronov@inbox.ru; ORCID 0009-0003-6860-947X;

*Rustam F. Bakhtiozin* — Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Therapy of the N.V. Sklifosovskiy ICM of the I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University) of the Ministry of Health of the Russian Federation; 119991, Moscow, Trubetskaya str., 8/2; e-mail: rbakhtiozin@yahoo.com; ORCID 0000-0003-1244-1359.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ИСМЖЕ (все авторы внести существенный вклад в разработку и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *Л.С. Гусейнова, Р.Ф. Бахтиозин*; сбор и математический анализ данных — *Л.С. Гусейнова, Д.Ю. Каннер, А.О. Швейкин, М.В. Лившиц, М.В. Москалец, Д.О. Воронов*; подготовка рукописи — *Л.С. Гусейнова, Р.Ф. Бахтиозин*.

**Author contribution.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution aided in the concept and plan of the study — *LSH, RFB*; provided collection and mathematical analysis of data — *LSH, DYuK, AOSH, MVL, MVM, DOV*; preparation of the manuscript — *LSH, RFB*.

**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 was obtained from each patient.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Xi Y., Xu P. Global colorectal cancer burden in 2020 and projections to 2040 // *Transl. Oncol.* 2021. 14. P. 101174. doi: 10.1016/j.tranon.2021.101174.
2. Welch J.P., Donaldson G.A. The clinical correlation of an autopsy study of recurrent colorectal cancer // *Ann. Surg.* 1979. Vol. 189. P. 496–502.
3. Ghiringhelli F., Hennequin A., Drouillard A., Lepage C., Faivre J., Bouvier A.M. Epidemiology and prognosis of synchronous and metachronous colon cancer metastases: A French population-based study // *Dig. Liver Dis.* 2014. Vol. 46. P. 854–858. doi: 10.1016/j.dld.2014.05.011.
4. Bretagnol F., Hatwell C., Farges O., Alves A., Belghiti J., Panis Y. Benefit of laparoscopy for rectal resection in patients operated simultaneously for synchronous liver metastases: Preliminary experience // *Surgery.* 2008. Vol. 144. P. 436–441. doi: 10.1016/j.surg.2008.04.014.
5. Leen E. The detection of occult liver metastases of colorectal carcinoma // *J. Hepato-Biliary-Pancreat. Surg.* 1999. Vol. 6. P. 7–15. doi: 10.1007/s005340050078.
6. Renzulli M., Clemente, A., Ierardi, A.M., Pettinari I., Tovoli F., Brocchi S.G. et al. Imaging of Colorectal Liver Metastases: New Developments and Pending Issues // *Cancers.* Vol. 12, No. 1. P. 151. doi:10.3390/cancers12010151.
7. Forner A, Reig ME, de Lope CR et al. Current strategy for staging and treatment: the BCLC update and future prospects // *Semin. Liver Dis.* 2010. Vol. 30 (01). P. 61–74. doi: 10.1055/s-0030-1247133.
8. Adam R. Chemotherapy and surgery: New perspectives on the treatment of unresectable liver metastases // *Ann. Oncol.* 2003. Vol. 14, Suppl. 2. P. ii13–ii16. doi: 10.1093/annonc/mdg731.
9. Vogl T.J., Zangos S., Balzer J.O., Thalhammer A., Mack M.G. Transarterial chemoembolization of liver metastases: Indication, technique, results // *Rofo.* 2002. Vol. 174. P. 675–683. doi: 10.1055/s-2002-32228.
10. Fong Y., Fortner J., Sun R.L., Brennan M.F., Blumgart L.H. Clinical score for predicting recurrence after hepatic resection for metastatic colorectal cancer: Analysis of 1001 consecutive cases // *Ann. Surg.* 1999. Vol. 230. P. 309–318; discussion 318–321. doi: 10.1097/0000658-199909000-00004.
11. Dekker E., Tanis P.J., Vleugels J.L.A., Kasi P.M., Wallace M.B. Colorectal cancer // *Lancet.* 2019, Vol. 394. P. 1467–1480. doi: 10.1016/S0140-6736(19)32319-0.
12. Fujita N., Nishie A., Asayama Y., Ishigami K., Ushijima Y., Kakihara D. et al. Hyperintense Liver Masses at Hepatobiliary Phase Gadoteric Acid-enhanced MRI: Imaging Appearances and Clinical Importance // *RadioGraphics*, Vol. 40, No. 1. P. 72–94. doi: 10.1148/rg.2020190037.
13. Nielke M.C., Bipat S., Stoker J. Diagnostic imaging of colorectal liver metastases with CT, MR imaging, FDG PET, and/or FDG PET/CT: a meta-analysis of prospective studies including patients who have not previously undergone treatment // *Radiology.* 2010. Vol. 257, No. 3. P. 674–684.
14. Ломовцева К.Х., Кармазановский Г.Г. Диффузионно-взвешенные изображения при очаговой патологии печени: обзор литературы // *Медицинская визуализация.* 2015. № 6. С. 50–60. [Lomovtseva K.Kh., Karmazanovsky G.G. Diffusion-Weighted Imaging of Focal Liver Lesions: Literature Review. *Medical Visualization*, 2015, No. 6, P. 50–60 (In Russ.)].
15. Balian V., Das C.J., Sharma R., Gupta A.K. Diffusion weighted imaging: Technique and applications // *World J. Radiol.* 2016. Vol. 8. P. 785–798. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed].

УДК 616.351-072.1+616.348-006.6+616-006.5

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-85-96>

## СРАВНЕНИЕ ОДНОДНЕВНОЙ И ТРЕХДНЕВНОЙ ДИЕТЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К КТ-КОЛОНОГРАФИИ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

<sup>1</sup>А. И. Мещеряков<sup>✉\*</sup>, <sup>1</sup>Н. Ю. Гурова<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>И. Н. Киева<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>О. Г. Пугачева<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Д. В. Дородных<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Л. И. Макарова<sup>✉</sup><sup>1</sup>Поликлиника № 3, Москва, Россия<sup>2</sup>Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П. А. Герцена — филиал Национального медицинского исследовательского центра радиологии, Москва, Россия<sup>3</sup>Центральная государственная медицинская академия, Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** КТ-колонография (КТК) является высокоточным, минимально инвазивным методом внутрисветной визуализации толстой кишки с помощью компьютерной томографии. Одним из основных преимуществ КТК по сравнению с эндоскопической колоноскопией является более простая подготовка толстой кишки благодаря уменьшению объема слабительных препаратов. Тем не менее очищение толстой кишки, включающее в себя в том числе соблюдение диеты, является наиболее обременительным аспектом всей процедуры. На настоящий момент не существует единого мнения о преимуществе какого-либо варианта диеты для подготовки толстой кишки к КТК, и данный вопрос требует дальнейшего изучения.

**ЦЕЛЬ:** Сравнение эффективности и переносимости однодневной и трехдневной диеты при подготовке к КТ-колонографии.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В исследование было включено 107 пациентов. 55 пациентов придерживались трехдневной диеты (ЗДД), 52 — однодневной диеты (ОДД). Проводилась оценка каждого из шести сегментов толстой кишки на предмет остаточного объема жидкости и стула по 4-балльной шкале (4 — отсутствие; 3–1 — увеличение количества жидкости или стула). Качество маркировки остаточного содержимого оценивали по значению плотности в единицах Хаунсфилда и однородности (значения стандартного отклонения в регионе интереса). Для оценки тяжести соблюдения диеты пациентов просили отметить, если соблюдение диеты они сочли сложным. Также оценивалась готовность пациентов к повторению процедуры в будущем.

**Статистика:** Сравнение групп после проверки на нормальность распределения осуществлялось с помощью U-критерия Манна-Уитни для количественных переменных и с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона для категориальных данных. Значение  $p < 0,05$  считалось статистически значимым. Для оценки согласия между исследователями был проведен каппа-анализ Коэна. Все расчеты проводились с использованием программного обеспечения для статистической обработки Jamovi версия 1.2.27.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Средний балл остаточной жидкости составил 37 (Q1–Q3 35–39) для ЗДД и 36 (Q1–Q3 34–38) для ОДД, остаточного стула — 48 (Q1–Q3 46–48) и 48 (Q1–Q3 47–48) соответственно. Медиана плотности остаточной жидкости составила 887 HU (Q1–Q3 725–1238 HU) и 953 HU (Q1–Q3 668–1203 HU), медиана значений однородности — 77 HU (Q1–Q3 55–86 HU) и 59 HU (Q1–Q3 47–92 HU) соответственно. Достоверных различий по этим параметрам между группами не было ( $p > 0,05$ ). Соблюдение диеты было статистически значимо легче в группе ОДД по сравнению с ЗДД ( $p = 0,012$ ): 26 пациентов (47,3%) из группы ЗДД и 13 пациентов (25%) из группы ОДД отметили сложность соблюдения диеты. Готовность к повторению процедуры была достоверно выше в группе ОДД 75,0% (39 пациентов), чем в группе ЗДД — 54,5% (30 пациентов) ( $p = 0,027$ ).

**ОБСУЖДЕНИЕ:** Однодневная диета перед КТК дает оптимальное качество подготовки, а изменение диеты с трехдневной на однодневную повышает переносимость подготовки в целом, а также увеличивает готовность пациентов повторить процедуру в будущем. Также исследование показало отсутствие преимуществ у диеты с отказом от приема твердой пищи при подготовке к КТК. При обоих вариантах диеты (однодневная и трехдневная) качество подготовки было высоким, а статистически значимые различия в качестве подготовки между группами отсутствовали.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Изменение диеты с трехдневной на однодневную не влияет на качество подготовки к КТК, но повышает переносимость процедуры пациентами, а также их готовность повторить процедуру.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** КТ-колонография, колоректальный рак, колоректальные полипы, подготовка толстой кишки, бешлаковая диета

\* Для корреспонденции: Мещеряков Андрей Иванович, e-mail: [aim.radiologist@gmail.com](mailto:aim.radiologist@gmail.com).

Для цитирования: Мещеряков А.И., Гурова Н.Ю., Киева И.Н., Пугачева О.Г., Дородных Д.В., Макарова Л.И. Сравнение однодневной и трехдневной диеты при подготовке к КТ-колонографии: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 85–96, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-85-96>.

# THE COMPARISON OF THE EFFICACY AND TOLERABILITY OF A ONE-DAY AND A THREE-DAY DIET AT CT COLONOGRAPHY: A PROSPECTIVE STUDY

<sup>1</sup>Andrey I. Meshcheryakov<sup>✉</sup>\*, <sup>1</sup>Nadezhda Yu. Gurova<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Irina N. Kieva<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Olga G. Pugacheva<sup>✉</sup>,  
<sup>3</sup>Denis V. Dorodnykh<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Lyudmila I. Makarova<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Polyclinic № 3, Moscow, Russia

<sup>2</sup>P. A. Herten Moscow Oncology Research Institute — branch of the National Medical Research Radiological Center, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Central State Medical Academy, Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** CT colonography (CTC) is a highly accurate, minimally invasive method of intraluminal imaging of the colon using computed tomography. One of the main advantages of CTC compared to endoscopic colonoscopy is easier colon preparation due to the reduced volume of laxatives. However, colon cleansing, which includes dieting, is the most burdensome aspect of the entire procedure. At present, there is no consensus on the benefits of any dietary option for preparing the colon for CTC, and this issue requires further study.

**OBJECTIVE:** Comparison of the efficacy and tolerability of a one-day and a three-day diet at CT colonography (CTC).

**MATERIAL AND METHODS:** 107 patients were enrolled in this study. 55 patients adhered to a three-day diet (3DD) and 52 to a one-day diet (1DD). Each of six colonic segments was scored for residual fluid and stool using a 4-point scale (4 — absence; 3–1 — increasing fluid or stool). The quality of fecal tagging was assessed with fluid attenuation (HU values) and homogeneity (SD values). In addition, subjective severity of dieting and readiness to repeat the procedure were assessed.

**Statistics:** Comparison of groups after testing for normality of distribution was carried out using the Mann-Whitney U test for quantitative variables and using the Pearson  $\chi^2$  test for categorical data. A p value <0.05 was considered statistically significant. Cohen's kappa analysis was performed to assess interobserver agreement. All calculations were performed using statistical software Jamovi version 1.2.27.

**RESULTS:** The mean residual fluid score was 37 (Q1–Q3 35–39) for 3DD and 36 (Q1–Q3 34–38) for 1DD, residual stool — 48 (Q1–Q3 46–48) and 48 (Q1–Q3 47–48) respectively. The median residual fluid attenuation was 887 HU (Q1–Q3 725–1238 HU) and 953 HU (Q1–Q3 668–1203 HU), the median of homogeneity — 77 HU (Q1–Q3 55–86 HU) and 59 HU (Q1–Q3 47–92 HU). There was no significant difference in these parameters between groups ( $p>0.05$ ). Difficulty of dieting was statistically significantly higher in 3DD group compared to the 1DD group ( $p=0.012$ ): 26 patients (47.3%) from the 3DD group and 13 patients (25%). Readiness to repeat the procedure was significantly higher in 1DD group 75.0% (39 patients) than in 3DD group 54.5% (30 patients) ( $p=0.027$ ).

**DISCUSSION:** A one-day diet before CTC provides optimal quality of preparation, and changing the diet from a three-day to a one-day increases the tolerability of the preparation in general, and also increases the willingness of patients to repeat the procedure in the future. The study also showed that there was no benefit to a clear liquid diet in preparation for CTC. For both diet options (one-day and three-day), the quality of preparation was high, and there were no statistically significant differences in the quality of preparation between groups.

**CONCLUSION:** Changing the diet from three-day to one-day doesn't affect the quality of preparation for CTC, but increases patient's tolerability and readiness to repeat the procedure.

**KEYWORDS:** CT colonography, colorectal carcinoma, colorectal polyps, bowel preparation, low-fiber diet

\* For correspondence: Andrey I. Meshcheryakov; e-mail: aim.radiologist@gmail.com.

**For citation:** Meshcheryakov A.I., Gurova N.Yu., Kieva I.N., Pugacheva O.G., Dorodnykh D.V., Makarova L.I. The comparison of the efficacy and tolerability of a one-day and a three-day diet at CT colonography: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 85–96, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-85-96>.

**Введение.** КТ-колонография (КТК) является высокоточным, минимально инвазивным методом внутрипросветной визуализации толстой кишки с помощью компьютерной томографии (КТ) [1]. КТК рекомендована крупными мировыми сообществами в качестве одного из методов скрининга колоректального рака (КРР) у пациентов со средним и повышенным риском [2–5].

Исследование требует специальной подготовки, которая, как правило, включает соблюдение бесшлаковой диеты, применение слабительных средств и маркировку остаточного кишечного содержимого

и жидкости контрастным веществом [6]. Одним из основных преимуществ КТК по сравнению с эндоскопической колоноскопией (ЭК) является более простая подготовка толстой кишки благодаря уменьшению объема слабительных препаратов [7, 8]. Тем не менее очищение толстой кишки, включающее в себя в том числе соблюдение диеты, является наиболее обременительным аспектом всей процедуры [9–11]. Изначально для подготовки к КТК были заимствованы схемы диет, используемые при подготовке к ЭК и ирригоскопии [12–14]. И поэтому, как правило, рекомендовалась бесшла-

ковая диета за 48–72 часа с ограничением продуктов, содержащих пищевые волокна [15]. Также рекомендовался отказ от приема твердой пищи за 12–24 часа до исследования с заменой ее питьем прозрачных жидкостей [14].

К настоящему времени разработана доказательная база, подтверждающая отсутствие преимуществ трехдневной диеты по сравнению с однодневной в качестве подготовки к ЭК [16, 17], а также отсутствие преимуществ употребления прозрачных жидкостей накануне процедуры по сравнению с обычной бесшлаковой диетой [18, 19]. Эти же исследования показали, что облегчение диеты связано с большей готовностью пациентов повторить подготовку толстой кишки в будущем, лучшей переносимостью подготовки в целом, а также более высокой частотой приема всего объема слабительного препарата. Однако несоблюдение диеты перед эндоскопической процедурой является одним из основных факторов, ухудшающих качество подготовки к исследованию [20].

При этом вопрос применения диеты при КТК и ее продолжительность остается нерешенным. Так, согласно актуальным отечественным рекомендациям по КТК, перед процедурой рекомендуется бесшлаковая диета 1–3 дня, без уточнения о преимуществе того или иного срока<sup>1</sup>. Тогда как в совместном руководстве Британского общества гастроинтестинальной и абдоминальной радиологии и Королевского колледжа радиологов по КТК подчеркивается отсутствие единого мнения относительно необходимости и продолжительности диеты<sup>2</sup>. Согласно систематическому обзору С. П. Морозова и соавт. к настоящему моменту нет достоверных сведений о точных режимах, длительности диеты при подготовке КТК [14]. Также в этом же обзоре говорится о том, что позиция большинства профессиональных сообществ указывает на необходимость соблюдения диеты перед проведением КТК в течение 72 часов.

Влияние диеты на качество подготовки при КТК изучалось всего в нескольких работах, а результаты этих исследований разнятся между собой [11, 13, 21, 22]. Так, в работе М. Н. Liedenbaum и соавт. было показано преимущество качества подготовки с соблюдением бесшлаковой диеты перед подготовкой без диеты у пациентов, проходящих КТК с маркировкой кишечного содержимого йод-контрастным препаратом и без применения слабительных средств [13]. В исследовании К. Meric и соавт. пришли к выводу об отсутствии преимуществ четырехдневной диеты перед двухдневной у пациентов, проходящих КТК после незавершенной колоноскопии [23].

Тогда как D. Bellini и соавт. в рандомизированном контролируемом исследовании показали, что отсутствие ограничительной диеты в сочетании с облегченной подготовкой толстой кишки слабительным препаратом и маркировкой кишечного содержимого дает оптимальное качество очистки толстой кишки, обеспечивая лучшую переносимость подготовки по сравнению с пациентами, соблюдавшими диету [11]. В проспективном исследовании M. Rengo и соавт. было показано, что отказ от соблюдения диеты накануне исследования с отказом от приема пищи в день исследования дает оптимальное качество подготовки в 93,29% случаев [22].

Таким образом, на настоящий момент не существует единого мнения о преимуществе какого-либо варианта диеты для подготовки толстой кишки к КТК, и данный вопрос требует дальнейшего изучения.

**Цель.** Сравнение эффективности и переносимости однодневной и трехдневной диеты при подготовке к КТ-колонографии.

**Материалы и методы. Дизайн исследования.** Данное исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Поликлиника № 3», протокол № 1-08-2020, от 27.08.2020 г. Исследование было запланировано как одноцентровое проспективное рандомизированное контролируемое, в котором сравнивались две схемы диет перед КТК: бесшлаковая диета в течение трех дней с исключением твердой пищи и питьем прозрачных жидкостей накануне КТК (группа ЗДД) и бесшлаковая диета в течение одного дня без исключения твердой пищи (группа 1ДД). В исследование включены пациенты старше 45 лет, проходившие скрининговую КТК, а также по различным клиническим показаниям и имевшие противопоказания к ЭК: положительный анализ кала на скрытую кровь, потеря веса, изменение характера стула, запор, боль в животе и т.д. Критериями включения являлись выполненная подготовка к исследованию (диета, применение слабительного препарата и маркировки кишечного содержимого) и наличие заполненной анкеты. Критерии исключения: аллергические реакции на йод-контрастные препараты в анамнезе; повышенный риск осложнений при КТК (пациенты с клинической картиной «острого живота», в том числе острый дивертикулит, активная стадия язвенного колита, болезнь Крона); хирургические операции на толстой кишке в недавнем времени (менее 3 мес); высокий риск колоректального рака (пациенты с наследственным полипозом толстой кишки, синдромом Линча и др.), а также пациенты, перенесшие операцию по поводу

<sup>1</sup> Мещеряков А.И., Николаев А.Е., Гончар А.П., Шапиев А.Н., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Гомболевский В.А., Морозов С.П. Применение системы С-RADS в КТ-колонографии. М.: Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 2020. 28 с. («Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»).

<sup>2</sup> Standards of practice for computed tomography colonography (CTC) Joint guidance from the British Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology and The Royal College of Radiologists, January 2021.

колоректального рака. Пациенты после незавершенной ЭК также не включались в исследование, поскольку на клинической базе имеется практика проведения КТК у таких больных в тот же день, без дополнительной диеты и применения слабительных препаратов.

**Подготовка.** При обоих вариантах подготовки все пациенты соблюдали бесшлаковую диету: в группе ЗДД в течение трех дней, а в группе 1ДД в течение только одного дня. Согласно ранее опубликованным рекомендациям, диета считалась бесшлаковой, если количество потребленной клетчатки составляло менее 10 г/день [18]. В информационной памятке по подготовке к исследованию был представлен перечень рекомендованных и нерекондованных продуктов для бесшлаковой диеты, основанный на рекомендациях Европейского общества гастроинтестинальной эндоскопии по подготовке к ЭК [16].

Продукты с низким содержанием пищевых волокон, разрешенные при подготовке к исследованию: некоторые свежие фрукты без кожуры и косточек (например, яблоки), вареные овощи (например, морковь), сыр, мясо, рыбу и белый хлеб.

Продукты, не рекомендованные для бесшлаковой диеты: цельнозерновой хлеб, мюсли, коричневый рис, а также некоторые фрукты и овощи (например, апельсины, грибы). Помимо этого, в группе с трехдневной диетой накануне исследования рекомендовалось отказаться от приема твердой пищи, употреблять только прозрачные жидкости.

В остальном подготовка не различалась между группами и включала в себя применение слабительного препарата (полиэтиленгликоль в сочетании с аскорбиновой кислотой, 2 л) и маркировку остаточного кишечного содержимого йод-контрастным препаратом (йогексол с концентрацией йода 350 мг/мл, 50 мл) накануне исследования. Применение йод-

Lightspeed 16 и GE Lightspeed VCT 64, GE Healthcare, Waukesha, USA) с использованием одинаковых параметров низкодозного сканирования: 120 кВ (140 кВ для тучных пациентов), 50–75 мАс, с модуляцией тока по оси Z. Коллимация детектора 64×0,625 мм, время ротации трубки 0,6 с, питч 1.375, толщина реконструируемых срезов 1,25 мм. Распределение между томографами проводилось случайным образом, в зависимости от загрузки аппарата. Реконструкция проводилась с помощью алгоритма адаптивной статистической итеративной реконструкции (ASiR, GE Healthcare, Milwaukee, USA). Растяжение кишки осуществлялось с помощью комнатного воздуха в мануальном режиме. Контроль степени растяжения осуществлялся по переносимости пациента, изображениям топограмм, а также по КТ изображениям после сканирования. Сканирование выполнялось в двух положениях: на спине и на животе. При недостаточном растяжении проводилось третье сканирование в положении на боку.

**Оценка качества подготовки.** Оценка изображения проводилась на рабочей станции КТ (Advantage Workstation 4.5 GE Healthcare, Waukesha, WI, USA), оснащенной специальным программным обеспечением для обработки КТК (Colon VCAR). Два рентгенолога с опытом интерпретации КТК 2 года и 10 лет оценивали каждый из шести сегментов толстой кишки (прямая, сигмовидная, нисходящая ободочная, поперечная ободочная, восходящая ободочная и слепая кишка) на предмет остаточного объема жидкости в толстой кишке и стула по ранее разработанной четырехбалльной визуальной шкале: 4 — отсутствие жидкости или стула; 3–1 — увеличение количества жидкости или стула (табл. 1) [23]. Далее рассчитывали суммарный балл остаточного содержимого и суммарный балл остаточной жидкости путем сложения баллов всех сегментов толстой кишки.

Таблица 1

## Шкала оценки остаточного содержимого и остаточной жидкости в просвете толстой кишки

Table 1

## Scale for assessing residual contents and residual fluid in the lumen of the colon

Баллы	4	3	2	1
Остаточное кишечное содержимое	Гомогенная маркированная жидкость без немаркированного стула или отсутствие стула	Гомогенная маркированная жидкость и менее 5 фрагментов немаркированного стула	Негомогенная жидкость и/или от 6 до 10 фрагментов немаркированного стула	Немаркированная жидкость и/или более 10 фрагментов немаркированного стула
Остаточная жидкость	Менее 25% диаметра просвета кишки/отсутствие жидкости	25–50% диаметра просвета кишки	50–75% диаметра просвета кишки	Более 75% диаметра просвета кишки

контрастного препарата для маркировки остаточного кишечного содержимого осуществлялось после завершения подготовки слабительным препаратом. Все пациенты проходили КТК между 8:00 и 11:00 ч утра на следующий день после подготовки.

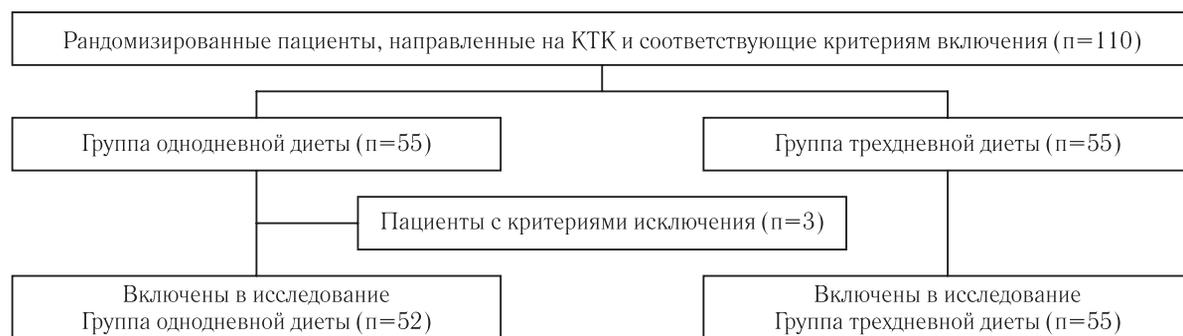
**Методика КТ-колонографии.** Все исследования проводились на двух компьютерных томографах (GE

Качество маркировки остаточного содержимого оценивали по значению плотности жидкости в единицах Хаунсфилда (HU) и однородности (значения стандартного отклонения в регионе интереса — SD).

**Оценка тяжести подготовки.** Для оценки тяжести соблюдения диеты пациентов просили отметить, если соблюдение диеты они сочли сложным. Кроме того,

пациентами проводилась оценка кратности стула во время подготовки, а также таких субъективных параметров как чувство голода, боль в животе, тошнота и рвота, слабость и головокружение, нарушение сна. Помимо этого, выполнялась оценка готовности пациентов к повторению процедуры в будущем. Пациенты, проходившие ранее ЭК, отмечали, какая из подготовок для них была легче: к КТК, к ЭК или

сих КТК между сентябрем 2020 г и сентябрем 2022 г. 55 пациентов придерживались трехдневной диеты (группа ЗДД) и 52 — однодневной диеты (группа 1ДД) (рис. 1). Все пациенты, включенные в финальную выборку, выполнили подготовку в полном объеме, ни один из пациентов не сообщил о погрешностях рекомендованной диеты во время подготовки.



**Рис. 1.** Блок-схема рандомизации пациентов в исследовании. КТК — КТ-колонография

**Fig. 1.** Flowchart of patients' randomization in the study. СТС — computed tomography colonography

разница отсутствовала. Анкетирование осуществлялось в день исследования до начала растяжения толстой кишки, чтобы минимизировать эффект самой процедуры на субъективную оценку подготовки.

**Статистическая обработка.** Необходимый объем выборки рассчитывали по формуле Лера (при заданной мощности исследования 80%). Во время проведения исследования все пациенты, направляемые на КТК, распределялись между группами в соотношении 1:1. Рандомизация осуществлялась с помощью бесплатного приложения из интернета (<https://www.randomizer.org>). Весь медицинский персонал, выполнявший КТК (рентгенолаборанты, врачи-рентгенологи, медицинские регистраторы), не знали о распределениях по группам. Сравнение групп после проверки на нормальность распределения осуществлялось с помощью U-критерия Манна–Уитни для количественных переменных и с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона для категориальных данных. Значение  $p < 0,05$  считалось статистически значимым. Для оценки согласия между исследователями был проведен каппа-анализ Коэна. Согласие в оценке качества подготовки толстой кишки между двумя исследователями считалось удовлетворительным, если значения каппа составляли 0,4–0,75, и превосходным, если оно превышало 0,75. Все расчеты проводились с использованием программного обеспечения для статистической обработки Jampov версия 1.2.27.

**Результаты.** Для проведения исследования было отобрано 110 пациентов, направленных на КТК, по 55 в каждой группе. 3 пациента (5,5%) из группы 1ДД были исключены в связи с тем, что не соответствовали критериям включения (не заполнили полностью данные анкеты 1 пациент, не выполнили маркировку 2 пациента). В результате в финальную выборку было включено 107 пациентов, проходив-

Медиана возраста составила 71 год (Q1–Q3 58–80). 45 мужчин (42,1%), 62 женщины (57,9%). Медиана индекса массы тела составила 27 кг/м<sup>2</sup> (Q1–Q3 23–30). Ожирение наблюдалось у 29 пациентов (27,1%). Операции на брюшной полости в анамнезе имели 28 пациентов (26,2%). Ранее выполнялась колоноскопия у 49 пациентов (45,8%). Мелкие полипы (до 10 мм) были выявлены у 11 пациентов (10,3%), крупные полипы (размерами 10 мм и более) — у трех пациентов (2,8%), а также был выявлен один случай КРР (0,9%). Дивертикулы были выявлены у 75 пациентов (70,1%), множественные дивертикулы у 43 пациентов (40,2%). Не было выявлено статистически значимых различий в основных характеристиках пациентов между группами (табл. 2).

**Оценка качества подготовки.** Средние баллы подготовки толстой кишки показали сопоставимые высокие результаты в обеих группах (рис. 2–5). Средний балл остаточной жидкости составил 37 (Q1–Q3 35–39) для ЗДД и 36 (Q1–Q3 34–38) для 1ДД, остаточный стул был 48 (Q1–Q3 46–48) и 48 (Q1–Q3 47–48) соответственно (рис. 6). Медиана плотности остаточной жидкости составила 887 НУ (Q1–Q3 725–1238 НУ) и 953 НУ (Q1–Q3 668–1203 НУ), медиана значений гомогенности (значений стандартного отклонения в регионе интереса) составила 77 НУ (Q1–Q3 55–86 НУ) и 59 НУ (Q1–Q3 47–92 НУ) соответственно. Достоверных различий по этим параметрам между группами не было ( $p > 0,05$ ) (рис. 7). Выявлено хорошее согласие между исследователями в оценке качества подготовки толстой кишки, с  $k = 0,74$  (95% ДИ, 0,69–0,78).

**Оценка субъективной переносимости подготовки.** Соблюдение диеты было перенесено пациентами статистически значимо легче в группе 1ДД

## Основные характеристики включенных в выборку пациентов

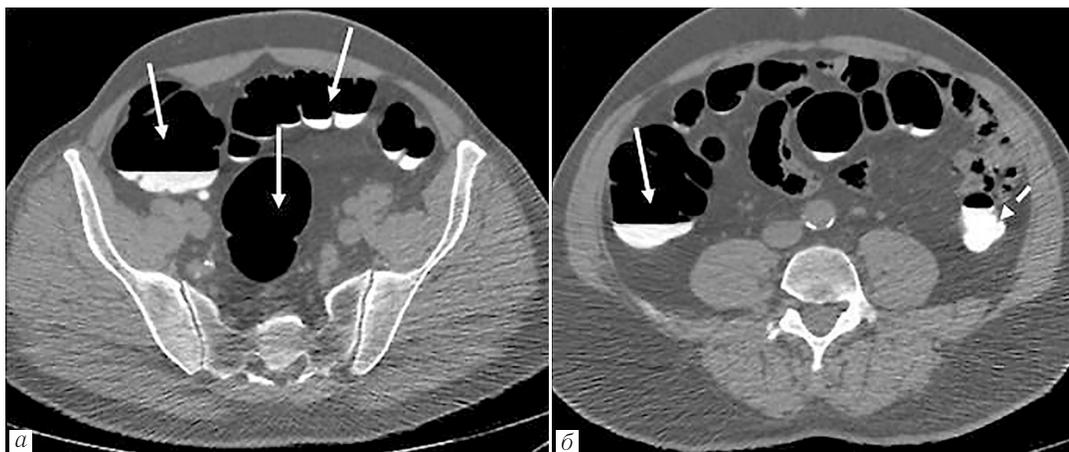
Table 2

## Main characteristics of the patients included in the sample

Параметр	Характеристики пациентов		
	ЗДД (n=55)	1ДД (n=52)	Значения p*
Соотношение мужчин и женщин, абс. (%)	22:34 (39,3:60,7)	23:29 (44,2:55,8)	>0,05
Возраст, Ме (Q1–Q3)	72 (65–77)	67 (58–75)	>0,05
ИМТ (кг/м <sup>2</sup> ), Ме (Q1–Q3)	26 (22–30)	27 (24–31)	>0,05
Ожирение, абс. (%)	13 (26,6)	16 (30,8)	>0,05
Операции на брюшной полости в анамнезе, абс. (%)	12 (21,8)	16 (30,8)	>0,05
Ранее выполнялась ЭК, абс. (%)	25 (45,5)	24 (46,2)	>0,05
<b>Патология, выявленная при КТ-колонографии</b>			
Мелкие полипы (<10 мм), абс. (%)	7 (12,7)	4 (7,7)	>0,05
Крупные полипы (≥10 мм), абс. (%)	2 (3,6)	1 (1,9)	>0,05
КРР, абс. (%)	1 (1,8)	0 (0)	>0,05
Дивертикулы, абс. (%)	36 (65,4)	39 (75)	>0,05
Множественные дивертикулы, абс. (%)	20 (36,4)	23 (44,2)	>0,05

Примечание. \*Значения  $p < 0,05$  считались статистически значимыми. ИМТ — индекс массы тела; ЭК — эндоскопическая колоноскопия; КРР — колоректальный рак.

Note. \*p values  $< 0.05$  were considered statistically significant. BMI — body mass index; EC — endoscopic colonoscopy; CRC — colorectal cancer.

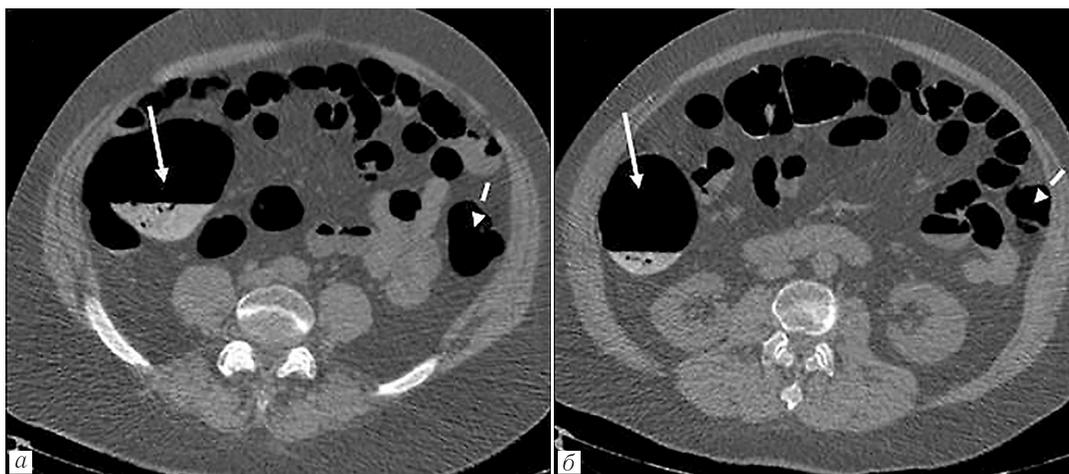


**Рис. 2.** Пример КТ-колонографии у пациента, соблюдавшего однодневную диету. Остаточный стул отсутствует во всех представленных сегментах (4 балла). Остаточная жидкость занимает менее 25% просвета в слепой, восходящей ободочной и сигмовидной кишке (стрелки), что соответствует 4 баллам. Остаточная жидкость в нисходящей ободочной кишке занимает более 75% просвета (пунктирная стрелка), что соответствует 1 баллу

**Fig. 2.** Example of CT colonography in a patient on a one-day diet. Residual stool is absent in all presented segments (4 points). Residual fluid fills less than 25% of the lumen of the cecum, ascending colon, and sigmoid colon (arrows), which corresponds to 4 points. Residual fluid in the descending colon fills more than 75% of the lumen (dashed arrow), which corresponds to 1 point

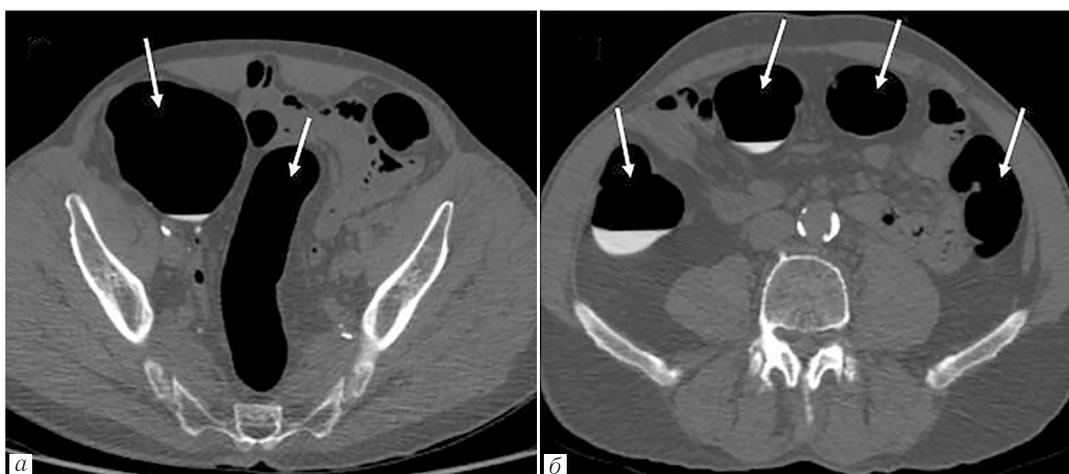
по сравнению с ЗДД ( $p=0,012$ ): 26 пациентов (47,3%) из группы ЗДД отметили сложность соблюдения диеты, при этом 6 (10,9%) пациентов отметили соблюдение диеты как очень тяжелое, тогда как в группе 1ДД сложность соблюдения диеты была отмечена в 13 случаях (25%), и ни один из пациентов не оценил соблюдение диеты как очень тяжелое. Также было выявлено, что чувство голода статистически значимо реже испытывали пациенты из группы 1ДД по сравнению с ЗДД ( $p=0,006$ ): чувство голода в группе ЗДД испытывали 41 пациент (74,5%), при этом выраженное чувство голода

испытывали 16 пациентов (29,1%), в группе 1ДД чувство голода было отмечено у 25 пациентов (48,1%), а выраженное чувство голода лишь в 5 случаях (9,6%). При подготовке не были выявлены статистически значимые различия в частоте таких симптомов, как боль в животе, тошнота и рвота, нарушение сна, а также кратности стула ( $p > 0,05$ ). Готовность к повторению процедуры была достоверно выше в группе 1ДД 75,0% (39 пациентов), чем в группе ЗДД 54,5% (30 пациентов) ( $p=0,027$ ) (рис. 8). Из 24 пациентов, проходивших ЭК в анамнезе в группе ЗДД, 9 (37,5%) отметили подготовку



**Рис. 3.** Пример КТ-колонографии у пациента, соблюдавшего однодневную диету. Негомогенная жидкость в слепой и восходящей ободочной кишке (стрелки) соответствует 2 баллам остаточного кишечного содержимого. Остаточное кишечное содержимое отсутствует в нисходящей кишке (пунктирные стрелки), что соответствует 4 баллам. Во всех отделах остаточная жидкость занимает менее 25% просвета или отсутствует, что соответствует 4 баллам

**Fig. 3.** Example of CT colonography in patient on a one-day diet. Inhomogeneous fluid in the cecum and ascending colon (arrows) corresponds to 2 points of residual stool. Residual stool is absent in the descending colon (dashed arrows), which corresponds to 4 points. Residual fluid fills less than 25% of the lumen or is absent in all segments, which corresponds to 4 points



**Рис. 4.** Пример КТ-колонографии у пациента, соблюдавшего трехдневную диету. Остаточный стул отсутствует в слепой, в восходящей ободочной, поперечной ободочной и сигмовидной кишке (стрелки), что соответствует 4 баллам остаточного кишечного содержимого. Остаточная жидкость занимает менее 25% просвета или отсутствует во всех представленных сегментах (4 балла)

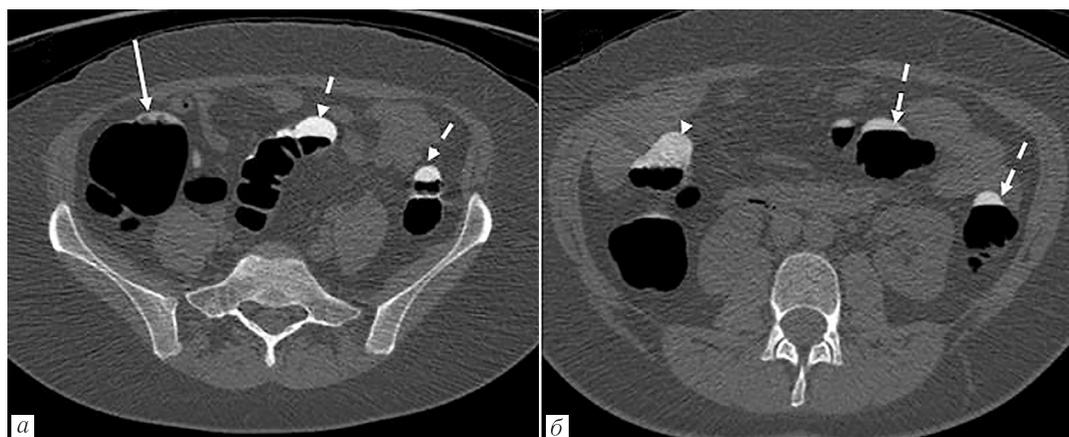
**Fig. 4.** Example of CT colonography in patient on a three-day diet. There is no residual stool in the cecum, ascending colon, transverse colon, and sigmoid colon (arrow), which corresponds to 4 points of residual stool. Residual fluid fills less than 25% of the lumen or is absent in all presented segments (4 points)

к КТК как более легкую, 14 (58,3%) не заметили разницы в тяжести подготовки, 1 пациент (4,2%) предпочел подготовку к ЭК по сравнению с подготовкой к КТК. Из 22 пациентов, проходивших ЭК в анамнезе в группе 1ДД, 12 (54,5%) отметили подготовку к КТК как более легкую, 9 (40,9%) не заметили разницы в тяжести подготовки, 1 пациент (4,5%) предпочел подготовку к ЭК по сравнению с подготовкой к КТК. Статистически значимых различий между группами не было (табл. 3).

**Обсуждение.** Результаты нашего исследования показали, что однодневная диета перед КТК дает оптимальное качество подготовки, а изменение

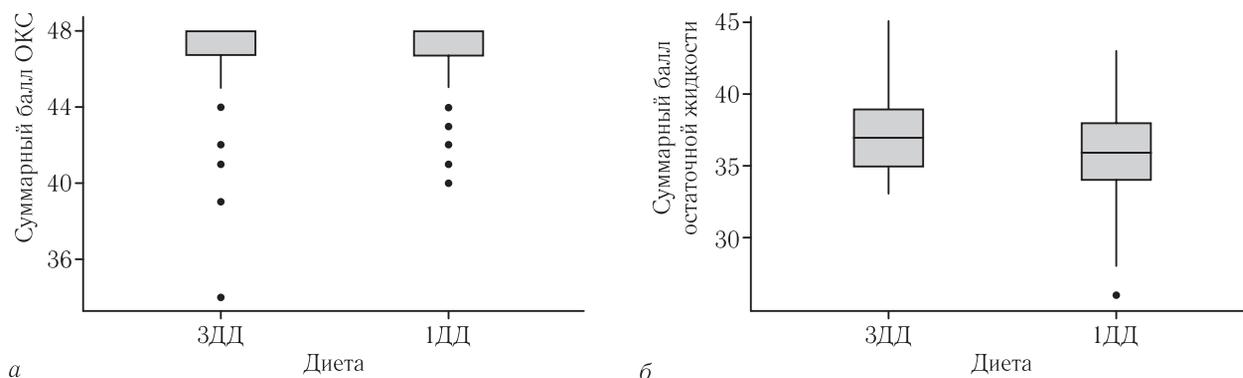
диеты с трехдневной на однодневную повышает переносимость подготовки в целом, а также увеличивает готовность пациентов повторить процедуру в будущем. Также исследование показало отсутствие преимуществ у диеты с отказом от приема твердой пищи при подготовке к КТК.

При обоих вариантах диеты (однодневная и трехдневная) качество подготовки было высоким, а статистически значимые различия между группами отсутствовали. Результаты нашего исследования сопоставимы с результатами A. Z. Gimeno-García и соавт., мета-анализа D. J. Avalos и соавт. и D. L. Nguyen и соавт., изучавшими влияние диеты



**Рис. 5.** Пример КТ-колонографии (КТК) у пациента, соблюдавшего трехдневную диету. Негомогенная жидкость в слепой кишке (стрелка) соответствует 2 баллам остаточного кишечного содержимого. Остаточное кишечное содержимое отсутствует в восходящей ободочной кишке и сигмовидной кишке (пунктирные стрелки), что соответствует 4 баллам. Остаточная жидкость в поперечной ободочной кишке занимает более 50% просвета, что соответствует 2 баллам (головка стрелки). Во всех остальных представленных отделах остаточная жидкость занимает менее 25% просвета, что соответствует 4 баллам

**Fig. 5.** Example of CT colonography (CTC) in patients on a three-day diet. Inhomogeneous fluid in the cecum (arrow) corresponds to 2 points of residual stool. Residual stool is absent in the ascending colon and the sigmoid colon (dotted arrows), which corresponds to 4 points. Residual fluid in the transverse colon occupies more than 50% of the lumen, which corresponds to 2 points (arrow head). In all other presented segments, the residual fluid fills less than 25% of the lumen, which corresponds to 4 points

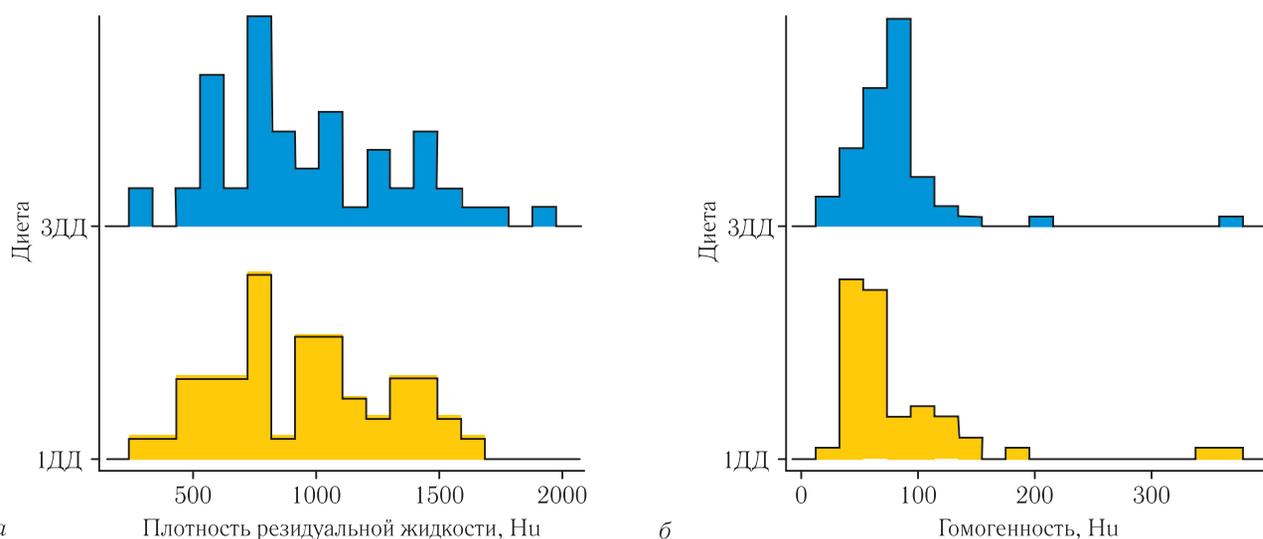


**Рис. 6.** Ящичные диаграммы качества подготовки: количество остаточного содержимого (а) и объем остаточной жидкости (б). Различия обоих показателей между группой трехдневной диеты (ЗДД) и группой однодневной диеты (1ДД) отсутствуют. Нижняя граница ящика соответствует 25-й перцентили, верхняя — 75-й. Жирная линия означает медиану. Прямые линии, исходящие из ящика («усы»), обозначают степени разброса за пределами верхнего и нижнего квартилей. Точки — это выбросы. ОКС — остаточное кишечное содержимое

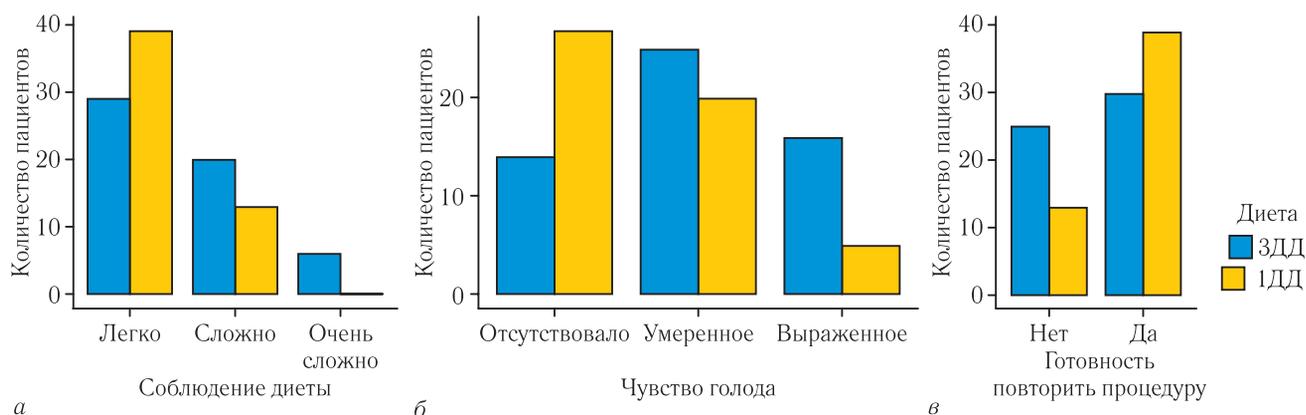
**Fig. 6.** Preparation quality box plots: amount of residual stool (a) and volume of residual fluid (б). There are no differences between the three-day diet group (3DD) and the one-day diet group (1DD) in both parameters. The bottom of the box corresponds to the 25<sup>th</sup> percentile, the top to the 75<sup>th</sup>. The bold line indicates the median. The straight lines emanating from the box («whiskers») indicate the degrees of spread outside the upper and lower quartiles. The dots are outliers

на качество подготовки к ЭК [17–19]. В исследовании D. Bellini и соавт. была показана возможность проведения КТ-колонографии без соблюдения специальной диеты [11]. При этом различия в качестве подготовки не достигли статистической значимости между группой с подготовкой без соблюдения диеты и пациентами, соблюдавшими диету три дня. Учитывая малый объем выборки в исследовании, возможно, что такие различия достигнут статистической значимости при увеличении ее объема. Исследование M. Rengo и соавт. показало, что отказ

от соблюдения диеты накануне исследования дает оптимальное качество подготовки более чем в 90% случаев [22]. Однако, несмотря на большой объем выборки в данном исследовании, основным его недостатком является отсутствие контрольной группы пациентов, соблюдающих диету. Помимо этого, как в работе D. Bellini и соавт., так и в работе M. Rengo и соавт. фактически не было полного отказа от диеты, поскольку в обоих исследованиях в день процедуры рекомендовался голод [11, 22]. Также на момент написания данной статьи не было опубли-



**Рис. 7.** Гистограммы качества маркировки резидуальной жидкости: гистограмма распределения плотности остаточной жидкости (а) и гомогенности — распределения значений стандартного отклонения (б). Различия обоих показателей между группой трехдневной диеты (ЗДД) и группой однодневной диеты (1ДД) отсутствуют  
**Fig. 7.** Histograms of residual fluid tagging quality: histogram of residual fluid attenuation distribution (а) and homogeneity — distribution of standard deviation values (б). There are no differences between the three-day diet group (3DD) and the one-day diet group (1DD) in both parameters



**Рис. 8.** Столбчатые диаграммы субъективной оценки подготовки при трехдневной (ЗДД) и однодневной (1ДД) диете перед исследованием. Диаграмма субъективной оценки сложности соблюдения диеты (а). Число пациентов, оценивших соблюдение диеты как сложное или очень сложное, было статистически значимо больше в группе ЗДД, чем в группе 1ДД. Диаграмма чувства голода во время подготовки к КТ-колонографии (б). Число пациентов, отмечавших выраженное или умеренное чувство голода во время подготовки, было значительно меньше в группе 1ДД по сравнению с группой ЗДД. Диаграмма, отражающая готовность пациентов повторить исследование с такой же подготовкой в будущем (в). Число пациентов, готовых повторить подобную процедуру в будущем, статистически значимо больше в группе 1ДД, чем в ЗДД

**Fig. 8.** Bar charts of subjective assessment of preparation for the three-day (3DD) and one-day (1DD) pre-study diets. Diagram of the subjective assessment of the difficulty of dieting (а). The number of patients who rated dietary compliance as difficult or very difficult was statistically significantly higher in the 3DD group than in the 1DD group. Hunger diagram during preparation for CT colonography (б). The number of patients who noted a strong or moderate feeling of hunger during preparation was significantly less in the 1DD group compared to the 3 DD group. Diagram showing the willingness of patients to repeat the study with the same preparation in the future (в). The number of patients willing to repeat a similar procedure in the future is statistically significantly higher in the 1DD group than in the 3DD group

ковано исследований, анализирующих качество подготовки к КТК с использованием однодневной бесшлаковой диеты и без применения диеты.

Кроме того, наше исследование продемонстрировало, что изменение диеты не влияет на качество маркировки ОКС. В данном вопросе наши результаты совпадают с результатами исследований D. Bellini и соавт.

и M. H. Liedenbaum и соавт. [11, 13]. Помимо показателей плотности резидуальной жидкости и наличия немаркированных фрагментов стула, в нашем исследовании была оценена гомогенность остаточной жидкости с помощью значений стандартного отклонения плотности в регионе интереса. Различий в данном показателе также не было выявлено при обоих вариантах диеты.

## Субъективная тяжесть подготовки, абс. (%)

Table 3

## Subjective severity of preparation, abs. (%)

Параметр	ЗДД (n=55)	ИДД (n=52)	Значения p*
Сложность соблюдения диеты	26 (47,3)	13 (25)	0,012
Боль в животе	21 (38,2)	11 (21,1)	>0,05
Тошнота и рвота	16 (29,1)	9 (17,3)	>0,05
Слабость и головокружение	29 (52,7)	18 (34,6)	>0,05
Чувство голода	41 (74,5)	25 (48,1)	0,006
Нарушение сна	24 (43,6)	15 (28,8)	>0,05
Кратность стула более 5 раз	37 (67,3)	40 (76,9)	>0,05
Готовность повторить процедуру с такой же подготовкой	30 (54,5)	39 (75)	0,027
Предпочли подготовку к КТК по сравнению с ЭК	9 (37,5)	12 (54,5)	>0,05

Примечание. \* Значения  $p < 0,05$  считались статистически значимыми. КТК — КТ-колонография; ЭК — эндоскопическая колоноскопия.

Notes. \* p values  $< 0.05$  were considered statistically significant. CTC — CT colonography; EC — endoscopic colonoscopy.

Наше исследование показало, что соблюдение однодневной диеты большинством пациентов было оценено как легкое (75%), тогда как в группе ЗДД 47,3% пациентов отмечали сложность соблюдения диеты. В этом вопросе наши результаты сопоставимы с результатами других исследований, изучавших влияние облегчения диеты при КТК на переносимость процедуры [11, 21]. В исследовании М. Н. Liedenbaum и соавт. различия в субъективной оценке тяжести подготовки между группой без соблюдения бесшлаковой диеты и группой, соблюдавшей диету, также были выявлены, однако они не достигли статистической значимости, что может быть связано с малым объемом выборки [13]. Также следует отметить, что в данном исследовании пациенты из обеих групп накануне КТК не принимали твердую пищу, что может сказываться на субъективной оценке тяжести подготовки, так как диета с приемом только жидкой пищи накануне исследования хуже переносится пациентами согласно мета-анализу D. J. Avalos и соавт., посвященному подготовке к ЭК [18]. Наше исследование впервые показало, что облегчение диеты повышает частоту готовности повторить процедуру пациентами в будущем при проведении КТК. Аналогичный эффект был отмечен при облегчении диеты при подготовке к ЭК [18, 19, 24]. Наше исследование продемонстрировало, что не было различий в частоте побочных явлений в обеих группах при подготовке к КТК, за исключением чувства голода, которое отмечалось значительно реже при ИДД. Аналогичные результаты были получены в мета-анализе D. J. Avalos и соавт. при подготовке к ЭК [18].

Наше исследование имеет несколько потенциальных ограничений. Во-первых, в нашей работе не проводилась оценка влияния изменения диеты на показатели чувствительности и специфичности КТК, что связано с относительно небольшим объемом выборки. Однако существенное влияние на данные показатели представляется маловероятным, поскольку качество подготовки и маркировки остаточного содержимого оставалось высоким при обоих вариантах диеты. Помимо этого, в случае аналогичного изменения диеты при ЭК отсутствовали различия в частоте выявления аденом [18]. Более того в нашем исследовании отсутствовали различия в частоте выявления полипов и КРР между группами. Второе ограничение обусловлено тем, что исследование включает как пациентов, проходивших обследование с целью скрининга, так и пациентов, проходивших КТК в связи с наличием симптомов. Влияние этого фактора остается неясным. Наконец, опрос пациентов выполнялся непосредственно перед КТК и не проводилось повторного анкетирования (например, через 2 или 4 недели), что возможно могло повлиять на субъективную оценку переносимости.

**Заключение.** Наше исследование продемонстрировало, что изменение диеты с трехдневной на однодневную не влияет на качество подготовки к КТК, но повышает переносимость процедуры пациентами, а также их готовность повторить процедуру. Улучшение переносимости процедуры при однодневной диете является важным преимуществом, которое может способствовать более широкому внедрению КТК в клиническую практику, особенно в условиях скрининга, за счет большего охвата обследуемых.

## Сведения об авторах:

Мещеряков Андрей Иванович — врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Поликлиника № 3» Управления делами Президента Российской Федерации; 129090, Москва, Грохольский пер., д. 31; e-mail: aim.radiologist@gmail.com; ORCID 0000-0002-6609-0614;

Гурова Надежда Юрьевна — кандидат медицинских наук, заведующая рентгеновским отделением с томографией и лабораторией радиоизотопной диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Поликлиника № 3» Управления делами Президента Российской Федерации; 129090, Москва, Грохольский пер., д. 31; ORCID 0000-0003-1351-4193;

*Киева Ирина Николаевна* — врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П. А. Герцена — филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125284, Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3; ORCID 0000–0002–4060–5966;

*Пугачева Ольга Геннадиевна* — врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Поликлиника № 3» Управления делами Президента Российской Федерации, 129090, Москва, Грохольский пер., д. 31; ORCID 0000–0001–9297–3341;

*Дородных Денис Владимирович* — врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения дополнительного профессионального образования «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 19, с. 1А; ORCID 0000–0001–9297–3341;

*Макарова Людмила Игоревна* — врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения дополнительного профессионального образования «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 19, с. 1А; ORCID 0000–0002–4348–5445.

#### Information about authors:

*Andrey I. Meshcheryakov* — radiologist of the federal state budgetary institution «Polyclinic No. 3» of the Administration of the President of the Russian Federation; 129090, Moscow, Grokholsky lane, 31; e-mail: aim.radiologist@gmail.com; ORCID 0000–0002–6609–0614;

*Nadezhda Yu. Gurova* — Cand. of Sci. (Med.), head of the X-ray department with tomography and radioisotope diagnostics laboratory of the federal state budgetary institution «Polyclinic No. 3» of the Administration of the President of the Russian Federation; 129090, Moscow, Grokholsky lane, 31; ORCID 0000–0003–1351–4193;

*Irina N. Kieva* — radiologist of the federal state budgetary institution «Moscow Research Oncology Institute named after P. A. Herzen — a branch of the federal state budgetary institution «National Medical Research Center of Radiology» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 125284, Moscow, 2nd Botkinsky proezd, 3; ORCID 0000–0002–4060–5966;

*Olga G. Pugacheva* — radiologist of the federal state budgetary institution «Polyclinic No. 3» of the Administration of the President of the Russian Federation, 129090, Moscow, Grokholsky per., 31; ORCID 0000–0001–9297–3341;

*Denis V. Dorodnykh* — radiologist of the federal state budgetary institution of additional professional education «Central State Medical Academy» of the Administration of the President of the Russian Federation, 121359, Moscow, st. Marshala Timoshenko, 19, p. 1A; ORCID 0000–0001–9297–3341;

*Ljudmila I. Makarova* — radiologist of the federal state budgetary institution of additional professional education «Central State Medical Academy» of the Administration of the President of the Russian Federation, 121359, Moscow, st. Marshala Timoshenko, 19, p. 1A; ORCID 0000–0002–4348–5445.

**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. Мещеряков, Н.Ю. Гурова, О.Г. Пугачева*; сбор и анализ данных — *А.И. Мещеряков, О.Г. Пугачева, И.Н. Киева, Д.В. Дородных, Л.И. Макарова*; подготовка рукописи — *А.И. Мещеряков, И.Н. Киева, О.Г. Пугачева*.

**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 — *AIM, NYUG, OGP*; aided in the concept and plan of the study — *AIM, OGP, INK, DVD, LIM*; preparation of the manuscript — *AIM, INK, OGP*.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Соответствие принципам этики.** Данное исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Поликлиника №3», протокол № 1-08-2020, от 27.08.2020 г., информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards.** This study was approved by the local ethics committee of the Federal State Budgetary Institution «Polyclinic No. 3», protocol No. 1-08-2020, from 08/27/2020, and informed consent obtained from each patient.

Поступила/Received: 18.11.2023

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Kadari M., Suban M., Parel N.S. et al. CT Colonography and Colorectal Carcinoma: Current Trends and Emerging Developments // *Cureus*. 2022. Vol. 14. e24916. <https://doi.org/10.7759/cureus.24916>.
- Davidson K.W., Barry M.J., Mangione C.M., et al. Screening for Colorectal Cancer: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement // *JAMA*. 325 (2021) 1965–1977. <https://doi.org/10.1001/jama.2021.6238>.
- Spada C., Hassan C., Bellini D. et al. Imaging alternatives to colonoscopy: CT colonography and colon capsule. European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) and European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology (ESGAR) Guideline — Update 2020 // *Endoscopy*. 2020. Vol. 52. P. 1127–1141. <https://doi.org/10.1055/a-1258-4819>.
- Moreno C., Kim D.H., Bartel T.B. et al. ACR Appropriateness Criteria © Colorectal Cancer Screening // *J. Am. Coll. Radiol.* 2018. Vol. 15. P. S56–S68. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2018.03.014>.
- Bénard F., Barkun A.N., Martel M., von Renteln D. Systematic review of colorectal cancer screening guidelines for average-risk adults: Summarizing the current global recommendations // *World J. Gastroenterol.* 2018. Vol. 24. P. 124–138. <https://doi.org/10.3748/wjg.v24.i1.124>.

6. ESGAR CT Colonography Working Group, Neri E., Halligan S., Hellström M., Lefere P., Mang T., Regge D., Stoker J., Taylor S., Laghi A. The second ESGAR consensus statement on CT colonography // *Eur. Radiol.* 2013. Vol. 23. P. 720–729. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2632-x>.
7. Bellini D., Panvini N., Vicini S., et al. Low-volume reduced bowel preparation regimen for CT colonography: a randomized noninferiority trial // *Abdom. Radiol. N. Y.* 2021. Vol. 46. P. 4556–4566. <https://doi.org/10.1007/s00261-021-03176-8>.
8. Sali L., Ventura L., Grazzini G., et al. Patients' experience of screening CT colonography with reduced and full bowel preparation in a randomised trial // *Eur. Radiol.* 2019. Vol. 29. P. 2457–2464. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5808-1>.
9. Harewood G.C., Wiersema M.J., Melton L.J. A prospective, controlled assessment of factors influencing acceptance of screening colonoscopy // *Am. J. Gastroenterol.* 2002. Vol. 97. P. 3186–3194. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2002.07129.x>.
10. Beebe T.J., Johnson C.D., Stoner S.M., Anderson K.J., Limburg P.J. Assessing Attitudes Toward Laxative Preparation in Colorectal Cancer Screening and Effects on Future Testing: Potential Receptivity to Computed Tomographic Colonography // *Mayo Clin. Proc.* 2007. Vol. 82. P. 666–671. <https://doi.org/10.4065/82.6.666>.
11. Bellini D., De Santis D., Caruso D., Rengo M., Ferrari R., Biondi T., Laghi A. Bowel preparation in CT colonography: Is diet restriction necessary? A randomised trial (DIETSAN) // *Eur. Radiol.* 2018. Vol. 28. P. 382–389. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-4997-3>.
12. Bartram C.I. Bowel preparation-principles and practice // *Clin. Radiol.* 1994. Vol. 49. P. 365–367. [https://doi.org/10.1016/s0009-9260\(05\)81818-5](https://doi.org/10.1016/s0009-9260(05)81818-5).
13. Liedenbaum M.H., Denters M.J., de Vries A.H., et al. Low-fiber diet in limited bowel preparation for CT colonography: Influence on image quality and patient acceptance // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2010. Vol. 195. W31–37. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.3572>.
14. Морозов С.П., Владимирский А.В., Ветшева Н.Н., Трофименко И.А., Кузьмина Е.С. Систематический обзор методов подготовки кишечника к ключевым исследованиям // *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2019. Т. 100. С. 40–57. [Morozov S.P., Vladimirovsky A.V., Vetsheva N.N., Trofimenko I.A., Kuzmina E.S. Systematic review of methods for preparing the intestine for radiation examinations. *Bulletin of radiology and radiology*, 2019, Vol. 100, pp. 40–57 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-1-40-57>.
15. Neri E., Lefere P., Gyspeerdts S., Bemis P., Mantarro A., Bartolozzi C. Bowel preparation for CT colonography // *Eur. J. Radiol.* 2013. Vol. 82. P. 1137–1143. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.11.006>.
16. Hassan C., East J., Radaelli F., et al. Bowel preparation for colonoscopy: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Guideline — Update 2019 // *Endoscopy.* 2019. Vol. 51. P. 775–794. <https://doi.org/10.1055/a-0959-0505>.
17. Gimeno-García A.Z., de la Barreda Heuser R., Reygosa C., et al. Impact of a 1-day versus 3-day low-residue diet on bowel cleansing quality before colonoscopy: a randomized controlled trial // *Endoscopy.* 2019. Vol. 51. P. 628–636. <https://doi.org/10.1055/a-0864-1942>.
18. Avalos D.J., Sussman D.A., Lara L.F., Sarkis F.S., Castro F.J. Effect of Diet Liberalization on Bowel Preparation // *South. Med. J.* 2017. Vol. 110. P. 399–407. <https://doi.org/10.14423/SMJ.0000000000000662>.
19. Nguyen D.L., Jamal M.M., Nguyen E.T., Puli S.R., Bechtold M.L. Low-residue versus clear liquid diet before colonoscopy: a meta-analysis of randomized, controlled trials // *Gastrointest. Endosc.* 2016. Vol. 83. P. 499–507. e1. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2015.09.045>.
20. Галаяев А.В., Суровегин Е.С., Ликотов А.А., Сушков О.И., Ваганов Ю.Е., Восканян А.С., Меркулова Е.С. Роль режима питания при подготовке толстой кишки к колоноскопии. Проспективное обсервационное исследование // *Колонпроктология.* 2023. Т. 22. С. 57–63. [Galyaev A.V., Surovegin E.S., Likotov A.A., Sushkov O.I., Vaganov Yu.E., Voskanyan A.S., Merkulova E.S. The role of diet in colon preparation for colonoscopy. Prospective observational study. *Coloproctology*, 2023, Vol. 22, pp. 57–63 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-2-57-63>.
21. Meric K., Bakal N., Şenates E., et al. Comparison of a 4-Day versus 2-Day Low Fiber Diet Regimen in Barium Tagging CT Colonography in Incomplete Colonoscopy Patients // *Gastroenterol. Res. Pract.* Vol. 2015. 2015. P. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2015/609150>.
22. Rengo M., Tiberia F., Vicini S. et al. CT colonography: can we achieve an adequate bowel preparation without diet restriction? // *Eur. Radiol.* 2023. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09471-w>.
23. Мешчеряков А.И., Гурова Н.Ю., Пугачева О.Г., Барыков М.Р., Сергеев В.А., Морозов С.П. Сравнение слабительных препаратов для подготовки к КТ-колонографии при использовании схемы с полным очищением толстой кишки // *Медицинская визуализация.* 2021. Т. 25. С. 54–72. [Meshcheryakov A.I., Gurova N.Yu., Pugacheva O.G., Barykov M.R., Sergeev V.A., Morozov S.P. Comparison of laxatives used in CT colonography with full bowel preparation. *Medical Visualization*, 2021, Vol. 25, No. 1, pp. 54–72 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-979>.
24. Song G.-M., Tian X., Ma L., Yi L.-J., Shuai T., Zeng Z., Zeng X.-T. Regime for Bowel Preparation in Patients Scheduled to Colonoscopy: Low-Residue Diet or Clear Liquid Diet? Evidence From Systematic Review With Power Analysis // *Medicine (Baltimore).* 2016. Vol. 95. e2432. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000002432>.

УДК 616.61-004.6

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-97-111>

## ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРАСТ-УСИЛЕННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В РАННЕЙ ДИАГНОСТИКЕ КЛИНИЧЕСКИ ЗНАЧИМОГО АНГИОНЕФРОСКЛЕРОЗА У БОЛЬНЫХ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2-го ТИПА: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

О. А. Горбатенко<sup>ID\*</sup>, А. В. Борсуков<sup>ID</sup>

Смоленский государственный медицинский университет, Проблемная научно-исследовательская лаборатория «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии», Смоленск, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Инструментальные методы, используемые в настоящее время, являются либо ионизирующими, либо инвазивными, что не позволяет потенциально применять их при динамическом мониторинге. Контраст-усиленное ультразвуковое исследование (КУУЗИ) может обеспечить более качественную оценку почечного кровотока.

**ЦЕЛЬ:** Повышение диагностической и прогностической ценности ультразвукового исследования с применением эхоконтраста в ранней диагностике клинически значимого ангионеврофросклероза у больных с сахарным диабетом 2-го типа.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** С 2019 по 2023 г. на базе ОГБУЗ «Клиническая больница № 1» г. Смоленска и проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО СГМУ Минздрава России были обследованы 166 человек [118 человек — основная группа (1-я группа — пациенты с СД 2-го типа без диабетического ангионеврофросклероза; 2-я группа — пациенты с СД 2-го типа с диабетическим ангионеврофросклерозом в стадии субкомпенсации; 3-я группа — пациенты с СД 2-го типа с выраженным диабетическим ангионеврофросклерозом в стадии декомпенсации) и 48 человек — контрольная группа]. Все пациенты были обследованы по единому диагностическому алгоритму, который включал 8 этапов. Референтные методы — КТ с контрастным усилением, динамическая нефросцинтиграфия.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** При анализе качественных и количественных результатов КУУЗИ выявлено, что пациенты 2-й и 3-й групп достигают пика интенсивности КП (PI) быстрее, чем пациенты 1-й основной и контрольной групп. Наиболее лабильным оказался такой количественный показатель, как время достижения максимальной интенсивности КВ (ТАО). Наибольшей точностью отмечены AUC<sub>i</sub>, AUC<sub>o</sub>, AUC. Показатели AUC и AUC<sub>o</sub> в контрольной группе значимо не различались. В зависимости от степени поражения коркового вещества почки установлено, что наибольшие изменения количественных и качественных параметров КУУЗИ были выявлены на стадии клинической нефропатии и терминальной стадией хронической болезни почек. У пациентов со стадией III (начинающаяся нефропатия) наблюдались более выраженные изменения по данным лабораторных и инструментальных исследований, чем у пациентов контрольной группы, без патологии почек или пациентов с доклинической стадией (I–II стадия).

**ОБСУЖДЕНИЕ:** В отличие от КТ и МРТ КУУЗИ не является нефротоксичным, что позволяет его использовать у пациентов со сниженной функцией почек, в том числе для многократного динамического мониторинга. Это является актуальным для пациентов с СД 2-го типа, поскольку по мере прогрессирования заболевания важно оценить доклинические признаки развития диабетического ангионеврофросклероза, а именно интратрениальный кровоток. Использование КУУЗИ в комплексном диагностическом алгоритме диабетической болезни почек позволяет выявить доклинические изменения диабетического ангионеврофросклероза.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Контраст-усиленное ультразвуковое исследование является надежным и безопасным методом диагностики патологии почек, позволяющим прогнозировать клиническое течение основного заболевания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сахарный диабет, хроническая болезнь почек, контраст-усиленное ультразвуковое исследование почек

\* Для корреспонденции: Горбатенко Ольга Александровна, e-mail: [olya.gorbatenko.94@mail.ru](mailto:olya.gorbatenko.94@mail.ru).

Для цитирования: Горбатенко О.А., Борсуков А.В. Возможности контраст-усиленного ультразвукового исследования в ранней диагностике клинически значимого ангионеврофросклероза у больных с сахарным диабетом 2-го типа: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 97–111, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-97-111>.

## POSSIBILITIES OF CONTRAST-ENHANCED ULTRASOUND IN THE EARLY DIAGNOSIS OF CLINICALLY SIGNIFICANT ANGIOEPHROSCLEROSIS IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS: A PROSPECTIVE STUDY

Olga A. Gorbatenko<sup>✉\*</sup>, Alexey V. Borsukov<sup>✉</sup>

Smolensk State Medical University, Fundamental research laboratory «Diagnostic researches and minimally invasive technologies», Smolensk, Russia

**INTRODUCTION:** The instrumental methods currently used are either ionizing or invasive, which prevents their potential application in dynamic monitoring. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) can provide better assessment of renal blood flow.

**OBJECTIVE:** Increasing the diagnostic and prognostic value of ultrasound using echo contrast in the early diagnosis of clinically significant angioedema in patients with type 2 diabetes mellitus.

**MATERIALS AND METHODS:** From 2019 to 2023 On the basis of the Clinical Hospital No. 1 of Smolensk and the problem research laboratory «Diagnostic studies and minimally invasive technologies» of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education SSMU of the Ministry of Health of Russia, 166 people were examined (118 people — the main group (Group 1 — patients with type 2 diabetes without diabetic angioedema; group 2 — patients with type 2 diabetes with diabetic angioedema in the subcompensation stage; Group 3 — patients with type 2 diabetes with severe diabetic angioedema in the decompensation stage) and 48 people — the control group). All patients were examined according to a single diagnostic algorithm, which included 8 stages. Abstract methods — contrast-enhanced CT, dynamic nephroscintigraphy.

**DISCUSSION:** Unlike CT and MRI, CEUS is not nephrotoxic, which allows it to be used in patients with reduced renal function, including for multiple dynamic monitoring. This is relevant for patients with type 2 diabetes, because as the disease progresses, it is important to assess preclinical signs of diabetic angioedema, namely, intrarenal blood flow. The use of CEUS in a comprehensive diagnostic algorithm for diabetic kidney disease makes it possible to identify preclinical changes in diabetic angioedema.

**CONCLUSION:** Contrast-enhanced ultrasound is a reliable and safe method of diagnosing kidney pathology, which allows predicting the clinical course of the underlying disease.

**KEYWORDS:** diabetes mellitus, chronic kidney disease, contrast-enhanced ultrasound examination of the kidneys

\* For correspondence: Olga A. Gorbatenko, e-mail: [olya.gorbatenko.94@mail.ru](mailto:olya.gorbatenko.94@mail.ru).

**For citation:** Gorbatenko O.A., Borsukov A.V. Possibilities of contrast-enhanced ultrasound in the early diagnosis of clinically significant angioneurosis in patients with type 2 diabetes mellitus: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 97–111, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-97-111>.

**Введение.** В настоящее время наблюдается тенденция увеличения числа больных сахарным диабетом (СД). Сахарный диабет остается острой проблемой здравоохранения не только на территории Российской Федерации, но и во всем мире [1–3]. Он является главенствующей причиной развития хронической болезни почек (ХБП). Количество зарегистрированных больных с ХБП, включая все стадии заболевания по классификации ХБП (Клинические рекомендации ХБП, 2023), в том числе терминальную почечную недостаточность, составляет не менее 10%. Разнообразие причин поражения почек при СД не вызывает сомнений, однако наиболее распространенной остается диабетическая нефропатия (ДН), которая отмечается у 30–40% больных СД 2-го типа [4, 5].

Традиционный В-режим и доплерография на протяжении многих лет являются основными методами визуализации почек и ежедневно используются в большинстве медицинских центров в качестве метода выбора для первоначальной оценки патологии почек. Однако стандартное ультразвуковое сканирование может быть ограничено в способности точно указать на патологию почек, в особенно-

сти у пациентов с диабетической болезнью почек. УЗИ в В-режиме является хорошим инструментом скрининга, но не всегда может дать характеристику области поражений [6, 7]. Особая проблема заключается в том, что изменения почек при ультразвуковом исследовании в В-режиме и режиме ЦДК часто низкоинформативны при диффузной патологии почек, а оценка микроциркуляции с помощью доплерографии может быть затруднена [8].

Таким образом, стандартное УЗИ остается неточным при различении доброкачественных и злокачественных поражений. Контраст-усиленное ультразвуковое исследование (КУУЗИ) имеет множество преимуществ: оно безопасно (особенно у пациентов с почечной дисфункцией), является неионизирующим и относительно дешево. Кроме того, наш опыт показывает, что КУУЗИ не представляет сложности в техническом плане. Данное исследование может освоить опытный врач ультразвуковой диагностики.

В настоящей статье мы обсуждаем технику, интерпретацию и ценность ультразвукового исследования с контрастным усилением при диагностике диабетического ангионевроза различного клинического течения. Зачастую в визуализации почек применяют

компьютерную томографию (КТ) или магнитно-резонансную томографию (МРТ). Это может быть как прицельное исследование почек при их патологии, так и результат визуализации других органов. Эхоконтрастный препарат состоит из биологически инертных микропузырьков, размеры которых меньше эритроцита, что является достаточным для оценки микроциркуляторного русла без риска эмболизации [8–10]. В отличие от КТ и МРТ, КУУЗИ не является нефротоксичным, что позволяет использовать его у пациентов со сниженной функцией почек, в том числе для многократного динамического мониторинга. Это актуально для пациентов с СД 2-го типа, поскольку по мере прогрессирования заболевания важно оценить доклинические признаки развития диабетического ангионевросклероза, а именно интратенальный кровоток [3, 11]. Использование КУУЗИ в комплексном диагностическом алгоритме диабетической болезни почек позволяет выявить доклинические изменения диабетического ангионевросклероза. Таким образом, КУУЗИ является надежным и безопасным методом диагностики патологии почек, позволяющим прогнозировать клиническое течение основного заболевания.

В результате увеличения тяжести диабетической болезни почек происходит поочередное вовлечение структур почек: клубочков, канальцев, интерстициального компонента. Данные процессы способствуют повышению проницаемости структуры базальной мембраны для альбуминов, тем самым запуская процесс скопления альбуминов в мезангиуме, что приводит к развитию тубулоинтерстициального фиброза [3, 12–14]. В процесс прогрессирования патологических изменений гистоархитектоники вовлекаются интратенальные сосуды почек. Одним из важнейших этапов диагностики диабетической болезни почек является

ческой болезни почек — это биопсия почки, однако данный метод является инвазивным с возможными рисками развития осложнений, поэтому повторное выполнение для динамического мониторинга практически невозможно [15]. Усиливается роль КУУЗИ в паренхиматозной микроваскуляризации почек. Метод основан на введении ультразвукового контрастного вещества, которое изменяет акустические свойства крови [16, 17]. Значимым преимуществом данного метода является отсутствие развития осложнений, в частности, постконтрастного острого повреждения почек (ПК-ОПП). С учетом недостаточности данных по КУУЗИ в ранней диагностике клинически значимого ангионевросклероза у пациентов с СД 2-го типа определена цель исследования.

**Цель.** Повышение диагностической и прогностической ценности ультразвукового исследования с применением эхоконтраста в ранней диагностике клинически значимого ангионевросклероза у больных с сахарным диабетом 2-го типа.

**Материалы и методы.** С 2019 по 2023 г. на базе ОГБУЗ «Клиническая больница № 1» г. Смоленска и проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО СГМУ Минздрава России были обследованы 166 человек (118 человек — основная группа и 48 человек — контрольная группа). Все пациенты, участвовавшие в научном исследовании, дали письменное информированное согласие в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (одобрено этическим комитетом ОГБУЗ «Клиническая больница № 1» № 29 от 16.02.2019 г.) В соответствии с задачами исследования были сформированы следующие группы.

Клиническая характеристика пациентов основной группы (n=118)

Таблица 1

Clinical characteristics of patients in the main group (n=118)

Table 1

Группа	Мужчины		Женщины		Всего		Средний возраст, лет
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	
1-я группа — пациенты с СД 2-го типа без диабетического ангионевросклероза	22	18,6	17	14,4	39	33,1	59,69±12,38
2-я группа — пациенты с СД 2-го типа с диабетическим ангионевросклерозом в стадии субкомпенсации	17	14,4	27	22,9	44	37,3	65,18±8,08
3-я группа — пациенты с СД 2-го типа с выраженным диабетическим ангионевросклерозом в стадии декомпенсации	17	14,4	18	15,3	35	29,6	67,91±7,9
Всего (n=118)	56	47,4	62	52,6	118	100,0	64±10,16

Примечание: p<0,05.

Note: p<0,05.

оценка перфузии почек для определения степени поражения, а также формирования дальнейшего прогнозирования течения диабетического ангионевросклероза. «Золотой стандарт» в диагностике диабе-

Основная клиническая группа (n=118): 118 человек с СД 2-го типа различного клинического течения. Все пациенты были распределены по полу и возрасту (табл. 1).

Референтные методы (n=118):

1) МСКТ почек с болюсным контрастированием (Омнипак, 350 мг йода/мл) на томографе Toshiba Aquilion 16 толщина среза 0,5 мм у 93 пациентов основной группы — 78,81%;

2) динамическая нефросцинтиграфия (Пентатекс-Тх<sup>99m</sup>, 80 МБк) на аппарате PHILIPS у 25 пациентов основной группы — 21,19%.

Выполнялась чрескожная биопсия почки 12 (10,16%) пациентов основной группы.

*Группа 1* — пациенты с СД 2-го типа без диабетического ангионеврологического склероза с наличием HbA1c <7%; нормоальбуминурия менее 30 мг/сут; СКФ 90 и более мл/мин/1,73 м<sup>3</sup>.

*Группа 2* — пациенты с СД 2-го типа с диабетическим ангионеврологическим склерозом в стадии субкомпенсации с наличием HbA1c 7,1–7,5%; микроальбуминурии 30–300 мг/сут; СКФ 89–30 мл/мин/1,73 м<sup>3</sup>.

*Группа 3* — пациенты с СД 2-го типа с выраженным диабетическим ангионеврологическим склерозом в стадии декомпенсации с наличием HbA1c >7,5%; макроальбуминурии более 300 мг/сут; СКФ менее 30 мл/мин/1,73 м<sup>3</sup>.

В контрольную группу вошли 48 пациентов с неизменным уровнем концентрации глюкозы в цельной капиллярной крови натощак <5,6 ммоль/л, не имеющие поражений почечной ткани по результатам клинических, лабораторных и инструментальных данных — 23 мужчины (47,91%) и 25 женщин (52,09%), средний возраст — 49,46±9,74 года. Представлены различные нозологические формы заболевания у пациентов контрольной группы, такие как хронический гастрит (35,6%), хронический панкреатит (14,8%), деформирующий остеоартроз (9,5%), хроническая астма (12,5%), хроническая обструктивная болезнь легких (11,2%), хронический некалькулезный холецистит (16,4%).

Всем пациентам, подписавшим добровольное согласие на исследование, был предложен единый диагностический алгоритм, который включал 8 этапов. Период наблюдения 4 года (2019–2023 гг.) с динамическим наблюдением через 3 мес — 6 мес — 9 мес — 12 мес — 24 мес — 36 мес — 48 мес.

**I этап.** Подписание добровольного информированного согласия перед началом исследования.

**II этап.** Сбор анамнеза жизни и жалоб пациентов. Физикальный осмотр больных с вычислением индекса массы тела (ИМТ), измерением артериального давления (АД).

**III этап.** Лабораторные исследования (общий анализ крови, гликированный гемоглобин, скорость клубочковой фильтрации (СКФ), креатинин, альбуминурия).

**IV–V этап.** Инструментальное обследование (оценка DICOM файлов МСКТ почек с контрастным усилением и динамическая нефросцинтиграфия — ДНС), которое проводилось до момента настоящего исследования по клиническому назначе-

нию лечащего врача, но не позднее чем 3 месяца до начала исследования.

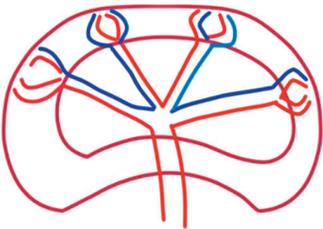
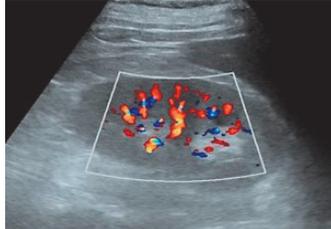
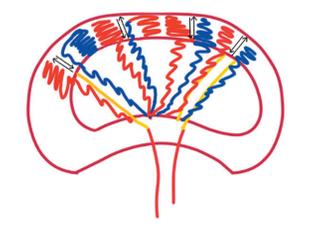
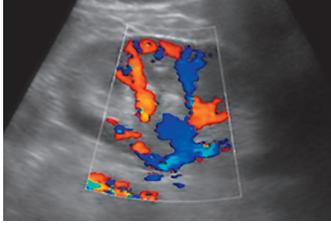
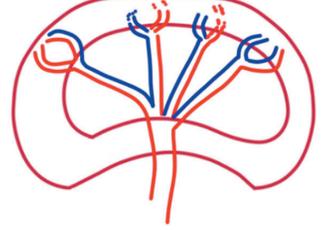
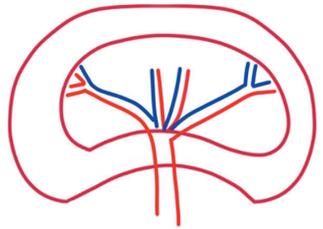
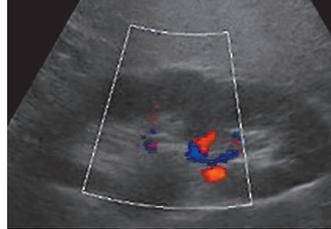
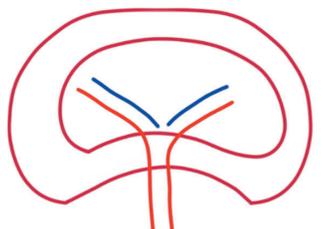
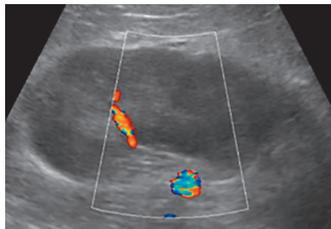
**VI этап.** Мультипараметрическое ультразвуковое исследование почек в В-режиме с определением длины, ширины, толщины, эхогенности коркового слоя; в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) с оценкой качественных параметров интрааренального кровотока по 5-балльной шкале М. Bertolotto [18]. Качественные параметры оценивали по следующей классификации: 0 тип — норма; 1 тип — усиление почечного кровотока; 2 тип — незначительное уменьшение кровотока; 3 тип — значительное уменьшение кровотока; 4 тип — выраженное уменьшения кровотока. УЗИ почек проводилось полипозиционно. Исследование ангиоархитектоники почек выполнялось в положении пациента лежа на спине путем поперечного сканирования для лучшей оценки устьев артерий. Для оценки дистальных сегментов почечных артерий и интрааренальных сосудов исследование проводилось в задне-латеральном доступе в положении пациента лежа на боку с последующей оценкой УЗ-семиотики (табл. 2). В случае если почки изменены одинаково, выбиралась наиболее удобная для проведения КУУЗИ — правая почка.

**VII этап.** Контраст-усиленное ультразвуковое исследование почек проводилось в соответствии с Европейскими рекомендациями для клинической практики по контраст-усиленному ультразвуковому исследованию [19]. Контраст-усиленное ультразвуковое исследование почек проводили на УЗ-аппарате Aloka Hitachi Arietta 850 (Hitachi Medical Corporation, Япония) в компетентном режиме с низкоамплитудным механическим индексом 0,06 и конвексным датчиком 3–6 МГц. Для проведения настоящего исследования использовался эхоконтрастный препарат «SonoVue» (Бракко Свисс СА, Швейцария). Данный препарат представляет собой лиофилизированный порошок гексафторида серы, 1,5 мг, который необходимо растворить в 5,0 мл растворителя 0,9% раствора натрия хлорида. Свежеприготовленный раствор вводили внутривенно струйно через локтевую вену (*v. ulnaris*), используя двухпортовый периферический венозный катетер G19 (диаметр 0,9 мм). Для достижения более эффективного и быстрого результата болюсного введения эхоконтраста дополнительно вводили 5,0 мл 0,9% раствора натрия хлорида [19, 20].

Перед началом контрастирования на монитор УЗ-аппарата выводят почку, почечную артерию, сегментарные артерии, междольевые артерии, дуговые артерии и междольковые артерии. При получении устойчивой УЗ-картины определяют зоны для оценки количественных параметров КУУЗИ. Предпочтительными вариантами для проведения исследования являются верхний передний сегмент, нижний передний сегмент или задний сегмент почки. Во время исследования оценивали каче-

Таблица 2  
Стандартизированная градация оценки цветового доплеровского картирования почек по шкале М. Bertolotto [18]

Table 2  
Standardized gradation of color Doppler mapping of the kidneys according to the M. Bertolotto scale [18]

Тип	Графическое изображение	УЗ-изображения	Визуальная оценка
0			Определяются интратенальные сосуды и не менее 90% структур паренхиматозного слоя почки
1			Визуализируется общая почечная артерия, сегментарные. Оценка междольковых артерий затруднена за счет разнонаправленности турбулентного кровотока
2			Определяется общая почечная артерия, сегментарные, междольковые и не более 50% всех дуговых сосудов. Междольковые сосуды не визуализируются
3			Определяется общая почечная артерия, сегментарные, не более 50% междольковых. Дуговые и междольковые сосуды не визуализируются
4			Определяется общая почечная артерия, частично сегментарные. Междольковые, дуговые, междольковые сосуды не определяются

ственные показатели: однородность/неоднородность контрастирования, симметричность/асимметричность накопления эхоконтрастного препарата в корковом и мозговом слоях, однородность/неоднородность вымывания ультразвукового контрастного препарата и симметричность/асимметричность вымывания контрастного препарата. Данные показатели необходимо просматривать в режиме off-line для более детальной оценки исследования путем анализа записанных ранее видео-петель. При построении графика «интенсивность-время» также оценивались количественные показатели: время поступления контрастного препарата (ТАО — time of arrival), время достижения пиковой интенсивно-

сти контрастного препарата (ТТР — time to peak), время полувыведения контрастного препарата (НТВо — half-time washout), максимальная интенсивность накопления контрастного препарата (PI — peak intensity), общая площадь под кривой (AUC — area under), площадь под кривой накопления контрастного препарата (AUCWi — area under ascending curve), площадь под кривой выведения контрастного препарата (AUCWo — area under descending curve) (рис. 1) [19, 20].

**VIII этап.** Проведение биопсии почки под УЗ-контролем. В связи с отсутствием жалоб и болевого синдрома на данную процедуру согласились 12 (10,16%) пациентов. Нефробиопсия проводится

исключительно по назначению врача-нефролога. Показания [15]:

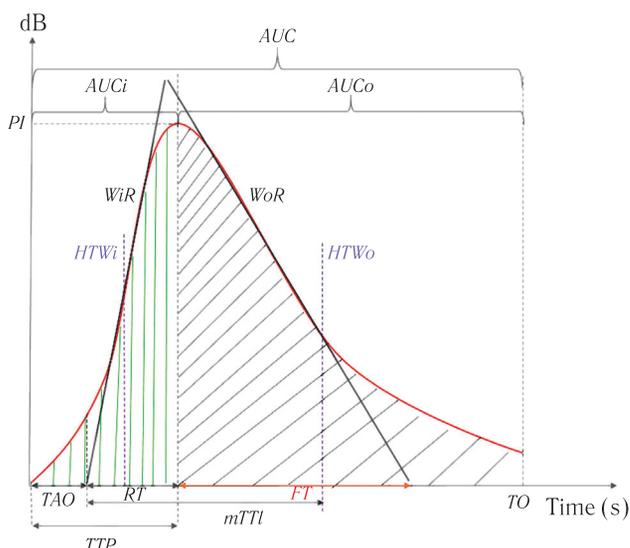
- стремительное нарастание протеинурии с развитием нефротического синдрома;
- появление массивной протеинурии на ранних стадиях сахарного диабета;
- сочетание протеинурии с выраженной либо стабильной гематурией;
- стремительное снижение функции почек;
- появление почечной патологии при отсутствии ретинопатии;
- наличие других системных проявлений, не типичных для сахарного диабета.

Перечень лучевых и ультразвуковых диагностических исследований, проведенных пациентам основной (n=118) и контрольной группы (n=48), представлен в табл. 3.

В результате анализа количественных показателей КУУЗИ были проведены расчеты в нескольких точках с нахождением среднего арифметического ( $\Delta$ ) для более точной комплексной оценки перфузии почек. Статистически значимые различия оценивались для показателей TAO, TTP, PI, AUCi, AUCo, AUC.

Полученные данные клинико-лабораторных и инструментальных исследований были статистически обработаны с использованием пакетов статистического анализа Statistica 12.0 (StatSoft Inc.) и MedCalc. Оценка диагностической точности качественных и количественных параметров КУУЗИ почек выполнялась с использованием ROC-анализа.

**Результаты.** Всем пациентам основной группы проводился динамический мониторинг лабораторных показателей, таких как скорость клубочковой фильтрации (СКФ), содержание креатинина, альбу-



**Рис. 1.** Кривые накопления и выведения ультразвукового контрастного вещества (УЗКВ) «интенсивность-время» с оценкой начала артериальной фазы (ТАО, сек), времени достижения максимальной интенсивности накопления контрастного препарата (ТТР, сек), максимальной интенсивности накопления контрастного препарата (PI, дБ), общей площади под кривой (AUC), площади под кривой накопления КВ (AUCi), площади под кривой выведения КВ (AUCo) (WFUMB, EFSUMB Guidelines and Recommendations for CEUS, 2020)

**Fig. 1.** Accumulation and removal curves of ultrasound «intensity-time» with assessment of the onset of the arterial phase (TOA, sec), time to reach the maximum intensity of contrast agent accumulation (TTP, sec), maximum intensity of contrast agent accumulation (PI, dB), total area under the curve (AUC), area under the CV accumulation curve (AUCi), area under the CV removal curve (AUCo) (WFUMB, EFSUMB Guidelines and Recommendations for CEUS, 2020)

Таблица 3  
**Методы инструментальной диагностики пациентов основной группы (n=118) и контрольной группы (n=48)**

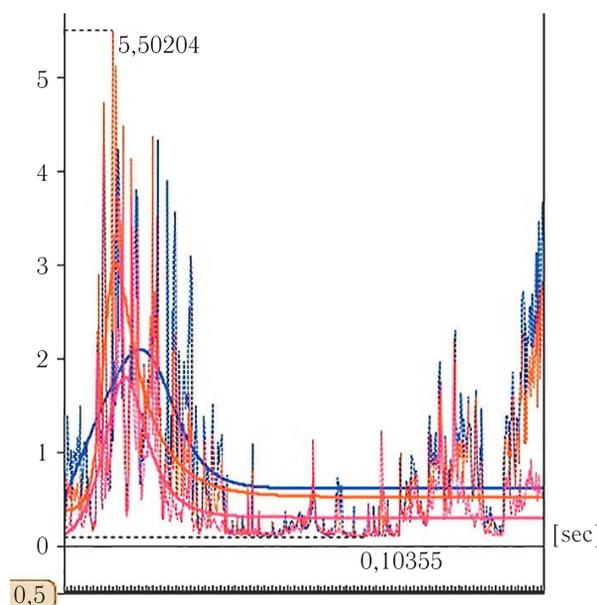
Table 3  
**Methods of instrumental diagnostics of the main group (n=118) and control group (n=48) of examined patients**

Вид исследования	Группа				Количество временных точек исследования
	основная исследуемая		контрольная исследуемая I-я		
	абс. число	%	абс. число	%	
УЗИ почек в В-режиме	118	100	48	100	8
УЗИ почек в режиме ЦДК	118	100	48	100	8
КУУЗИ правой почки	118	100	48	100	4
МСКТ с контрастным усилением (референтный метод № 1)	93	78,81	0	0	1
Динамическая нефросцинтиграфия (референтный метод № 2)	25	21,19	0	0	1

минурии, мочевой кислоты, общего белка (табл. 4; рис. 3).

В 1-й основной группе пациентов при динамическом наблюдении показатели СКФ через 48 месяцев снизились на 10,3% по сравнению с первой точкой исследования. У пациентов 2-й группы показатели

существенно не отличались за все время активного наблюдения. У пациентов 3-й группы зарегистрировано снижение СКФ на 22,2%, что подтвердилось выраженными развивающимися изменениями гемодинамики исследуемых почек. При оценке микроальбуминурии в 1-й группе наблюдались единичные значения



**Рис. 2.** Количественная оценка контраст-усиленного ультразвукового исследования почек: кривая «интенсивность–время». Время отображается в секундах по оси абсцисс, а среднее значение эхо-сигнала (относительные единицы) по шкале ординат [21]

**Fig. 2.** Kidney CEUS: Intensity–time curve. The time is displayed in seconds on the abscissa axis, and the average value of the echo signal (relative units) on the ordinate scale [21]

почка для дальнейшего проведения КУУЗИ. Если структура почек была одинаковой, то КУУЗИ проводилось на правой почке, поскольку она является более удобной для визуализации.

Далее проводилась оценка результатов ДНС у пациентов основной группы. Показателям 1-й группы было присуще отклонение от нормативных показателей. Во 2-й группе показатели  $T_{max}$  и  $T1/2$  увеличились по сравнению с 1-й группой и группой контроля. В 3-й группе данные показатели  $T_{max}$  и  $T1/2$  критически возросли по сравнению с 1-й и 2-й основными группами.

**Результаты контраст-усиленного ультразвукового исследования почек.** Всем пациентам с СД 2-го типа ( $n=118$ ) и пациентам контрольной группы ( $n=48$ ) было проведено КУУЗИ правой почки с введением 1,0 мл КВ SonoVue (Bracco Suisse S.A., Italy) с последующим анализом всех фаз (кортикальная и кортикомедуллярная) и параметров (качественные и количественные) контрастирования. После качественного анализа КУУЗИ правой почки проводился анализ кривых «интенсивность–время» для оценки количественных параметров контрастирования у пациентов контрольной группы ( $n=48$ ) по стандартизированной методике. Далее был проведен корреляционный анализ между количественными показателями и результативностью диагностики КУУЗИ и ДНС (табл. 5).

Таблица 4

**Динамика лабораторных показателей пациентов основной группы ( $n=118$ )**

Table 4

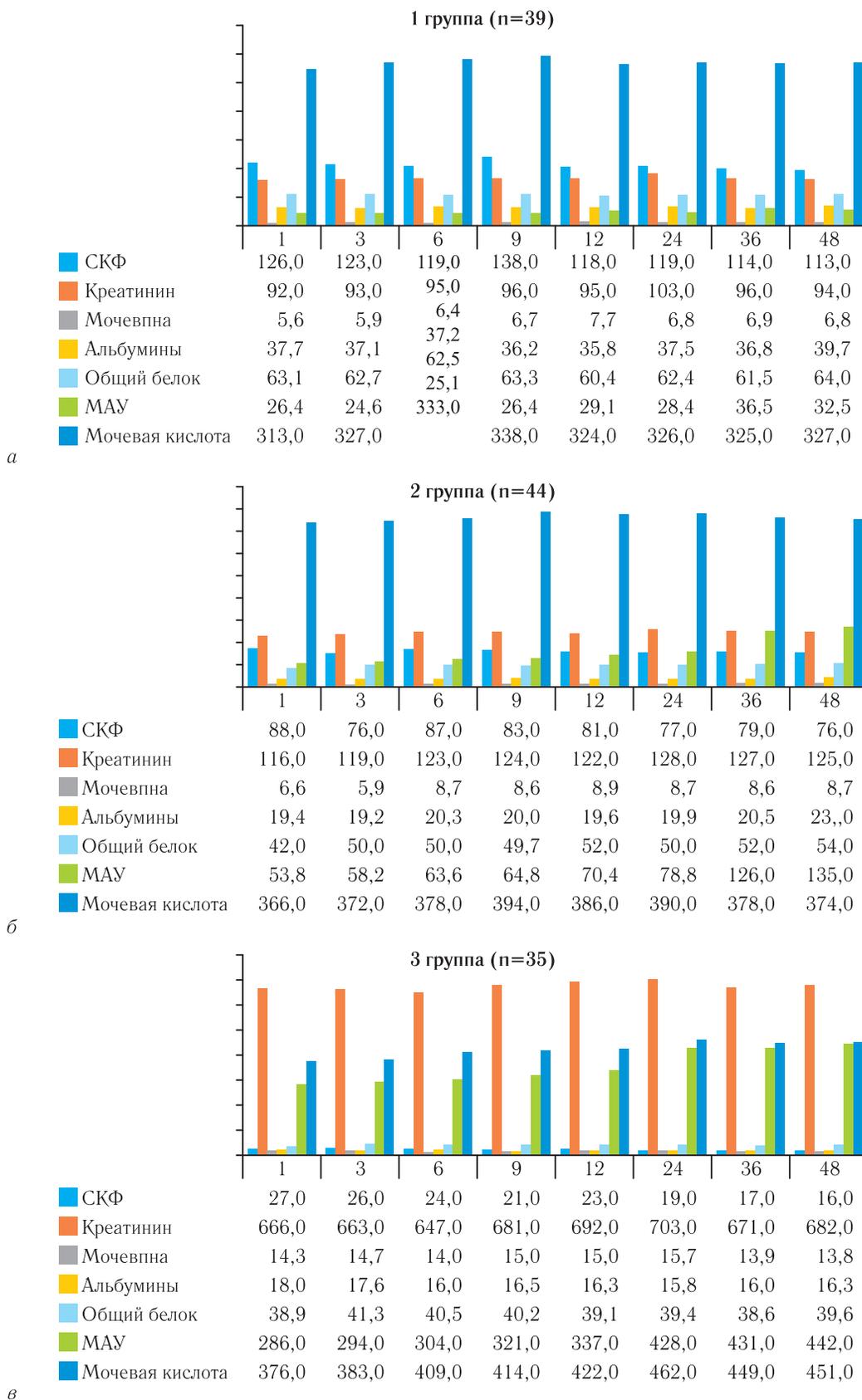
**Dynamics of laboratory parameters of patients of the main group ( $n=118$ )**

Показатель	Группа	1 мес	6 мес	9 мес	12 мес	24 мес	36 мес	48 мес
рСКФ, мл/мин	1-я	126,15±0,8	119,79±1,5	138,87±1,4	118,61±1,2	119,84±1,4	114,36±1,1	113,25±1,2
	2-я	88±0,4	87,4±1,0	83,43±1,1	81,5±0,8	77,97±0,9	79,86±0,8	76,56±0,8
	3-я	27,28±0,5	24,77±0,5	21,26±0,4	23,94±0,02	19,9±0,04	17,7±0,2	16,7±0,2
Креатинин, мкмоль/л	1-я	92,02±0,7	95,05±0,9	96±1,1	95,58±1,2	103,9±1,3	96,7±1,3	94,7±1,3
	2-я	116,68±1,4	123,4±0,5	124,9±1,3	122,4±1,2	128,6±1,4	127,31±1,1	125,37±2,1
	3-я	666,8±2,3	647,5±1,5	681,4±1,2	692,7±0,9	703,5±2,5	671,07±2,2	682,03±2,5
Микроальбуминурия, мг/сут	1-я	26,4±1,5	25,1±0,6	26,4±0,4	29,1±0,3	28,4±0,8	36,2±5,6	32,8±4,1
	2-я	53,8±1,5	63,6±0,3	64,8±1,1	70,4±0,6	78,7±1,3	126,6±0,3	135,6±1,2
	3-я	286,5±0,6	304,8±1,4	321,8±0,9	337,4±0,4	428,7±0,6	431,4±1,4	442,8±1,9

повышения показателя с тенденцией к отрицательной динамике через 48 месяцев наблюдения. В свою очередь, определялась тенденция к уменьшению во время всего исследования уровня альбуминов. Изменения лабораторных показателей биохимического анализа крови в динамике через 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48 месяцев у пациентов 1-й, 2-й и 3-й основной исследуемой группы представлены на рис. 3.

Следующим этапом диагностического алгоритма была оценка размеров и структуры обеих почек в В-режиме. Результаты интратрениального кровотока интерпретировались у пациентов основной исследуемой группы при помощи шкалы M. Bertolotto. По результатам исследования обеих почек в В-режиме и режиме ЦДК выбиралась наиболее измененная

В результате полученных качественных и количественных результатов КУУЗИ было выявлено, что пациенты 2-й и 3-й групп достигают PI быстрее, чем пациенты 1-й основной и контрольной групп. Наиболее лабильными оказались такие количественные показатели, как время достижения максимальной интенсивности КВ (ТАО). Наибольшей точностью отмечена площадь под кривой накопления КВ (AUCi), площадь под кривой выведения КВ (AUCo), общая площадь под кривой (AUC). Показатели AUC и AUCo в контрольной группе значимо не отличались. AUCo значительно увеличен у пациентов 1-й группы по сравнению со 2-й и 3-й группами, следовательно, он мог являться главным показателем, определяющим развитие хронической



**Рис. 3.** Изменение лабораторных показателей биохимического анализа крови в динамике через 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48 месяцев у пациентов 1-й (а), 2-й (б) и 3-й (в) основных исследуемых групп

**Fig. 3.** Changes in laboratory parameters of biochemical blood tests over time after 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48 months in patients of the 1<sup>st</sup> (a), 2<sup>nd</sup> (b) and 3<sup>rd</sup> (c) main study groups

болезни почек. В зависимости от степени поражения коркового вещества почки установлено, что наибольшие изменения количественных и качественных параметров КУУЗИ были выявлены

Таблица 5  
Корреляция между определением количественного показателя и результативностью диагностики с помощью контраст-усиленного ультразвукового исследования почек и динамической нефросцинтиграфии

Correlation between measurement and performance diagnostics of CEUS and NGI		Значения
ТАО	<b>Корреляция Пирсона</b> Знач. (двусторонняя)	<b>0,811*</b> 0,033
ТТР	Корреляция Пирсона Знач. (двусторонняя)	<b>0,819</b> 0,314
RT	Корреляция Пирсона Знач. (двусторонняя)	0,573 0,163
FT	Корреляция Пирсона Знач. (двусторонняя)	0,357 0,274
mTPI	Корреляция Пирсона Знач. (двусторонняя)	0,482 0,114
HTWi	Корреляция Пирсона Знач. (двусторонняя)	0,511* 0,033
PI	<b>Корреляция Пирсона</b> Знач. (двусторонняя)	<b>0,819</b> 0,714
HTWo	Корреляция Пирсона Знач. (двусторонняя)	0,539 0,163
AUCi	<b>Корреляция Пирсона</b> Знач. (двусторонняя)	<b>0,957</b> 0,274
AUCo	<b>Корреляция Пирсона</b> Знач. (двусторонняя)	<b>0,982</b> 0,114
AUC	<b>Корреляция Пирсона</b> Знач. (двусторонняя)	<b>0,911*</b> 0,033

на стадии клинической нефропатии и терминальной стадией ХБП. У пациентов со стадией III (начинающаяся нефропатия) наблюдались более выраженные данные, чем у пациентов контрольной группы, без патологии почек или пациентов с доклинической стадией (I–II стадия) — рис. 4.

По данным количественных параметров КУУЗИ были определены значения для прогнозирования дальнейшей клинической картины заболевания (табл. 6).

Высоким прогностическим признаком при анализе количественных параметров КУУЗИ являлись показатели разницы параметров  $\Delta PI$ ,  $\Delta AUC$ ,  $\Delta AUCi$ ,  $\Delta AUCo$  субкапсулярных отделов (точка A5) и срединных отделов (точка A4) коркового слоя почки. Данный факт объяснялся изменчивостью почечного кровотока персонализировано у каждого больного. Эта причина была одним из главных факторов в диагностике диабетической и хронической болезней почек по данным количественных показателей КУУЗИ. Поскольку течение СД 2-го типа не всегда сопровождалось выраженными клиническими формами, прогностическая ценность КУУЗИ заключалась в выявлении нарушений микроциркуляции коркового слоя почки, что помогло вовремя скорректировать план терапевтического лечения,

а также отсрочить развитие ХБП. Так, при оценке разницы количественного параметра  $\Delta AUC$  КУУЗИ — площадь выведения контрастного вещества под кривой «интенсивность-время» в точках A4 и A5 для диагностики оценки перфузии коркового слоя почки по данным ROC-анализа были получены результаты, соответствующие отличному качеству прогностической модели: в 1-й день исследования  $AUC=0,9166$ , через 6 месяцев  $AUC=0,9173$ , через 12 месяцев  $AUC=0,9201$ , через 24 месяца  $AUC=0,9388$ , через 48 месяцев  $AUC=0,9592$  и был выделен оптимальный порог отсечения перехода фиброза в цирроз, равный 1385 дБ/сек (рис. 5).

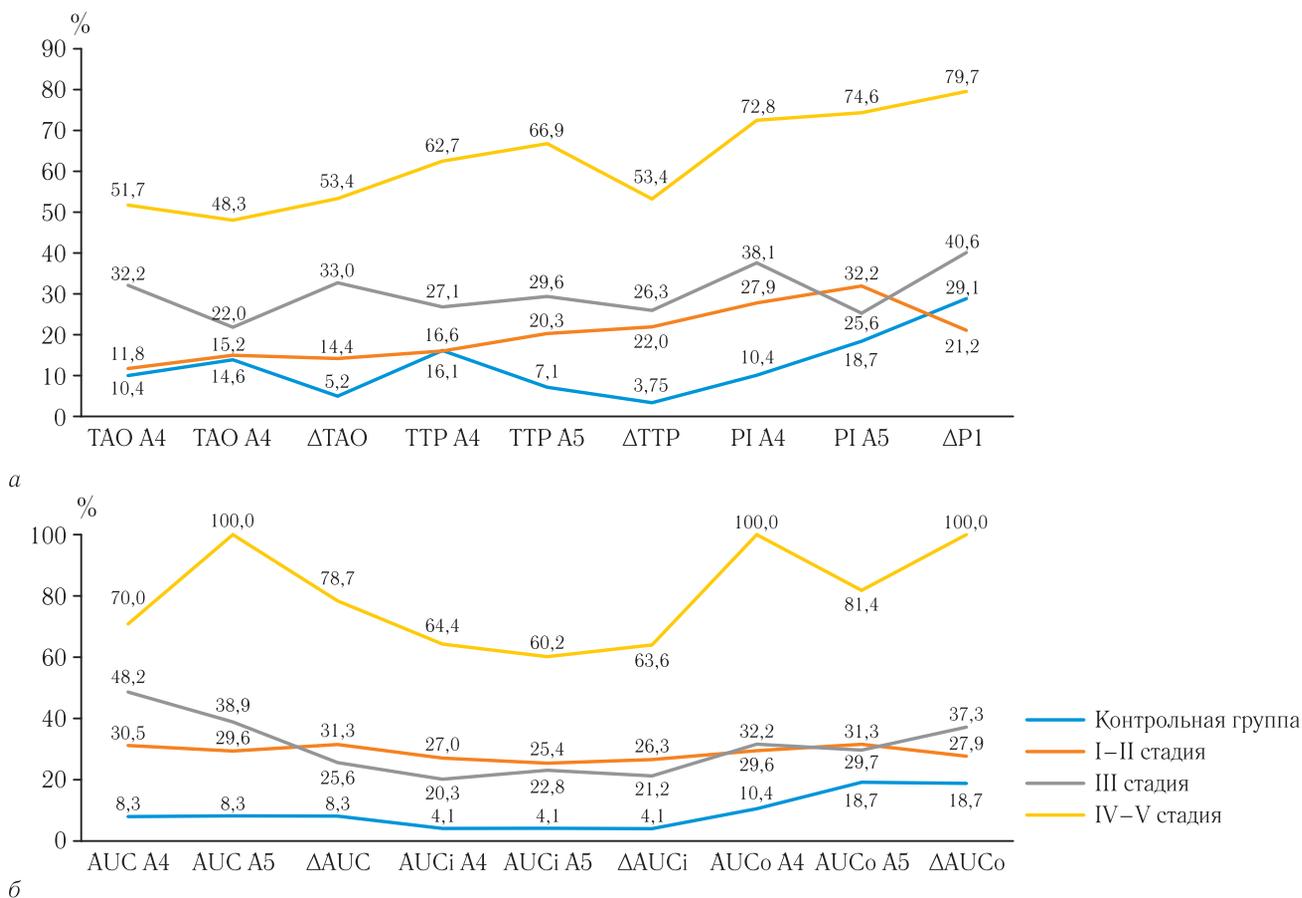
Таблица 6  
Прогноз развития хронической болезни почек по количественным данным контраст-усиленного ультразвукового исследования почек

Table 6  
Prognosis of the development of chronic kidney disease according to quantitative data from contrast-enhanced ultrasound examination of the kidneys

Количественные параметры КУУЗИ	Благоприятный прогноз	Неблагоприятный прогноз
$\Delta TA0$	<10	>10
$\Delta TTR$ , сек	>15	<15
$\Delta PI$ , дБ	>80	<80
$\Delta AUCi$ , дБ/сек	>1500	<1500
$\Delta AUCo$ , дБ/сек	>1700	<1700
$\Delta AUC$ , дБ/сек	>3500	<3500

Проведен сравнительный анализ эффективности таких диагностических методов, как МСКТ, ДНС, биопсии, мультипараметрического УЗИ, КУУЗИ. При определении достоверности различий получены следующие доверительные интервалы (табл. 7).

В процессе работы были установлены пороговые значения количественных параметров КУУЗИ, указывающие на степень развития диабетической болезни почек с возможным переходом в хроническую болезнь почек. Оценка проведения и анализа количественных параметров КУУЗИ почек заключалась в изменении параметров в процессе статистической обработки количественных параметров КУУЗИ в 8 точках (A1, A2, A3, A4, A5 — по ходу артериального русла и B1, B2, B3 — по ходу венозного русла) была доказана статистическая значимость результативности данных в точках A4 и A5. В результате определения разницы ( $\Delta$ ) показателей делались выводы о наличии или отсутствии патологического процесса в исследуемом органе. При проведении количественного анализа наблюдалось увеличение  $\Delta AUCi$ ,  $\Delta TA0$ ,  $\Delta TTR$ ,  $\Delta AUC$ ,  $\Delta AUCo$ ,  $\Delta AUCi$  у пациентов 1-й группы. Во 2-й группе наблюдалось снижение показателей  $\Delta AUC$ ,  $\Delta AUCo$ ,  $\Delta AUCi$ , что указывало на снижение почечной перфузии. Согласно нашим результатам уровень  $AUCo$  у пациентов с СД 2-го типа 1-й группы был значи-



**Рис. 4. (а, б).** Изменения количественных параметров КУУЗИ в зависимости от классификации диабетической нефропатии (Mogensen, 1983)  
**Fig. 4. (a, b).** Changes in quantitative CEUS parameters depending on the classification of diabetic nephropathy (Mogensen, 1983)

Таблица 7  
Table 7

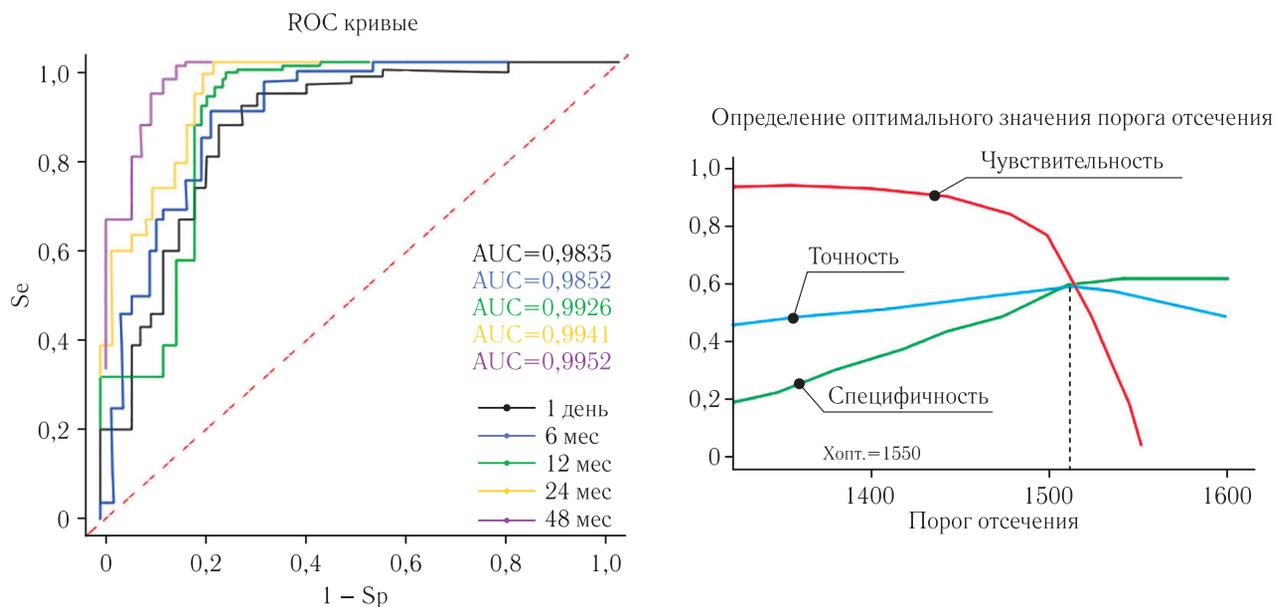
**Результаты диагностической эффективности диагностических методик в диагностике ангионепросклероза**  
**Results of the diagnostic effectiveness of diagnostic techniques in the diagnosis of angioneurosis**

Группы	Ангионепросклероз (n=118)		
	чувствительность (%)	специфичность (%)	точность (%)
МСКТ с контрастным усилением	91,86 (82,4–95,3)	86,28 (81,2–91,5)	88,55 (81,2–89,9)
ДНС	84,29 (75,7–87,5)	66,69 (62,1–69,9)	75,82 (71,4–79,6)
УЗИ	71,49 (67,4–76,9)	31,42 (14,4–44,7)	52,35 (43,8–55,8)
ЦДК	78,76 (73,6–82,3)	33,84 (15,8–49,6)	54,71 (46,2–62,4)
КУУЗИ	90,28 (81,4–93,5)	84,51 (80,3–90,3)	87,84 (83,9–89,1)

Примечание: в скобках показаны 95% доверительные интервалы по методу Уилсона.  
 Note: Wilson's 95% confidence intervals are shown in parentheses.

тельно выше, чем у пациентов с диабетической болезнью почек 2-й группы и 3-й группы ( $p < 0,05$ ). Наблюдалась четкая тенденция к снижению показателей ΔPI во 2–3 группах ( $p < 0,05$ ). Эти результаты показали, что ΔAUCo может быть чувствительным маркером и способен отличить пациентов от пациентов в стадии суб- и декомпенсации. Количественные параметры КУУЗИ позволили прогнозировать клиническое течение диабетического ангионепросклероза и ХБП. В результате нашей

работы было выявлено, что пациенты 2-й и 3-й групп достигают ΔPI быстрее, чем пациенты 1-й и контрольной групп. Наибольшей точностью прогнозирования являются параметры ΔAUCi, ΔAUCo, ΔAUC и ΔPI. В зависимости от степени поражения коркового слоя почки установлено, что наибольшие изменения количественных и качественных параметров КУУЗИ наблюдались у пациентов с СД 2-го типа с выраженным диабетическим ангионепросклерозом в стадии декомпенсации.



**Рис. 5.** Динамика качества диагностического прогноза для  $\langle D \rangle AUC$  в зависимости от площади под ROC-кривой и определения оптимального порога отсеечения

**Fig. 5.** Dynamics of the quality of diagnostic prediction for  $\langle D \rangle AUC$  depending on the area under the ROC curve and determining the optimal cutoff threshold

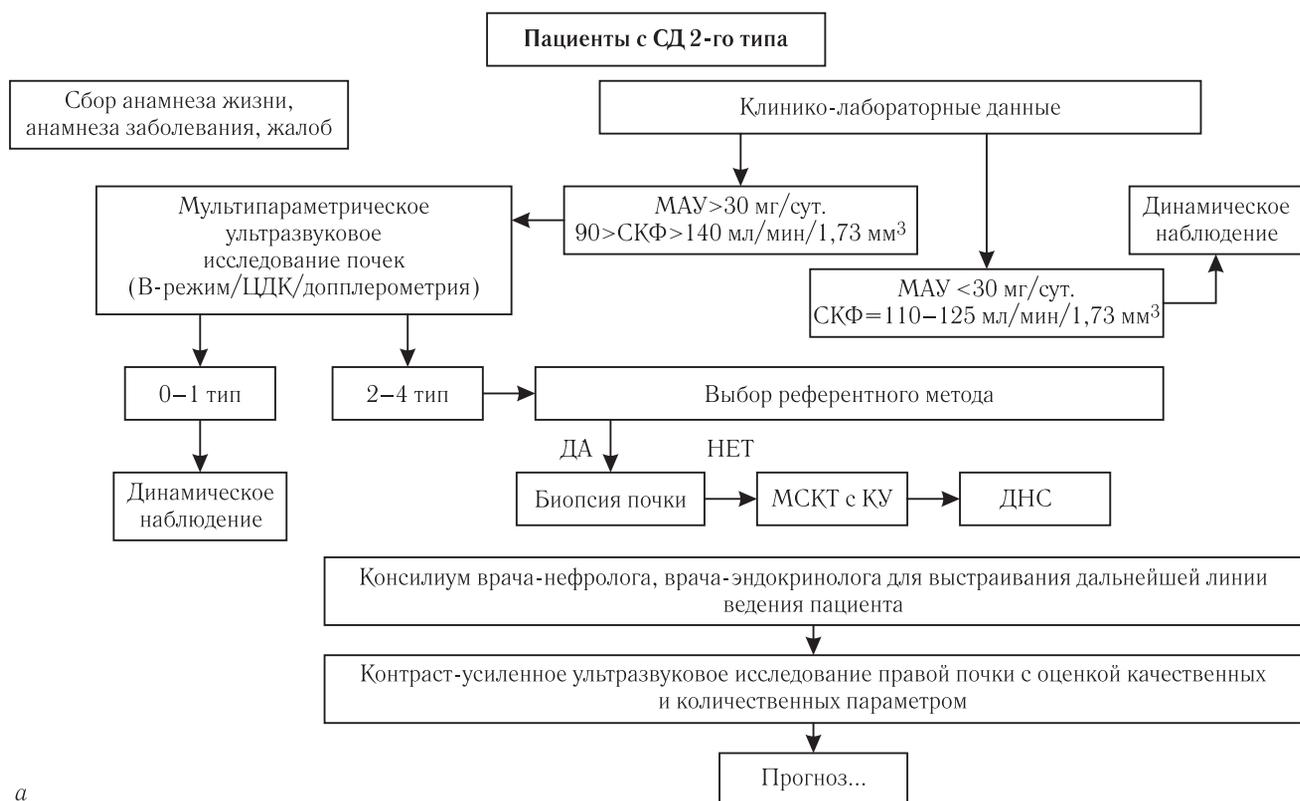
Усовершенствован диагностический алгоритм для пациентов с диабетической болезнью почек, включающий в себя оценку качественных и количественных параметров КУУЗИ почки для неинвазивной диагностики состояния органа на ранних стадиях развития патологического процесса с выделением факторов неблагоприятного прогноза (рис. 6).

**Обсуждение.** Большая роль в оценке констатации и динамического наблюдения диабетической болезни почек отводится клиничко-лабораторным и инструментальным методам исследования.

Мы согласны с авторами Л. А. Суплотовой, А. С. Судницыной, Н. В. Романовой и т.д. (2021) [22] в вопросе диагностики диабетической болезни почек, главным образом, базирующимся на клиничко-лабораторных данных, а именно показателях альбумина в моче, общего анализа крови, уровне креатинина с подсчетом скорости клубочковой фильтрации, показателях гликированного гемоглобина, электролитного баланса, показателях липидного спектра, а также необходимости прижизненно-морфологического исследования ткани почек. Однако в результате полученных нами показателей опросника на предмет комплаентности пациентов к инвазивным диагностическим вмешательствам у пациентов без клинических проявлений или слабо выраженных изменений функций почек процент комплаентности составил 0%, у пациентов с умеренно выраженными изменениями функции почек — 2,1%, у пациентов с выраженными изменениями — 8,3%. Данные результаты подтвердили наше мнение о важности расширения и внедрения в практическую медицину неинвазивные методики диагностики интратенального кровотока. Современными многообещающими доступными

методами исследования в оценке перфузии почек являются магнитно-резонансная томография, компьютерная томография, динамическая нефросцинтиграфия. Наши диагностические подходы согласуются с представленными в работах S. Gallo-Bernal, N. Patino-Jaramillo и соавт. (2022) [2] и H. S. Thomsen, S. K. Morcos и соавт. (2013) в отношении ограничений в использовании КТ, как одного из вариантов инструментального метода исследования в оценке почечного кровотока, ввиду возможности развития нефрогенного системного фиброза и постконтрастного острого повреждения почек [10].

Мы разделяем видение проблемы в ограничении использования рентгенологических и радионуклидных методов визуализации у пациентов с ХБП ввиду мониторинга динамики прогрессирования заболевания за счет ионизирующего излучения с группой авторов Y. Zhao, R. Zhang и соавт. (2022) [23]. Мнение экспертов Европейского общества урогенитальной радиологии по безопасному применению контрастных средств (ESUR Guidelines on Contrast Agent European Society of Urogenital Radiology) [19, 24–26] совпадают с направлением нашего исследования в оценке риска развития острых аллергоподобных и хемотоксических реакций, связанный с применением контрастных средств, как для йодсодержащих, так и для гадолиниевых контрастных средств. Ввиду наличия риска развития тиреотоксикоза, как очень поздней побочной реакции на йодсодержащие контрастные препараты, рекомендуется не применять йодсодержащие контрастные средства у пациентов с нарушением функцией щитовидной железы. Связь между НСФ и гадолиниевыми контрастными средствами статистически подтверждается до 18% у пациентов



а

Благоприятный прогноз		Сомнительный прогноз		Неблагоприятный прогноз	
ТАО – А4, сек	8–12	ТАО – А4, сек	12–17	ТАО – А4, сек	>17
ТАО – А5, сек	9–14	ТАО – А5, сек	14–19	ТАО – А5, сек	>19
ТТР – А4, сек	>20	ТТР – А4, сек	20–15	ТТР – А4, сек	<15
ТТР – А5, сек	>20	ТТР – А5, сек	19–13	ТТР – А5, сек	<13
PI – А4, дБ	>80	PI – А4, дБ	80–60	PI – А4, дБ	<60
PL – А5, дБ	>70	PL – А5, дБ	80–70	PL – А5, дБ	<70
AUCi – А4, дБ/сек	>1700	AUCi – А4, дБ/сек	1700–1500	AUCi – А4, дБ/сек	<1500
AUCi – А5, дБ/сек	>1750	AUCi – А5, дБ/сек	1750–1400	AUCi – А5, дБ/сек	<1400
AUCo – А4, дБ/сек	>4500	AUCo – А4, дБ/сек	1700–1500	AUCo – А4, дБ/сек	<1500
AUCo – А5, дБ/сек	>4550	AUCo – А5, дБ/сек	1750–1500	AUCo – А5, дБ/сек	<1500
AUC – А4, дБ/сек	>6000	AUC – А4, дБ/сек	6000–3500	AUC – А4, дБ/сек	<3500
AUC – А5, дБ/сек	>6050	AUC – А5, дБ/сек	6000–3700	AUC – А5, дБ/сек	<3700

**Врачебный консилиум по результатам клинико-лабораторного и инструментального обследования, стратегия дальнейшего лечения**

(Клинические рекомендации Сахарный диабет 2-го типа у взрослых (2022 год: Стандарт специализированной медицинской помощи при хронической болезни почек 5 стадии в преддиализном периоде, при госпитализации с целью подготовки к заместительной почечной терапии № 1268н от 20.12.2012)

б

Рис. 6. а — Усовершенствованный мультимодальный диагностический алгоритм обследования пациентов с сахарным диабетом 2-го типа; б — прогностические значения количественных показателей КУУЗИ

Fig. 6. а — Improved multimodal diagnostic algorithm for examining patients with type 2 diabetes; б — prognostic values of quantitative indicators of CEUS

с тяжелыми нарушениями функции почек при применении гадодиамида.

Мы руководствовались при формировании дизайна настоящего исследования мнением авторов Европейского общества урогенитальной радиологии 10,0 (2018) [19, 20], что не всегда лабораторные анализы, такие как креатинин плазмы или креатинин сыворотки крови является приемлемым индикатором для констатации снижения функции почек при проведении лучевых методов диагностики с контрастным

усилением. При применении йодсодержащих контрастных препаратов остаются риски развития ПК-ОПП, при проведении исследования пациентам со  $rСКФ < 45$  мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> при внутриаартериальном введении йодсодержащего контрастного средства, либо при  $rСКФ < 30$  мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> при планируемом внутривенном введении йодсодержащего контрастного средства. Для пациентов с повышенным риском, а именно с СД 2-го типа для плановых исследований с приведением йодсодержащих контрастных

средств рекомендуется рассмотреть возможность применения альтернативного метода лучевой диагностики, что является важным моментом в формировании диагностического алгоритма ведения больных с диабетическим ангионеврозом [24]. В свою очередь, члены ESUR подтверждают безопасность применения ультразвуковых контрастных веществ у пациентов без регистрации умеренных и тяжелых побочных реакций. За все время нашего обследования (2020–2023 гг.) не было выявлено ни одного случая острых (легкой, умеренно или тяжелой степени), поздних или очень поздних побочных реакций ни у одного из исследуемых пациентов, что подтверждает правильность вектора нашего исследования.

Таким образом, контраст-усиленное ультразвуковое исследование в настоящее время является информативным дополнением к стандартному диагностическому алгоритму оценки гемодинамики почек у пациентов с СД 2-го типа различного клинического течения либо вариантом выбора при невозможности применить иные лучевые методы исследования, в том числе КТ или МРТ.

#### Выводы.

1. Выявлены показатели порогов отсечения ( $r=0,94$ ) количественных параметров КУУЗИ правой почки, которые указывают на неблагоприятное течение клинического процесса основного клинического заболевания, проявляющиеся в виде уменьшения максимальной интенсивности накопления контрастного средства (76,3 дБ), увеличения площади под кривой «интенсивность-время» выведения контрастного средства ( $\Delta AUC_{Co}$  — 1550 дБ/сек), а также увеличения площади под кривой «интенсивность-время» накопления и выведения контрастного средства ( $\Delta AUC$  — 1385 дБ/сек).

2. По результатам корреляционного анализа выявлена высокая корреляционная связь между количественными показателями КУУЗИ (PI,  $AUC_{Co}$ , AUC) и клинико-лабораторными данными (pСКФ, микроальбуминурия, креатинин); в 1-й группе  $r$  до 0,739, во 2-й группе  $r$  до 0,692, в 3-й группе  $r$  до 0,794.

3. Получена оценка эффективности контраст-усиленного ультразвукового исследования с определени-

ем прогностического значения клинического мониторинга процесса заболевания в виде разницы количественных показателей в точках А4 (по ходу дуговых артерий) и А5 (по ходу междольковых артерий): неблагоприятный прогноз при  $\Delta TOA >10$  сек,  $\Delta TTP <15$  сек,  $\Delta PI <80$  дБ,  $\Delta AUC <3500$  дБ/сек,  $\Delta AUC_i <1500$  дБ/сек,  $\Delta AUC_{Co} <1700$  дБ/сек.

4. Разработан расчет показателей контраст-усиленного ультразвукового исследования почек для диагностики диабетического ангионевроза различного клинического течения: начальные изменения ( $\Delta AUC$  6010,5 [5095,6; 6101,5],  $\Delta AUC_{Co}$  4258,1 [4226,4; 4281,5],  $\Delta AUC_i$  1675,4 [1514,8; 1693,5]), субкомпенсированная нефропатия ( $\Delta AUC$  5255 [4955; 5960],  $\Delta AUC_{Co}$  1665 [1338,5; 1653,8],  $\Delta AUC_i$  1599 [1584,8; 1621]), терминальная нефропатия ( $\Delta AUC$  3835,6 [3821,4; 3957,3],  $\Delta AUC_{Co}$  1955,5 [1942,6; 1975,8],  $\Delta AUC_i$  1620,7 [1593,5; 1655,8]).

5. Разработано усовершенствование диагностического алгоритма обследования больных с СД 2-го типа с различным клиническим течением на основе полученных параметров КУУЗИ правой почки с возможностью прогнозирования неблагоприятного течения заболевания и коррекцией медикаментозного лечения согласно Общероссийским клиническим рекомендациям по лечению и диагностике сахарного диабета.

**Заключение.** В отличие от КТ и МРТ КУУЗИ не является нефротоксичным, что позволяет его использовать у пациентов со сниженной функцией почек, в том числе для многократного динамического мониторинга. Это актуально для пациентов с СД 2-го типа, поскольку по мере прогрессирования заболевания, важно оценить доклинические признаки развития диабетического ангионевроза, а именно, интратенальный кровоток. Использование КУУЗИ в комплексном диагностическом алгоритме диабетической болезни почек позволяет выявить доклинические изменения диабетического ангионевроза. Таким образом, КУУЗИ является надежным и безопасным методом диагностики патологии почек, позволяющий прогнозировать клиническое течение основного заболевания.

#### Сведения об авторах:

*Горбатенко Ольга Александровна* — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 214019, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28; e-mail: o.gorbatenkon@gmail.com; ORCID 0000–0002–8820–7713;

*Борсуков Алексей Васильевич* — доктор медицинских наук, профессор, директор Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 214019, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28; e-mail: bor55@yandex.ru; ORCID 0000–0003–4047–7252.

#### Author information:

*Olga A. Gorbatenko* — Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher Scientist, Fundamental Research Laboratory «Diagnostic research and minimally invasive techniques», Smolensk State Medical University of Fundamental research laboratory «Diagnostic researches and minimally invasive technologies», Smolensk State Medical University, the Ministry of Health of the Russian Federation; 214019, Smolensk, Krupskaya str., 28; e-mail: o.gorbatenkon@gmail.com; ORCID 0000–0002–8820–7713;

Alexey V. Borsukov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, the Head of Fundamental research laboratory «Diagnostic researches and minimally invasive technologies», Smolensk State Medical University, the Ministry of Health of the Russian Federation, 214019, Smolensk, Krupskaya str., 28; e-mail: bor55@yandex.ru; ORCID 0000-0003-4047-7252.

**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. В. Борсуков*; сбор и математический анализ данных — *О. А. Горбатенко*; подготовка рукописи — *О. А. Горбатенко*.

**Author's contribution to the preparation of the article.** Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *AVB* aided in the concept and plan of the study; *OAG* provided collection and mathematical analysis of data; *OAG* 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 одобрено этическим комитетом ОГБУЗ «Клиническая больница № 1» № 29 от 16.02.2019 г., информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards:** The study was approved by the Ethics committee of state Budgetary Healthcare Institution «Clinical Hospital No. 1» No. 29 dated 02/16/2019, informed consent was received from each patient.

Поступила/Received: 28.12.2023

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

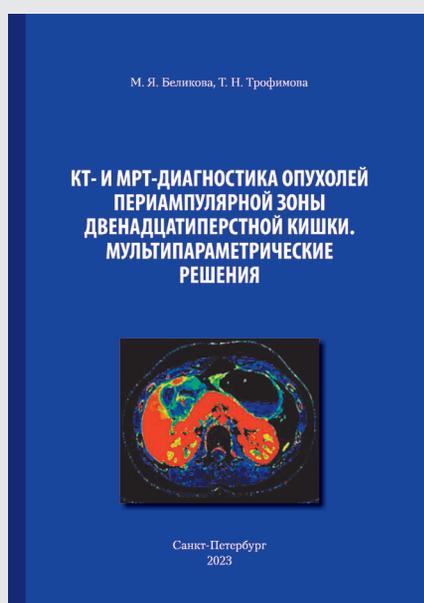
Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Жилинская Т.Р., Столяревич Е.С., Томлина Н.А. Поражение почек при сахарном диабете 2 типа: клинико-морфологические корреляции и показания к биопсии // *Нефрология и диализ*. 2016. № 3. С. 273–281 [Zhilinskaya T.R., Stolyarevich E.S., Tomlina N.A. Kidney damage in type 2 diabetes mellitus: clinical and morphological correlations and indications for biopsy. *Nephrology and dialysis*, 2016, No. 3, pp. 273–281 (In Russ.)].
2. Шестакова Е.А., Шестакова М.В., Лунина Е.Ю., Галстян Г.Р. и др. Распространенность нарушений углеводного обмена у лиц с различными сочетаниями факторов риска сахарного диабета 2 типа в когорте пациентов исследования NATION // *Сахарный диабет*. 2020. Т. 23, № 1. С. 4–11 [Shestakova E.A., Shestakova M.V., Lunina E.Yu., Galstyan G.R. et al. Prevalence of carbohydrate metabolism disorders in individuals with various combinations of risk factors for type 2 diabetes mellitus in the cohort of patients from the NATION study. *Diabetes mellitus*, 2020, Vol. 23, No. 1, pp. 4–11 (In Russ.)] <https://doi.org/10.14341/DM12286>.
3. Han B.H., Park S.B. Usefulness of Contrast-enhanced Ultrasound in the Evaluation of Chronic Kidney Disease // *Current Medical Imaging*. 2021. V. 17, No. 8. P. 1003–1009. doi: 10.2174/1573405617666210127101926.
4. Jeong S., Park S.B., Kim S.H., Hwang J.H., Shin J. Clinical significance of contrast-enhanced ultrasound in chronic kidney disease: a pilot study // *J. Ultrasound*. 2019. Vol. 22, No. 4. P. 453–460. doi: 10.1007/s40477-019-00409-x.
5. Saeedi P., Petersohn I., Salpea P. et al. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas // *Diabetes research and clinical practice*. 2019. Vol. 157. P. 107843. doi: 10.1016/j.diabres.2019.107843
6. Albrecht T., Blomley M., Bolondi L. et al. Guidelines for the Use of Contrast Agents in Ultrasound // *Ultraschall Med*. 2004. Vol. 25. P. 249–256.
7. Meola M., Samoni S., Petrucci I. Imaging in chronic kidney disease // *Contrib. Nephrol*. 2016. Vol. 188. P. 69–80.
8. Rubin J.M., Bude R.O., Carson P.L. et al. Power Doppler US: a potentially useful alternative to mean frequency based color Doppler US // *Radiology*. 1994. Vol. 190. P. 853–856.
9. Кадырлеев Р.А., Багненко С.С., Бусько Е.А. и др. Возможности мультипараметрического ультразвукового исследования в диагностике кистозных образований почек // *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2021. № 4, Т. 3. С. 35–43. [Kadyrleev R.A., Bagnenko S.S., Busko E.A. et al. Possibilities of multiparametric ultrasound in the diagnosis of cystic formations of the kidneys. *Oncological journal: radiation diagnostics, radiation therapy*, 2021, Vol. 4, No 3, pp. 35–43 (In Russ.)], <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2021-4-3-35-43>.
10. Thomsen H.S. et al. ESUR Contrast Media Safety Committee. ESUR guideline: gadolinium-based contrast media and nephrogenic systemic fibrosis // *Eur. Radiol*. 2007. Vol. 17. P. 2692–2696.
11. Kazmierski B., Deurdulian C., Tchelepi H., Grant E.G. Applications of contrast-enhanced ultrasound in the kidney // *Abdom Radiol (NY)*. 2018. Vol. 43, No. 4. P. 880–898. doi: 10.1007/s00261-017-1307-0.
12. Борсуков А.В., Горбатенко О.А. Стандартизация методики контраст-усиленного ультразвукового исследования почек у пациентов с сахарным диабетом 2 типа // *Медицинская визуализация*. 2021. Т. 25, № 3. С. 50–65. [Borsukov A.V., Gorbatenko O.A. Standardization of the technique of contrast-enhanced ultrasound examination of kidneys in patients with type 2 diabetes mellitus. *Medical visualization*, 2021, Vol. 25, No. 3, pp. 50–65 (In Russ.)], <https://doi.org/10.24835/1607-0763-978>.
13. Сухова Б.М., Трофимова Т.Н. Мультипараметрическая компьютерная томография артериовенозных конфликтов верхнего уровня (брюшная полость и забрюшинное пространство) // *Лучевая диагностика и терапия*. 2022. Т. 13, № 1. С. 51–57. [Sukhova B.M., Trofimova T.N. Multiparametric computed tomography of arteriovenous conflicts of the upper level (abdominal cavity and retroperitoneal space). *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2022, Vol. 13, No. 1, pp. 51–57 (In Russ.)], <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-1-51-57>.
14. Швецов М. Возможности современных лучевых методов диагностики заболеваний почек // *Врач*. 2005. № 6. С. 45–52. [Shvetsov M. The possibilities of modern radiation methods for diagnosing kidney diseases. *Doctor*, 2005, No. 6, pp. 45–52 (In Russ.)].
15. Inoue T, Kozava E., Okada H. et al. Noninvasive evaluation of kidney hypoxia and fibrosis using magnetic resonance imaging // *Journal of the American Society of Nephrology*. 2011. Vol. 22. No. 8. P. 1429–1434

16. Han B.H., Park S.B. Usefulness of Contrast-enhanced Ultrasound in the Evaluation of Chronic Kidney Disease // *Curr. Med. Imaging*. 2021. Vol. 17, No. 8. P. 1003–1009. doi: 10.2174/1573405617666210127101926.
17. Shah P.M., Nanda N.C., Schlieff R. et al. Contrast echocardiography — a historical perspective // *Advances in Echo Imaging Using Contrast Enhancement*. 1993. P. 405.
18. Bertolotto M., Quaia E., Galli G. et al. Color Doppler sonographic appearance of renal perforating vessels in subjects with normal and impaired renal function // *Journal of Clinical Ultrasound*. 2000. Vol. 28, No. 6. P. 267–276.
19. Ignee A., Atkinson N.S., Schuessler G. et al. Ultrasound contrast agent // *Endosc. Ultrasound*. 2016. Vol. 5, No. 6. P. 355–362.
20. Jenssen C., Gilja O.H., Serra A.L. et al. European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology (EFSUMB) Policy Document Development Strategy — Clinical Practice Guidelines, Position Statements and Technological Reviews // *Ultrasound Int Open*. 2019. Vol. 5, P. 2–10, doi: 10.1055/a-0770-3965.
21. Sidhu P.S., Cantisani V., Dietrich C.F. et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) in Non-Hepatic Applications: Update 2017 (Long Version) // *Ultraschall Med*. 2018. Vol. 39, No. 2. P. e2-e44, doi: 10.1055/a-0586-1107.
22. Суплотова Л.А., Судницына А.С., Романова Н.В. и др. Время нахождения в целевом диапазоне гликемии — инструмент оценки качества гликемического контроля при сахарном диабете // *Сахарный диабет*. 2021. № 3. С. 282–290. [Suplotova L.A., Sudnitsyna A.S., Romanova N.V. et al. Time spent in the target glycemic range is a tool for assessing the quality of glycemic control in diabetes mellitus. *Diabetes mellitus*, 2021, No. 3, pp. 282–290 (In Russ.)].
23. Zhao Y., Zhang R., Wang Y. et al. Comparison of the Application Value for Diagnosis of Chronic Kidney Disease between Color Doppler Flow Quantification Technique and Computed Tomography // *Contrast Media Mol. Imaging*. 2022. Vol. 6485273, doi: 10.1155/2022/6485273.
24. Шимановский Н.Л. Актуальные вопросы рационального применения йодсодержащих контрастных средств в лучевой диагностике // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021. Т. 102, № 4. С. 255–262. [Shimanovsky N.L. Current issues of rational use of iodine-containing contrast agents in radiology diagnostics. *Journal of Radiology and Radiology*, 2021, Vol. 102, No. 4, pp. 255–262 (In Russ.)], <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-4-255-262>.
25. Ямщиков О.Н., Емельянова Н.В., Загороднова Д.С. Современные методы лучевой диагностики новообразований почки (обзор литературы) // *Медицина и физическая культура: наука и практика*. 2021. Т. 9, № 3. С. 14–22. [Yamshchikov O.N., Emelyanova N.V., Zagorodnova D.S. Modern methods of radiological diagnosis of kidney tumors (literature review). *Medicine and physical culture: science and practice*, 2021, Vol. 9, No. 3, pp. 14–22 (In Russ.)], doi: 10.20310/2658-7688-2021-3-1(9)-14-22.
26. Thomsen H.S., Morcos S.K., Almén T. et al. Safety Committee of European Society of Urogenital Radiology (ESUR). Nephrogenic Systemic Fibrosis and Gadolinium-based Contrast Media: Updated ESUR Contrast Medium Safety Committee Guidelines // *Eur. Radiol*. 2013. Vol. 23. P. 307–318.

## БИБЛИОТЕКА ЖУРНАЛА «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ»



Монография «КТ- и МРТ-диагностика опухолей периапулярной зоны двенадцатиперстной кишки. Мультипараметрические решения» предназначена для врачей лучевой диагностики, абдоминальных хирургов и гастроэнтерологов. В книге освещены вопросы современной мультимодальной диагностики с применением мультипараметрического картирования в выявлении опухолей периапулярной зоны, подробно описаны методики КТ-перфузии и МР-эластографии поджелудочной железы и периапулярной зоны, с помощью богатого иллюстративного материала продемонстрированы их возможности в предоперационном стадировании, дифференциальной диагностике воспалительных и опухолевых заболеваний периапулярной зоны, прогнозировании и своевременном выявлении постоперационных осложнений.

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

## КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ / CLINICAL CASE

УДК 616.381-006.325.04-08

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-112-117>ДИНАМИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ПСЕВДОМИКСОМЫ БРЮШИНЫ:  
КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ<sup>1</sup>Н. Р. Обединская<sup>ORCID</sup>, <sup>1,2</sup>О. Б. Богомякова<sup>ORCID</sup>, <sup>2</sup>Д. Ю. Зубарева<sup>ORCID</sup>\*, <sup>1,2</sup>А. А. Тулупов<sup>ORCID</sup><sup>1</sup>Международный томографический центр, г. Новосибирск, Россия<sup>2</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Псевдомиксома брюшины (ПМБ) является редкой патологией, без специфической клинической симптоматики, преимущественно с бессимптомным течением на ранних стадиях, что затрудняет постановку диагноза, приводит к обширным оперативным вмешательствам и снижению качества жизни пациента. ПМБ в большинстве случаев возникает вследствие инвазии или перфорации муцинозной опухоли аппендикса.

**ЦЕЛЬ:** Продемонстрировать результаты динамического наблюдения за пациенткой с псевдомиксомой брюшины аппендикулярного происхождения с бессимптомным течением.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Проведено динамическое наблюдение (с 2018 по 2024 г.) женщины 64 лет. При ежегодном плановом ультразвуковом исследовании (УЗИ) было выявлено умеренное скопление жидкости в полости малого таза, которое в динамике увеличивалось. Выполнена компьютерная томография (КТ) органов брюшной полости и забрюшинного пространства, по результатам которой определялись протяженные инфильтраты, расширение просвета аппендикса, выпот в брюшинной полости. По данным гистологического исследования верифицирована муцинозная опухоль аппендикса низкой степени злокачественности (LAMN) и псевдомиксома брюшины (муцинозная карцинома брюшины низкой степени злокачественности — LGMCP). Пациентке проведена неполная циторедуктивная операция с гипертермической внутрибрюшинной химиотерапией (HIPEC). В ходе динамического наблюдения выполнялись МР- или КТ-исследования органов брюшной полости и забрюшинного пространства.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Наличие большого объема опухолевых масс, в том числе локализующихся в области ворот печени, брыжейки тонкой кишки, не позволило провести полную циторедуктивную операцию с HIPEC. При динамическом наблюдении отмечается увеличение размеров псевдомиксомы брюшины.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Комплексный подход, своевременная диагностика и определение неблагоприятных участков поражения помогают определить тактику ведения пациента.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** псевдомиксома брюшины, муцин, КТ, МРТ

\* Для корреспонденции: Зубарева Дарья Юрьевна, e-mail: [dashazubareva0904@gmail.com](mailto:dashazubareva0904@gmail.com).

Для цитирования: Обединская Н.Р., Богомякова О.Б., Зубарева Д.Ю., Тулупов А.А. Динамическое наблюдение псевдомиксомы брюшины: клинический случай // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 112–117, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-112-117>.

## DYNAMIC OBSERVATION OF PSEUDOMYXOMA PERITONEI: A CLINICAL CASE

<sup>1</sup>Natalya R. Obedinskaya<sup>ORCID</sup>, <sup>1,2</sup>Olga B. Bogomyakova<sup>ORCID</sup>, <sup>2</sup>Daria Yu. Zubareva<sup>ORCID</sup>\*, <sup>1,2</sup>Andrei A. Tulupov<sup>ORCID</sup><sup>1</sup>MRI TECHNOLOGIES, Novosibirsk, Russia<sup>2</sup>Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia

**INTRODUCTION:** Pseudomyxoma peritonei (PMP) is a rare pathology without specific clinical symptoms, predominantly asymptomatic in the early stages and can be difficult to diagnose; leads to extensive surgical procedures and reduced quality of life of the patient. PMB in most cases occurs due to invasion or perforation of a mucinous tumor of the appendix.

**OBJECTIVE:** To perform a dynamic follow-up of a patient with pseudomyxoma peritoneum of appendicular origin with asymptomatic course.

**MATERIALS AND METHODS:** A dynamic follow-up (from 2018 to 2024) of a 64-year-old female patient was performed. At the annual routine ultrasonography (USG) a moderate accumulation of fluid in the pelvic cavity was detected, which increased in dynamics. Computed tomography (CT) of the abdominal cavity and retroperitoneum was performed, and the results showed extended infiltrates, enlargement of the appendix lumen, and ascitic fluid in the peritoneal cavity. According to the histological study, a low-grade appendicular mucinous neoplasms (LAMN) and pseudomyxoma of the peritoneum (low-grade mucinous carcinoma peritonei (LGMCP)) were verified. The patient underwent incomplete cytoreductive surgery with hyperthermic intraperitoneal chemotherapy (HIPEC). MRI or CT studies of the abdominal cavity and retroperitoneum were performed during dynamic follow-up.

**RESULTS:** The presence of a large volume of tumor masses, including those localized in the area of the liver gate, mesentery of the small intestine, did not allow to perform complete cytoreductive surgery with HIPEC. During dynamic observation, an increase in the size of peritoneal pseudomyxoma was noted.

**CONCLUSION:** A comprehensive approach, up-to-date diagnosis and identification of affected area help to determine the tactics of patient management.

**KEYWORDS:** Pseudomyxoma peritonei; mucin; CT; MRI

\* For correspondence: Daria Yu. Zubareva, e-mail: dashazubareva0904@gmail.com.

**For citation:** Obedinskaya N.R., Bogomyakova O.B., Zubareva D.Yu., Tulupov A.A. Dynamic observation of pseudomyxoma peritonei: a clinical case // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 112–117, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-112-117>.

**Введение.** Псевдомиксома брюшины (ПМБ) — это крайне редкое клиничко-патологическое состояние, при котором определяются скопления муцина по всей брюшной полости с опухолевыми массами или без них [1]. Частота заболеваемости ПМБ составляет 2–4 случая на 1 млн. человек в год [2]. Распространенность в Европе составляет 22 случая на 1 млн человек в год [3]. ПМБ является следствием разрыва или инвазии муцинпродуцирующей опухоли, преимущественно аппендикса, в меньшей степени — яичников или других органов брюшной полости (тонкой и толстой кишки, поджелудочной железы, желудка, желчного пузыря, урахуса, желчевыводящих путей) [4]. Клиническая картина не является специфичной, в большинстве случаев патология протекает бессимптомно. Согласно исследованию Esquivel и Sugarbaker наиболее распространенными клиническими проявлениями ПМБ были аппендикулярные симптомы (27%), вздутие живота (23%), болевой симптом (17%), грыжа передней брюшной стенки (14%) [4]. Течение ПМБ варьируемо ввиду постоянного продуцирования муцина опухолевыми клетками: от медленно- до агрессивно-прогрессирующего, что часто приводит к поздней или «случайной» диагностике [5]. На сегодняшний день основными методами лечения являются неполная циторедуктивная операция (ЦРО) и гипертермическая внутрибрюшинная химиотерапия (HIPEC) [6].

Своевременная диагностика ПМБ и динамическое наблюдение пациентов группы риска позволит врачам-клиницистам определить оптимальную тактику ведения пациента, что обуславливает высокую актуальность данной темы.

В настоящей статье мы приводим описание клинического случая динамического наблюдения за пациентом с псевдомиксомой брюшины.

**Клинический случай.** Получено информированное согласие пациента на исследования и публикацию наблюдения.

Пациентка В., 64 года. Жалоб не предъявляет. В 2018 г. проведено ежегодное УЗИ органов малого таза, по результатам которого выявлено умеренное скопление жидкости. Пациентка была направлена на МРТ-исследование органов малого таза (подтверждается умеренное скопление жидкости; данных, свидетельствующих о наличии объемных образований, не получено) и УЗИ органов брюшной полости (данных, свидетельствующих о наличии объемных образований, не получено). По результатам пункции через задний свод влагалища атипичные клетки не выявлены. Выполнен анализ опухолевого маркера СА-125: 3 ед./мл (норма <35 ед./мл).

В 2019 г. проведено повторное УЗИ органов малого таза, по результатам которого сохраняется умеренное скопление жидкости, без значимой динамики.

По результатам УЗИ органов малого таза в 2020 г. отмечается отрицательная динамика в виде увеличения объема жидкости; данных, свидетельствующих о наличии объемных образований, не получено. Анализ СА-125: 50 ед./мл (норма <35 ед./мл). По результатам КТ органов брюшной полости и забрюшинного пространства с внутривенным болюсным контрастным усилением (Ультравист 370 мг/мл из расчета (кг) × 1,2 мл) в июле 2020 г. визуализированы: по ходу париетальной брюшины поддиафрагмально билатерально — протяженные инфильтраты, с отсроченным накоплением контрастного препарата. Большой сальник на фоне выпота умеренно диффузно уплотнен и утолщен, с отсроченным неинтенсивным накоплением контрастного препарата. Выраженное диффузное расширение просвета аппендикса, просвет заполнен

жидкостью низкой плотности, его стенка не утолщена и без признаков патологического контрастирования. Периаппендикулярно: скопление выпота, инфильтратов не выявлено. Умеренное количество выпота во всех отделах брюшинной полости (рис. 1).

(КТ органов брюшной полости и забрюшинного пространства с внутривенным болюсным контрастным усилением (Ультравист 370 мг/мл из расчета (кг) × 1,2 мл)) выявлено толстостенное жидкостное образование (абсцесс) в брюшной полости в области — илео-



**Рис. 1.** Компьютерная томография брюшной полости с контрастным усилением (июль 2020 г.): а, б, в — коронарная плоскость, отсроченная фаза; г — аксиальная плоскость, отсроченная фаза. Инфильтраты по ходу париетальной брюшины (сплошные стрелки). Расширенный аппендикс (пунктирная стрелка). Диффузно уплотненный сальник (основание стрелки)

**Fig. 1.** Computed tomography of the abdomen with contrast enhancement (July 2020): а, б, в — frontal reconstruction, delay; г — axial reconstruction, delay. Infiltrates along the parietal peritoneum (whole arrows). Dilated appendix (dashed arrow). Diffusely compacted omentum (base of arrow)

В ноябре 2020 г. пациент был планово госпитализирован в онкологическое отделение на диагностическую лапароскопию с предварительным диагнозом: злокачественное новообразование брюшины. Злокачественный асцит. По данным гистологического исследования верифицирована муцинозная опухоль аппендикса низкой степени злокачественности (LAMN) и псевдомиксомы брюшины (муцинозная карцинома брюшины низкой степени злокачественности — LGMCP).

В январе 2021 г. проведена плановая хирургическая операция: тотальная перитонэктомия, расширенная правосторонняя гемиколэктомия, спленэктомия, экстирпация матки с придатками с НИРЕС. Наложен илеодесцендоанастомоз. Пациентка была выписана в удовлетворительном состоянии с рекомендациями повторного оперативного вмешательства через 9 месяцев.

В августе 2021 г. пациент обращается на консультацию к хирургу с жалобами на дефект на передней брюшной стенке с выделениями. При дообследовании

десцендоанастомоза с наружным дренированием через свищ; также визуализировались фрагменты псевдомиксомы брюшины (рис. 2). В связи с послеоперационным осложнением (абсцесс) повторное оперативное вмешательство пациенту не было выполнено.

Пациентке в ходе динамического наблюдения (через каждые 6–8 месяцев) выполнялось МР-исследование органов брюшной полости и забрюшинного пространства на томографе Philips Ingenia (магнитное поле 1,5 Т) с внутривенным введением контрастного препарата (омнискан, кларискан, из расчета 0,1 ммоль/кг), которое включало в себя выполнение нативных T1-ВИ, T2-ВИ, T2-SPAIR (подавление сигнала от жировой ткани) импульсных последовательностей в трех плоскостях, диффузионно-взвешенное изображение b 0,800 с/мм<sup>2</sup>.

В апреле 2022 г. по данным МРТ органов брюшной полости сохраняются образования (псевдомиксомы) неправильной формы, с мелкобугристыми и четкими контурами, мультилобулярной сливной дольчатой структуры с жидкостным содержимым, гиперинтен-

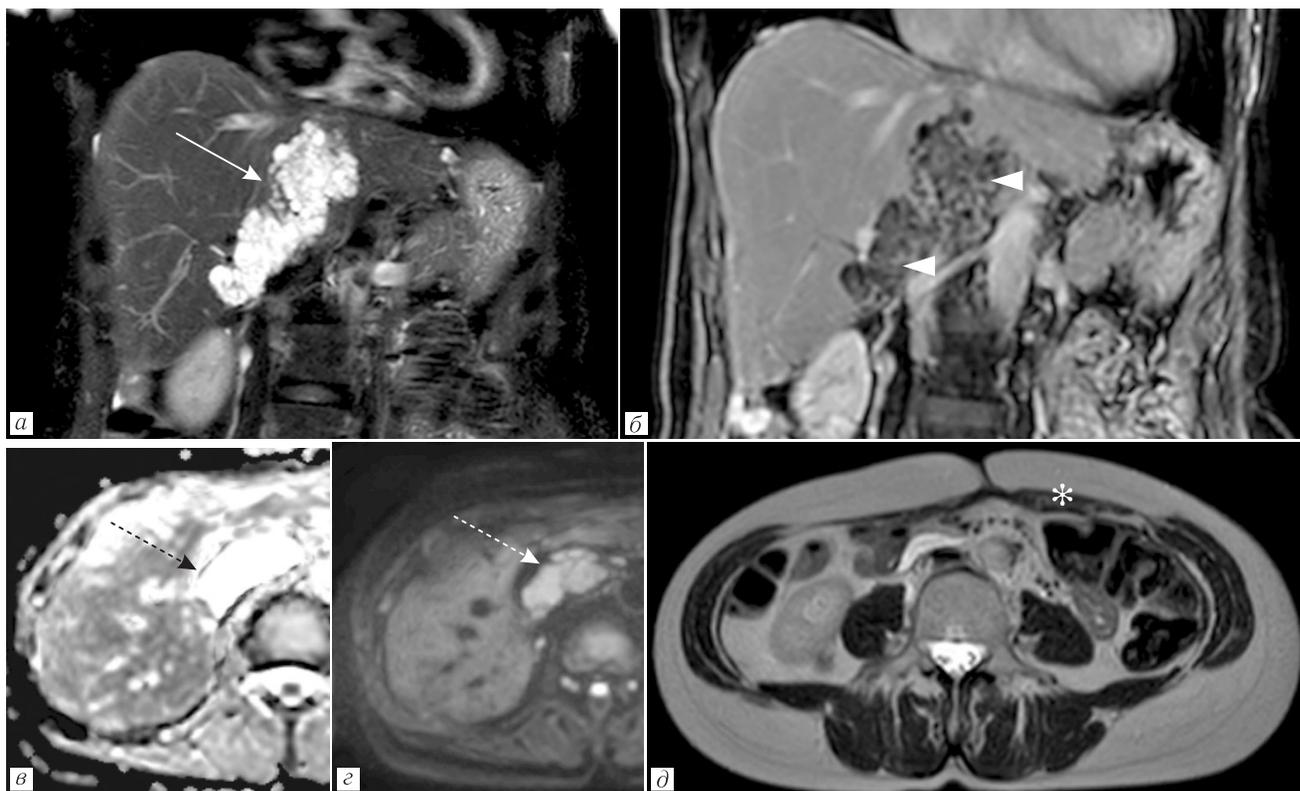


**Рис. 2.** Компьютерная томография брюшной полости с контрастным усилением (август 2021 г.): *a* — коронарная плоскость, венозная фаза; *б* — аксиальная плоскость, венозная фаза. Гиподенсные образования (псевдомиксомы) (сплошные стрелки). Абсцесс с пузырьками воздуха и свищевой ход (пунктирная стрелка)

**Fig. 2.** Computed tomography of the abdomen with contrast enhancement (August 2021): *a* — frontal reconstruction, venous phase; *б* — axial reconstruction, venous phase. Hypodense formations (pseudomyxomas) (whole arrows). Abscess with air bubbles and fistulous tract (dashed arrow)

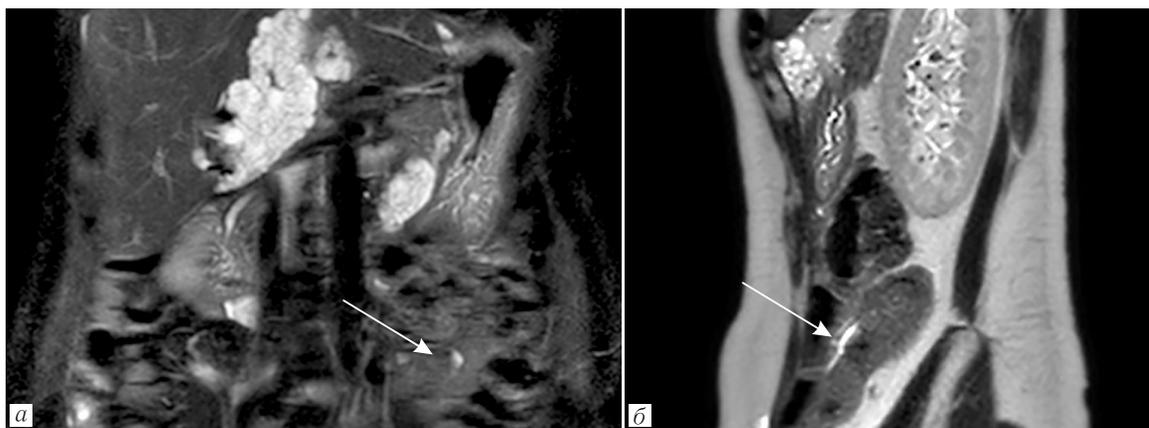
сивного сигнала на T2-ВИ и SPAIR, без признаков выраженного ограничения диффузии, со среднеинтенсивным отсроченным характером накопления контрастного препарата стенками; в динамике с умеренным изменением конфигурации псевдомиксом (рис. 3).

В сентябре 2022 г. по результатам МРТ органов брюшной полости увеличение размеров ранее выявленных образований (псевдомиксомы) и появление нового фокуса псевдомиксомы в левом фланке (рис. 4).



**Рис. 3.** МРТ брюшной полости с контрастным усилением (апрель 2022 г.): *a* — T2-ВИ SPAIR коронарная плоскость; *б* — T1-ВИ коронарная плоскость, отсроченная фаза; *в* — аксиальная плоскость, DWI  $b=800$  с/мм<sup>2</sup>; *г* — аксиальная плоскость, ADC-карта; *д* — T2-ВИ аксиальная плоскость. Псевдомиксомы гиперинтенсивного сигнала (сплошная стрелка), без признаков выраженного ограничения диффузии (пунктирная стрелка), накопление контрастного препарата стенками образований (основание стрелки). Фиброзные изменения в месте/области разрешившегося абсцесса (\*)

**Fig. 3.** MRI of the abdomen with contrast enhancement (April 2022): *a* — T2-WI SPAIR in the frontal plane; *б* — T1-WI in the frontal plane, delay; *в* — axial plane, DWI  $b=800$  c/mm<sup>2</sup>; *г* — axial plane, ADC-map; *д* — T2-WI axial plane. Pseudomyxomas of hyperintense signal (whole arrow), without signs of pronounced diffusion limitation (dashed arrow), accumulation of contrast agent in the walls of the formations (arrow base). Fibrous changes in the abscess (\*)



**Рис. 4.** МРТ брюшной полости (сентябрь 2022): *а* — T2-ВИ SPAIR коронарная плоскость; *б* — T2-ВИ сагиттальная плоскость. Псевдомиксомы гиперинтенсивного сигнала в левом фланке (сплошная стрелка)

**Fig. 4.** MRI of the abdomen (September 2022): *a* — T2-WI SPAIR in the frontal plane; *b* — T2-WI in the sagittal plane. Pseudomyxomas of a hyperintense signal in the left flank (whole arrow)

В апреле 2023 г. по результатам МРТ органов брюшной полости сохраняются ранее выявляемые образования — псевдомиксомы брюшины с увеличением размеров в динамике.

По состоянию на апрель 2024 г. пациентка наблюдается у онколога. Состояние удовлетворительное. Заключительный диагноз: муцинозная опухоль аппендикса T4aN0M1b (per), псевдомиксома брюшины, состояние после оперативного лечения (тотальная перитонэктомия, расширенная правосторонняя гемиколэктомия, спленэктомия, экстирпация матки с придатками с гипертермической внутрибрюшинной химиотерапией).

**Обсуждение.** ПМБ — редкая патология, представляющая собой скопление муцина в брюшной полости. В большинстве случаев источником является перфорирующая или инвазирующая аппендикулярная муцинозная опухоль, в редких случаях другие муцинозные опухоли яичника, желудка, поджелудочной железы или урахуса [7]. В представленном наблюдении была гистологически подтвержденная муцинозная опухоль аппендикса низкой степени злокачественности.

По данным литературы течение ПМБ чаще всего бессимптомно, в дальнейшем с прогрессирующим накоплением муцина появляются жалобы на диффузные боли в животе, формирование грыж передней брюшной стенки, развитие непроходимости кишечника вследствие его компрессии, кахексия [4]. В нашем клиническом случае у пациентки наблюдалось бессимптомное течение данной патологии, без выраженных абдоминальных симптомов или иных жалоб.

Диссеминация муцинпродуцирующих эпителиальных клеток происходит в соответствии с «феноменом перераспределения», включающий в себя путь оттока перитонеальной жидкости, места реабсорбции, силу тяжести и неадгезивные свойства эпителиальных клеток [8]. Часто опухолевые импланты первично скапливаются в области большого и малого сальника, правого и левого поддиафрагмальных пространств, в полости малого таза;

область тонкой кишки и ее брыжейка относительно сохранены благодаря постоянной перистальтике [9].

В представленном клиническом случае первично на КТ органов брюшной полости (от июля 2020 г.) у пациентки определялись инфильтраты в правом и левом поддиафрагмальных пространствах; в дальнейшем в динамике отмечалось появление псевдомиксом по малой кривизне желудка, по медиальному контуру печени и на уровне ворот, по контуру поджелудочной железы, по ходу брыжейки тонкой и толстой кишки с общей тенденцией к увеличению переднезаднего размера инфильтратов.

На сегодняшний день основным методом лечения является ЦРО с последующей НИРЕС. Цель ЦРО — макроскопическое удаление опухоли с резекцией внутренних органов с последующей оценкой полноты циторедукции. Следующий этап — это микроскопическое удаление опухолевых клеток с помощью введения в брюшную полость подогретого до 41–42° С раствора митомицина [10]. Отмечается, что частота выживаемости через 1, 5 и 17 лет после полной циторедукции (визуально не определяются опухолевые массы или имеются менее 2,5 мм) с НИРЕС выше (100, 72 и 56% соответственно), чем у пациентов с неполной циторедукцией, и НИРЕС — 85, 15 и 0% соответственно [3].

В нашем исследовании пациентке была проведена неполная циторедуктивная операция с НИРЕС ввиду большого объема опухолевых масс, в том числе наличия псевдомиксом в сложноступных местах (в области ворот печени, брыжейки тонкой кишки).

**Заключение.** Псевдомиксома брюшины — редкая патология, которая в большинстве случаев развивается из муцинозной опухоли аппендикса, не имеющая специфической клинической картины. Своевременная диагностика ПМБ с использованием МРТ и КТ, изучение механизма и путей диссеминации муцинсекретирующих эпителиальных клеток играют важную роль в оценке возможности достижения адекватной циторедукции и планирования объема оперативного вмешательства.

**Сведения об авторах:**

*Обединская Наталья Ростиславовна* — заместитель заведующего отделением медицинской диагностики, научный сотрудник лаборатории «МРТ ТЕХНОЛОГИИ» федерального государственного бюджетного учреждения науки института «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук; 630090, г. Новосибирск, Институтская ул., д. 3а; ORCID 0000–0001–8279–8738;

*Богомякова Ольга Борисовна* — кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории «МРТ ТЕХНОЛОГИИ» федерального государственного бюджетного учреждения науки института «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук; 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, Институтская ул., д. 3а; ORCID 0000–0002–8880–100X;

*Зубарева Дарья Юрьевна* — ординатор 2-го года обучения по специальности «Рентгенология» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»; 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2; ORCID 0000–0002–2645–8381;

*Тулупов Андрей Александрович* — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по медицинским исследованиям «МРТ ТЕХНОЛОГИИ» федерального государственного бюджетного учреждения науки института «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук; 630090, г. Новосибирск, Институтская ул., д. 3а; ORCID 0000–0002–1277–4113.

**Information about the authors:**

*Natalya R. Obedinskaya* — deputy head of the department of medical diagnosis, researcher assistant of the laboratory «MRI TECHNOLOGIES» The Institute International Tomography Center of the Russian Academy of Sciences; e-mail: n.obedinskaya@tomo.nsc.ru; 630090, Novosibirsk, Institutskaya str., 3a; ORCID 0000–0001–8279–8738;

*Olga B. Bogomyakova* — Cand. of Sci. (Med.), researcher assistant of the laboratory «MRI TECHNOLOGIES» The Institute International Tomography Center of the Russian Academy of Sciences; 630090, Novosibirsk, Institutskaya str., 3a; e-mail: bogom\_o@tomo.nsc.ru; ORCID 0000–0002–8880–100X;

*Daria Yu. Zubareva* — 2nd-year resident student in the specialty «Radiology», Novosibirsk National Research State University; 630090, Novosibirsk, Pirogova str., 2; e-mail: dashazubareva0904@gmail.com; ORCID 0000–0002–2645–8381;

*Andrei A. Tulupov* — Dr. of Sci. (Med.), professor of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Medical Research «MRI TECHNOLOGIES» The Institute International Tomography Center of the Russian Academy of Sciences; 630090, Novosibirsk, Institutskaya str., 3a; e-mail: taa@tomo.nsc.ru; ORCID 0000–0002–1277–4113.

**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. Р. Обединская*; сбор и математический анализ данных — *Д. Ю. Зубарева, О. Б. Богомякова, А. А. Тулупов*; подготовка рукописи — *О. Б. Богомякова, А. А. Тулупов, Д. Ю. Зубарева*.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *NRO*, aided in the concept and plan of the study; *DYuZ, OBB, AAT* provided collection and mathematical analysis of data; *DYuZ, OBB, AAT* preparation of the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The author declares no conflict of interest.

**Соблюдение принципов этики.** Получено информированное согласие пациента.

**Adherence to ethical standards.** Informed consent is obtained of the patient.

Поступила/Received: 03.02.2024

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

**ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES**

- Martin-Roman L., Hannan E., Khan F.M. et al. Correlation between PSOGI pathological classification and survival outcomes of patients with pseudomyxoma peritonei treated using cytoreductive surgery and HIPEC: national referral centre experience and literature review // *Pleura Peritoneum*. 2023. Vol. 8, No. 2. P. 65–74. doi: 10.1515/pp-2023-0001.
- Lin Y.L., Xu D.Z., Li X.B. et al. Consensuses and controversies on pseudomyxoma peritonei: a review of the published consensus statements and guidelines // *Orphanet. J. Rare Dis*. 2021. Vol. 16, No. 1. P. 85. doi: 10.1186/s13023-021-01723-6.
- Kung V., Delisle M., Alves S. et al. Health related quality of life is excellent and sustained at two decades after cytoreductive surgery and hyperthermic intraperitoneal chemotherapy in survivors of pseudomyxoma peritonei of appendiceal origin // *Eur. J. Surg. Oncol*. 2023. Vol. 49, No. 11. P. 107045. doi: 10.1016/j.ejso.2023.107045.
- Bayon G.L., Roman M.L., Lominchar P.L. Appendiceal Mucinous Neoplasms: From Clinic to Pathology and Prognosis // *Cancers (Basel)*. 2023. Vol. 15, No. 13. P. 3426. doi: 10.3390/cancers15133426.
- Bangeas P., Kyziridis D., Kalakonas A. et al. Low-Grade Pseudomyxoma Peritonei Behaving as a High-Grade Disease: A Case Series and Literature Review // *Curr. Oncol*. 2023. Vol. 30, No. 11. P. 9996–10006. doi: 10.3390/currenol30110726.
- Sommariva A., Tonello M., Rigotto G. et al. Novel Perspectives in Pseudomyxoma Peritonei Treatment // *Cancers (Basel)*. 2021. Vol. 13, No. 23. P. 5965. doi: 10.3390/cancers13235965.
- Miguez G.J., Forn C.F., Martinez P.L., et al. Primary and secondary tumors of the peritoneum: key imaging features and differential diagnosis with surgical and pathological correlation // *Insights Imaging*. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 115. doi: 10.1186/s13244-023-01417-6.
- Palavalli M.H., Koempel A., Kim A.C. Narrative review of appendiceal pseudomyxoma peritonei // *Dig. Med. Res*. 2023. No. 6. P. 16. doi: 10.21037/dmr-22-46.
- Ахаладзе Д.Г., Рабаев Г.С., Грачёв Н.С. Технические особенности циторедуктивных операций и внутрибрюшной гипертермической химиоперфузии // *Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2020. Т. 19, № 4. С. 224–233. [Akhaladze D.G., Rabaev G.S., Grachev N.S. Technical features cytoreductive surgery and hyperthermic intraperitoneal chemotherapy. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*, 2020, Vol. 19, No. 4, pp. 224–233 (In Russ.)]. doi: 10.24287/1726-1708-2020-19-4-224-233.
- Ye S., Zheng S. Comprehensive Understanding and Evolutional Therapeutic Schemes for Pseudomyxoma Peritonei: A Literature Review // *Am. J. Clin. Oncol*. 2022. Vol. 45, No. 5, pp. 223–231. doi: 10.1097/COC.0000000000000911.

УДК 616-006.363.03-616.62

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-118-121>

## ЛЕЙОМИОМА МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

А. А. Третьяков<sup>✉\*</sup>, Э. Н. Шелкопьяс<sup>✉</sup>, М. В. Артемов<sup>✉</sup>

Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

Лейомиома мочевого пузыря — редкая доброкачественная опухоль мочевого пузыря. В нашем клиническом наблюдении представлена лейомиома мочевого пузыря с симптомами обструкции мочевыводящих путей у женщины 40 лет, которая обратилась в амбулаторно-консультативное отделение с жалобами на наличие примеси крови в моче, дискомфорт в области лонного сочленения, общее недомогание. Осмотрена урологом и направлена на дообследование (УЗИ, МРТ с внутривенным контрастированием). По магнитно-резонансным характеристикам данное патологическое образование имеет гипointенсивный сигнал на T1- и T2-ИП, с рестрикцией сигнала при DWI, с активным накоплением контрастного препарата. Трансуретральная резекция опухоли мочевого пузыря является основным методом лечения небольших эндovesикальных опухолей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** лейомиома, мочевой пузырь, магнитно-резонансная томография

\* Для корреспонденции: Третьяков Александр Алексеевич, e-mail: alex\_tretyakoff@bk.ru.

Для цитирования: Третьяков А.А., Шелкопьяс Э.Н., Артемов М.В. Лейомиома мочевого пузыря: клинический случай // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 2. С. 118–121, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-118-121>.

## LEIOMYOMA OF BLADDER: A CLINICAL CASE

Alexander A. Tretyakov<sup>✉\*</sup>, Elina N. Shelkopyas<sup>✉</sup>, Maxim V. Artemov<sup>✉</sup>

Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after Academician A. M. Granov, St. Petersburg, Russia

Bladder leiomyoma is a rare benign bladder tumor. Our clinical observation presents a bladder leiomyoma with symptoms of urinary tract obstruction of a 40-year-old woman who came to the outpatient department with complaints of blood in the urine, discomfort in the area of the bosom articulation, and general malaise. She was examined by a urologist and referred for additional examination (ultrasound, MRI with intravenous contrasting). According to magnetic resonance characteristics, this pathologic formation has hypointense signal on T1 and T2 IP, with signal restriction at DWI, with active accumulation of contrast agent. Transurethral resection of bladder tumor is the main method of treatment of small endovesical tumors.

**KEYWORDS:** leiomyoma, bladder, magnetic resonance imaging

\* For correspondence: Alexander A. Tretyakov, e-mail: alex\_tretyakoff@bk.ru.

For citation: Tretyakov A.A., Shelkopyas E.N., Artemov M. V. Leiomyoma of bladder: a clinical case // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 118–121, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-118-121>.

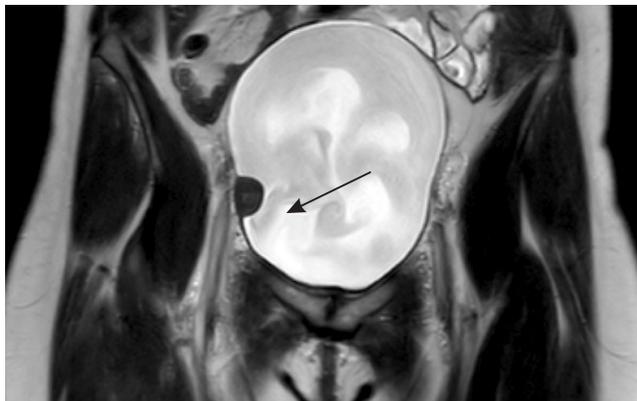
**Введение.** Лейомиома мочевого пузыря — редкая доброкачественная опухоль мочевого пузыря. Частота встречаемости доброкачественных мезенхимальных опухолей мочевого пузыря составляет 1–5% всех новообразований мочевого пузыря. Среди них 0,43% составляет лейомиома [1]. В ходе обзора опубликованных статей, проведенном N. Khater и G. Sakr было официально зарегистрировано около 250 случаев лейомиомы мочевого пузыря, что подтверждает редкость данной патологии [2]. В обзоре

литературы, проведенном Goluboff и соавт., из 37 зарегистрированных пациентов женщины составляли 76% [3]. Ультразвуковое исследование (УЗИ) мочевого пузыря используется в качестве первичного метода визуализации. Компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) определяют местоположение и размеры опухоли, а также наличие и степень инвазии участков, подозрительных на злокачественные новообразования [4]. В зависимости от размера и местоположения эти

© Авторы, 2024. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией ССВУ-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>

образования могут вызывать обструктивные или ирритативные симптомы [5]. В первую очередь лечение определяется анатомическим расположением и размером опухолей. Основным и безопасным вариантом лечения лейомиомы мочевого пузыря является эндоскопическое лечение, но при наличии множественных рецидивов заболевания рассматривается возможность частичной цистэктомии [6].

Нами представлен клинический случай лейомиомы мочевого пузыря с симптомами обструкции мочевыводящих путей и лечения с помощью трансуретральной резекции (ТУР).



**Рис. 1.** МР-изображение по T2-ИП (импульсной последовательности) в коронарной проекции.

Определяется патологическое образование правой боковой стенки мочевого пузыря с однородным гипоинтенсивным сигналом

**Fig. 1.** On the T2 MRI sequence in coronal projection, a pathologic mass of the right lateral bladder wall with a homogeneous hypointense signal is detected

стенки мочевого пузыря справа, размерами 26×21×20 мм.

Пациентке проведено мультипараметрическое МРТ-сканирование с внутривенным контрастированием на аппарате с напряженностью магнитного поля 1,5 Т.

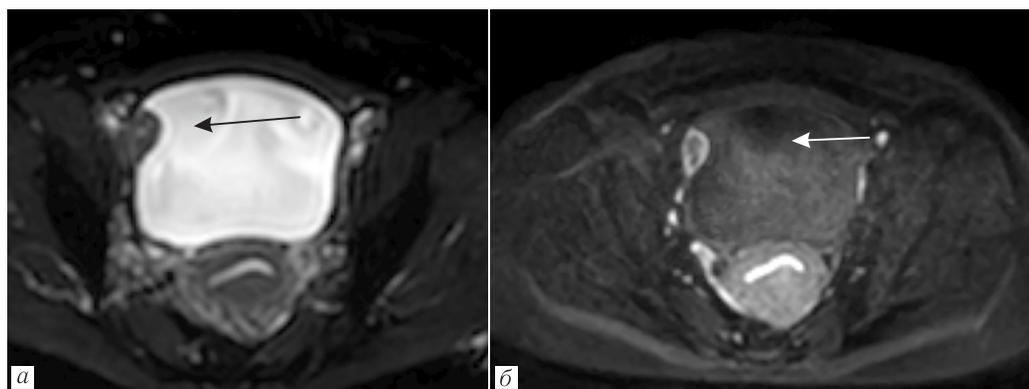
Данные МРТ-исследования представлены на рис. 1–6.

После проведенных исследований пациентка была госпитализирована. При проведении цистоскопии выявлено патологическое образование в области правой боковой стенки мочевого пузыря.



**Рис. 2.** МР-изображение по T1-ИП в аксиальной проекции. Определяется патологическое образование правой боковой стенки мочевого пузыря с однородным гипоинтенсивным сигналом

**Fig. 2.** On the T1 MRI sequence in axial projection, a pathologic mass of the right lateral bladder wall with a homogeneous hypointense signal is detected



**Рис. 3 (а, б).** МР-изображение при DWI в аксиальной проекции. Определяется патологическое образование правой боковой стенки мочевого пузыря с рестрикцией сигнала

**Fig. 3 (a, б).** MR image at DWI in axial projection shows a pathologic mass of the right lateral bladder wall with signal restriction

**Клинический случай.** Женщина 40 лет обратилась в амбулаторно-консультативное отделение с жалобами на наличие примеси крови в моче, дискомфорт в области лонного сочленения, общее недомогание. Осмотрена урологом и направлена на дообследование. (УЗИ, МРТ с внутривенным контрастированием).

При УЗИ органов малого таза выявлено патологическое образование в области передне-боковой

Выполнена трансуретральная резекция (ТУР) образования мочевого пузыря. По данным гистологического заключения — лейомиома, микроскопически с множественными фрагментами мышечно-фиброзной ткани с единичным микрофокусом уротелия. Опухолевые элементы не обнаружены.

При последующих клинико-инструментальных наблюдениях рецидивов не выявлялось.



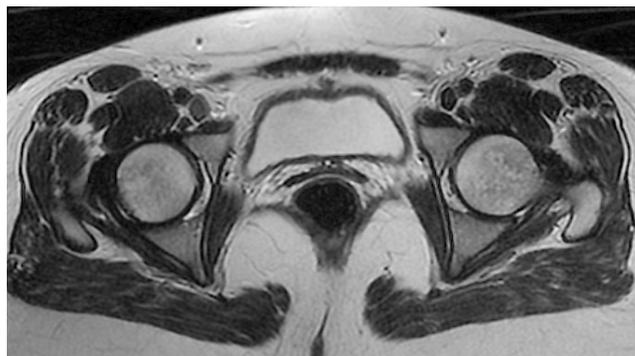
**Рис. 4.** МР-изображение по T1-ИП в аксиальной проекции. Определяется патологическое образование правой боковой стенки мочевого пузыря с активным накоплением контрастного препарата

**Fig. 4.** On the T1 MRI sequence in axial projection, a pathologic mass of the right lateral bladder wall with active accumulation of contrast agent is detected

Контрольное МРТ-исследование выполнено через 3 месяца после трансуретральной резекции.

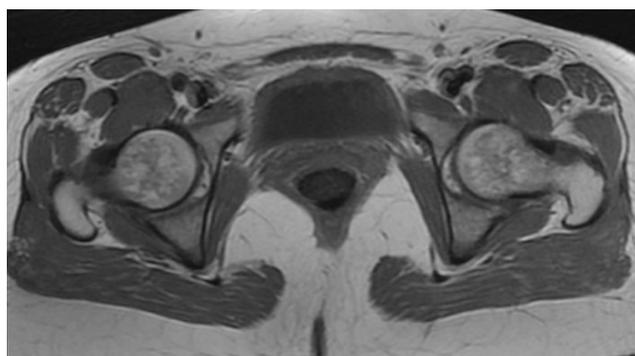
**Заключение.** Представленный случай демонстрирует лейомиому мочевого пузыря с симптомами обструкции мочевыводящих путей и проведенным успешным лечением. По магнитно-резонансным характеристикам данное патологическое образование имеет гипоинтенсивный сигнал на T1-ИП и T2-ИП с рестрикцией сигнала при DWI, с активным накоплением контрастного препарата.

Трансуретральная резекция опухоли мочевого пузыря является основным методом лечения небольших эндовезикальных опухолей.



**Рис. 5.** МР-изображение по T2-ИП в аксиальной проекции. Данных, свидетельствующих о наличии объемных образований в области стенок мочевого пузыря, не выявлено

**Fig. 5.** On T2 MRI sequence in axial projection, no evidence of volumetric masses in the bladder wall area was detected



**Рис. 6.** МР-изображение по T1-ИП в аксиальной проекции. Данных, свидетельствующих о наличии объемных образований в области стенок мочевого пузыря, не выявлено

**Fig. 6.** On T1 MRI sequence in axial projection, no evidence of volumetric masses in the bladder wall area was detected

#### Сведения об авторах:

*Третьяков Александр Алексеевич* — ординатор-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: alex\_tretyakoff@bk.ru; ORCID 0009-0001-2929-6541;

*Шелкопьяс Элина Николаевна* — кандидат медицинских наук, заслуженный врач Российской Федерации, врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: en\_shelkoplyas@rrcrst.ru; ORCID 0009-0007-5434-7981;

*Артемов Максим Владимирович* — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: artemov.mv@mail.ru; ORCID 0009-0007-1229-1203; SPIN 1525-7663.

#### Information about authors:

*Alexander A. Tretyakov* — resident radiologist, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after Academician A. M. Granov, St. Petersburg, address: St. Petersburg, Settlement. Pesochny, Leningradskaya Street, 70; e-mail: alex\_tretyakoff@bk.ru; ORCID 0009-0001-2929-6541;

*Elina N. Shelkoplyas* — Cand. of Sci. (Med.), Honored Doctor of the Russian Federation, radiologist, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after Academician A. M. Granov, St. Petersburg, address: St. Petersburg, Settlement. Pesochny, Leningradskaya Street, 70; e-mail: en\_shelkoplyas@rrcrst.ru; ORCID 0009-0007-5434-7981;

*Maxim V. Artemov* — Cand. of Sci. (Med.), Head of Department, radiologist, Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies named after Academician A. M. Granov, St. Petersburg, address: St. Petersburg, Settlement. Pesochny, Leningradskaya Street, 70; e-mail: artemov.mv@mail.ru; ORCID 0009-0007-1229-1203; SPIN 1525-7663.

**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 распре-

делен следующим образом: концепция и план работы — Э.Н.Шелкоплас, сбор материала и анализ данных — А.А.Третьяков, подготовка рукописи — А.А.Третьяков, Э.Н.Шелкоплас, М.В.Артемов.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *ENSh* aided in the concept and plan of the study; *AAT* collection of material and data analysis, *AAT*, *ENSh*, *MVA* preparation of the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declares no conflict of interest.

**Соответствие принципам этики.** Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от пациента.

**Adherence to ethical standards.** The approval of the ethics committee was not required. Informed consent has been obtained from the patient.

Поступила/Received: 29.01.2024

Принята к печати/Accepted: 29.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Маилян О.А., Головащенко М.П., Кануков К.Ю., Суркова В.С., Буракова В.А., Воробьев Н.В., Крашенинников А.А., Калпинский А.С., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. Лейомиома мочевого пузыря большого размера: клинический случай // *Онкоурология*. 2020. Т. 16, № 4. С 215–219. [Mailyan O.A., Golovashchenko M.P., Kanukov K.Yu., Surkova V.S., Burakova V.A., Vorobyev N.V., Krasheninnikov A.A., Kalpinskiy A.S., Alekseev B.Ya., Kaprin A.D. Large bladder leiomyoma: a case report. *Cancer Urology*, 2020, Vol. 16, No. 4, pp. 215–219 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2020-16-4-215-219>.
2. Nazari Z., Pirastehfar Z., Torabizadeh Z. Bladder leiomyoma presenting as uterine pedunculated leiomyoma // *SAGE Open Med Case Rep*. 2022. Jul. doi: 10.1177/2050313X221111671.
3. AlHalak R., Alkabbani S., Nasseif H., Oghanna N., Janahi F. Bladder leiomyoma treated with transurethral resection of bladder tumor (TURBT): Case report // *Int. J. Surg. Case Rep*. 2022. Sep; Vol. 98. P. 107464. doi: 10.1016/j.ijscr.2022.107464. Epub 2022 Jul 30. doi: 10.1016/j.ijscr.2022.107464.
4. AlAmri N., Abdullah H., AlIbrahim F., Eid K., AlShehri M. Imaging findings of atypical leiomyoma of urinary bladder simulating ureteroceles // *J. Surg. Case Rep*. 2022 Jun. Vol. 2022, No. 6. rjac256. doi: 10.1093/jscr/rjac256.
5. Kashkoush J., Park A. Bladder Leiomyoma presenting as urinary retention: A case report // *Urol. Case Rep*. 2022 Oct. 7; Vol. 45. P. 102253. doi: 10.1016/j.eucr.2022.102253.
6. Bangash M., Faruqi N., Muhammad A.U., Uddin Z. Leiomyoma Urinary Bladder, Mimicking Urothelial Cancer // *J. Ayub. Med. Coll Abbottabad*. 2021. Oct-Dec; Vol. 33, No. 4. P. 685–689. <https://jamc.ayubmed.edu.pk/jamc/index.php/jamc/article/view/9180/3189>.

---

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