

ISSN 0042-4676 (Print)
ISSN 2619-0478 (Online)

Вестник
Journal

рентгенологии
of Radiology

и радиологии
and Nuclear Medicine

Том
Vol.

102, №1, 2021



Стабильность, которую видно

Высокостабильный хелатный комплекс
среди гадолиний-содержащих препаратов¹⁻⁴

Краткая инструкция по применению лекарственного препарата для медицинского применения ПРОХЭНС (PRONANCE)

Регистрационный номер: ЛП 001781-061118. **МНН:** гадотеридол. **Лекарственная форма:** раствор для внутривенного введения. **Фармакотерапевтическая группа:** контрастное средство для МРТ. **Показания к применению:** применяется с диагностической целью. МРТ для визуализации очагов с нарушенным кровоснабжением головного и спинного мозга и окружающих тканей, с нарушенным гематоэнцефалическим барьером. МРТ всего тела, включая голову, шею, печень, молочные железы, костно-суставную систему и мягкие ткани. **Противопоказания:** повышенная чувствительность к гадотеридолу, другим вспомогательным компонентам препарата или другим контрастным препаратам, содержащим гадолиний; возраст до 18 лет для проведения МРТ всего тела и возраст до 6 месяцев по всем остальным показаниям. **С осторожностью:** детский возраст от 6 месяцев до 2 лет по всем показаниям, кроме МРТ всего тела; нарушения функции почек (скорость клубочковой фильтрации < 30 мл/мин/1,73 м²); острая почечная недостаточность на фоне гепаторенального синдрома; периоперационный период пересадки печени; эпилепсия; сердечно-сосудистые заболевания; нарушения кровообращения, в т.ч. ЦНС; аллергические заболевания в анамнезе. **Способ применения и дозы:** раствор для внутривенного введения 279,3 мг/мл. Взрослые – 0,1 ммоль/кг, для пациентов с подозрением на метастазы в головном мозге или другие патологические очаги с меньшим накоплением контраста 0,3 ммоль/кг. Дети – не выше 0,1 ммоль/кг. **Побочное действие:** анафилактические/анафилактикоидные реакции, головная боль, парестезии, головокружение, изменение вкуса, повышенная слезоточивость, снижение артериального давления, ощущение «приливов» к лицу, тошнота, сухость во рту, рвота, зуд, кожные высыпания, крапивница, повышенное потоотделение, боль в месте введения, астения. **Юридическое лицо, на имя которого выдано регистрационное удостоверение:** Бракко Свисс СА Виа Кантонале, Галлерия 2 СН 6928, Манно, Швейцария. **Производитель:** БИПСО ГмбХ 78224, г. Синген, Роберт-Гервинг-Штрассе, д. 4, Германия.

Информация предназначена для медицинских работников



Р-ФАРМ
Инновационные
технологии
здоровья

1. Laurent S, Elst LV, Muller RN. Comparative study of the physicochemical properties of six clinical low molecular weight gadolinium contrast agents. Contrast Media Mol Imaging. 2006;1(3):128-37. Лоран С, Элст ЛВ, Мюллер РН. Сравнительное исследование физико-химических свойств шести клинических низкомолекулярных контрастных веществ гадолиния. Контрастные вещества мол. Визуализация. 2006;1(3):128-37. 2. Bussi S, Todolai F, Maisano F, et al. Differences in gadolinium retention after repeated injections of macrocyclic contrast agents to rats. J Magn Res Imaging. 2017. DOI:10.1002/jmri.25022/Бусси С, Тедолли Ф, Майсано Ф, и соавт. Различия в удержании гадолиния после повторных инъекций макроциклических контрастных веществ крысам. Ж. МРТ визуализация. 2017. DOI:10.1002/jmri.25022.

3. McDonald RJ, McDonald JS, Dai D, Schroeder D, Jentoft MC, Murray DL, Kadivel R, Eckel LJ, Kallmes DF. Radiology. 2017 Jun 19;161594. doi: 10.1148/radiol.2017161594. [Epub ahead of print]Макдональд РЖ, Макдональд ЖС, Дай Д, Шредер Д, Жентофт МЕ, Муррей ДЛ, Кадирвел Р, Эккель ЛЖ, Каллмес ДФ. Радиология. 2017 Июнь 19:161594. doi: 10.1148/radiol. 2017161594. [опуб. в интернете до офиц. издания]. 4. Gianolio E, Bardini P, Arena F, Stefania R, Di Gregorio E, Jani R, Aime S. Gadolinium Retention in the Rat Brain: Assessment of the Amounts of Insoluble Gadolinium-containing Species and Intact Gadolinium Complexes after Repeated Administration of Gadolinium-based Contrast Agents. Radiology. 2017 Sep 4;162857. doi: 10.1148/radiol.2017162857. [Epub ahead of print]Джаналио Е, Бардини П, Арена Ф, Стефания Р, Ди Грегорио Е, Яни Р, Аиме С. Удержание гадолиния в мозге крыс: оценка количества нерастворимых гадолиний содержащих частиц и intactных комплексов гадолиния после повторных введений гадолиний содержащих контрастных веществ. Радиология. 2017 сентябрь 4:162857. doi: 10.1148/radiol.2017162857. [опуб. в интернете до офиц. издания].

2017 Sep 4;162857. doi: 10.1148/radiol.2017162857. [Epub ahead of print]Джаналио Е, Бардини П, Арена Ф, Стефания Р, Ди Грегорио Е, Яни Р, Аиме С. Удержание гадолиния в мозге крыс: оценка количества нерастворимых гадолиний содержащих частиц и intactных комплексов гадолиния после повторных введений гадолиний содержащих контрастных веществ. Радиология. 2017 сентябрь 4:162857. doi: 10.1148/radiol.2017162857. [опуб. в интернете до офиц. издания].

2017 Sep 4;162857. doi: 10.1148/radiol.2017162857. [Epub ahead of print]Джаналио Е, Бардини П, Арена Ф, Стефания Р, Ди Грегорио Е, Яни Р, Аиме С. Удержание гадолиния в мозге крыс: оценка количества нерастворимых гадолиний содержащих частиц и intactных комплексов гадолиния после повторных введений гадолиний содержащих контрастных веществ. Радиология. 2017 сентябрь 4:162857. doi: 10.1148/radiol.2017162857. [опуб. в интернете до офиц. издания].

ИМЕЮТСЯ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ, НЕОБХОДИМО ОЗНАКОМИТЬСЯ
С ИНСТРУКЦИЕЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ПОЛУЧИТЬ КОНСУЛЬТАЦИЮ СПЕЦИАЛИСТА

Вестник рентгенологии и радиологии

Рецензируемый научно-практический журнал

Том 102, № 1, 2021

Journal of Radiology and Nuclear Medicine

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Vol. 102, No. 1, 2021

Вестник рентгенологии и радиологии

Рецензируемый научно-практический журнал

Журнал включен ВАК в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 14.01.13. «Лучевая диагностика, лучевая терапия». Официальный журнал Российского общества рентгенологов и радиологов. Представлен в Российском индексе научного цитирования. Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-71544 от 13.11.2017 г.

Периодичность 1 раз в два месяца.

Издательство журнала установило лицензионные отношения в электронном виде с издательством EBSCO Publishing, ведущим мировым агрегатором полных текстов всевозможных журналов и электронных книг. Полный текст статей журнала можно найти в базе данных EBSCOhost™

Учредитель 1:	Общероссийская общественная организация содействия развитию лучевой диагностики и терапии «Российское общество рентгенологов и радиологов»
Адрес:	129344, г. Москва, ул. Верхоянская, д. 18, корп. 2, эт. 0, пом. 2, ком. 4
Учредитель 2:	Общество с ограниченной ответственностью «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА»
Адрес:	121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33
Издатель:	Общество с ограниченной ответственностью «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА» 121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33
Стоимость:	Свободная цена
Адрес редакции, телефон:	121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33, тел.: +7 (985) 120-70-06
Подписной индекс:	71486 – в каталоге Агентства «Роспечать» для стран Беларусь, Казахстан, Украина, Литва, Латвия, Эстония 81601 – в каталоге «Урал-Пресс» П8155 – в электронном каталоге Почта России

Подписку на печатный экземпляр журнала можно оформить в любом отделении Почты России или на сайте <http://podpiska.pochta.ru>
Полная электронная версия статей журнала размещается на сайтах: <https://www.elibrary.ru>, <https://www.iprbooks.ru>,
<https://rucont.ru>, <https://www.ebsco.com>

Главный редактор

Тюрин И.Е., д. м. н., профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва

Редакционная коллегия

Абельская И.С., д. м. н., профессор, Минск, Беларусь
Балахонова Т.В., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Даутов Т.Б., д. м. н., профессор, Нур-Султан, Республика Казахстан
Дмитриева Л.И., к. м. н., Москва, Россия
Коновалов Р.Н., к. м. н., доцент, Москва, Россия
Лисицкая М.В., к. м. н., ответств. секретарь, Москва, Россия
Михайлов А.Н., д. м. н., профессор, акад. Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
Морозов А.К., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Низовцова Л.А., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Нуднов Н.В., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Осиев А.Г., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Ратников В.А., д. м. н., профессор, Санкт-Петербург, Россия
Ридэн Т.В., д. м. н., профессор, Людвигсхафен-на-Рейне, Германия
Рожкова Н.И., д. м. н., профессор, Москва, Россия

Сергиенко В.Б., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Синицын В.Е., д. м. н., профессор, зам. главного редактора, Москва, Россия
Солодкий В.А., д. м. н., профессор, акад. РАН, Москва, Россия
Сташук Г.А., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Терновой С.К., д. м. н., профессор, акад. РАН, 1-й зам. главного редактора, Москва, Россия
Черкавская О.В., д. м. н., заведующая редакцией, Москва, Россия
Шария М.А., д. м. н., профессор, Москва, Россия
Boris Brkljacic, Dr. Med. Sc., Professor, Zagreb, Croatia
Michael H. Fuchsjaeger, Dr. Med. Sc., Professor, Graz, Austria,
Nicholas C. Gourtsoyiannis, Dr. Med. Sc., Professor, Crete, Greece
Andrei I. Holodny, Dr. Med. Sc., Professor, New York, USA
Ruzica Maksimovic, Dr. Med. Sc., Professor, Belgrade, Serbia
Maximilian F. Reiser, Dr. Med. Sc., Professor, Munich, Germany
Jacob Sosna, Dr. Med. Sc., Professor, Jerusalem, Israel

Сдано в набор 05.02.2021 г. Подписано в печать 28.02.2021 г. Формат 60 × 88¹/₈
 Усл.печ.л. 7,25 Уч.-изд.л. 7,25 Бум.л. 3,7 Зак. № 000
 ФГУП «Издательство «Наука», 117997, Москва, Профсоюзная ул., 90
 E-mail: info@naukaran.com <https://naukapublishers.ru> <https://naukabooks.ru>
 ФГУП «Издательство «Наука» (Типография «Наука»), 121099, Москва, Шубинский пер., 6

Journal of Radiology and Nuclear Medicine

Vestnik rentgenologii i radiologii

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Founded in 1920.

Official Journal of Russian Society of Radiology.

Journal is indexed in RSCI (Russian Science Citation Index).

Issued bimonthly.

The journal accepts articles on specialty 14.01.13 (Radiation Diagnostics, Radiation Therapy). Registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Registration certificate ПИ No. ФС77-71544, November 13, 2017.

Publisher has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's leading aggregator of full text journals, magazines and eBooks. The full text of journal can be found in the EBSCOhost™ databases

Founder 1:	Russian Society of Radiology
Address:	129344, Moscow, Verkhoyskaya street, 18, bld. 2, floor 0, apartment 2, room 4
Founder 2:	Limited Liability Company "LUCHEVAYA DIAGNOSTIKA"
Address:	121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33
Publisher:	Limited Liability Company "LUCHEVAYA DIAGNOSTIKA"
	121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33
The cost of one issue:	Free price
Address, phone of edition:	121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33, phone: +7 (985) 120-70-06
Subscription index:	71486 – in the Rospechat Agency catalog for the countries of Belarus, Kazakhstan, Ukraine, Lithuania, Latvia, Estonia 81601 – in the Ural-Press catalog П8155 – in the Russian Post electronic catalog

You can subscribe to a printed copy of the journal at any Russian Post office or on the website <http://podpiska.pochta.ru>

The full electronic version of the journal articles is published on the websites: <https://www.elibrary.ru>, <https://www.iprbooks.ru>,
<https://www.rucont.ru>, <https://www.ebsco.com>

Editor-in-Chief

Igor' E. Tyurin, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Chair of Radiology and Nuclear Medicine, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Editorial board

Irina S. Abelskaya, Dr. Med. Sc., Professor, Minsk, Belarus
Tatiana V. Balakhonova, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Tairkhan B. Dautov, Dr. Med. Sc., Professor, Nur-Sultan, Kazakhstan
Lyudmila I. Dmitrieva, Cand. Med. Sc., Moscow, Russia
Rodion N. Konovalov, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Moscow, Russia
Maria V. Lisitskaya, Cand. Med. Sc., Executive secretary, Moscow, Russia
Anatoly N. Mikhaylov, Dr. Med. Sc., Professor, Academician of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
Aleksandr K. Morozov, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Lyudmila A. Nizovtsova, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Nikolay V. Nudnov, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Aleksandr G. Osiev, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Vyacheslav A. Ratnikov, Dr. Med. Sc., Professor, St. Petersburg, Russia
Tatiana V. Riden, Dr. Med. Sc., Professor, Ludwigshafen am Rhein, Germany
Nadezhda I. Rozhkova, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Vladimir B. Sergienko, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia

Valentin E. Sinitsyn, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy editor, Moscow, Russia
Vladimir A. Solodkiy, Dr. Med. Sc., Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Galina A. Stashuk, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Sergey K. Ternovoy, Dr. Med. Sc., Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, 1st Deputy editor, Moscow, Russia
Olga V. Cherkavskaya, Dr. Med. Sc., Head of Editorial Board, Moscow, Russia
Merab A. Shariya, Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia
Boris Brkljacic, Dr. Med. Sc., Professor, Zagreb, Croatia
Michael H. Fuchsjaeger, Dr. Med. Sc., Professor, Graz, Austria
Nicholas C. Gourtsoyiannis, Dr. Med. Sc., Professor, Crete, Greece
Andrei I. Holodny, Dr. Med. Sc., Professor, New York, USA
Ruzica Maksimovic, Dr. Med. Sc., Professor, Belgrade, Serbia
Maximilian F. Reiser, Dr. Med. Sc., Professor, Munich, Germany
Jacob Sosna, Dr. Med. Sc., Professor, Jerusalem, Israel

Оригинальные статьи

Березовская Т.П., Дайнеко Я.А., Невольских А.А., Иванов С.А., Каприн А.Д.

Перспективная оценка использования системы mrTRG в определении эффективности неoadъювантной химиолучевой терапии у больных раком прямой кишки 6

Миронов С.П., Василенко Е.И., Каралкина М.А., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б.

Очаговые артефакты при скинтиграфии скелета 18

Коробов А.В., Нуднов Н.В., Попов А.Ю., Кульнева Т.В., Бабенко В.В., Пронькина Е.В.

МРТ-скрининг легких в условиях пандемии COVID-19 на этапах медицинской помощи как инструмент снижения суммарной коллективной дозы облучения населения 28

Клинические случаи

Усачева А.Ю., Силантьева Н.К., Петросян А.П., Усачев В.С., Сидорин А.В., Иванов С.А.

Муцинозная аденокарцинома легкого 42

Николаева Н.Г., Голибиевская Т.А., Шадривова О.В., Десятик Е.А., Бехтерева И.А., Бармичева С.А., Борзова Ю.В., Криволапов Ю.А., Ицкович И.Э., Клишко Н.Н.

Хронический аспергиллез легких под маской периферического новообразования 47

Обзоры

Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А., Стекольников Н.Ю.

Тактика первичной экстренной лучевой диагностики политравмы 57

Новиков Р.В., Новиков С.Н., Протошак В.В., Джалилов И.Б., Литинский С.С.

Радиационно-индуцированная эректильная дисфункция у больных раком предстательной железы: современный взгляд на патогенез 66

Original research

Tatiana P. Berezovskaia, Yana A. Dayneko, Aleksey A. Nevolskikh, Sergei A. Ivanov, Andrey D. Kaprin

Prospective Assessment of mrTRG System Used for Determining the Efficiency of Neoadjuvant Chemoradiotherapy in Patients with Rectal Cancer 6

Sergey P. Mironov, Elena I. Vasilenko, Mariya A. Karalkina, Mikhail E. Bugriy, Vladimir B. Sergienko

Focal Artefacts in Skeletal Scitigraphy 18

Andrey V. Korobov, Nikolay V. Nudnov, Aleksey Yu. Popov, Taisiya V. Kul'neva, Vladislav V. Babenko, Elena V. Pron'kina

MRI Screening of Lungs in the COVID-19 Pandemic at the Stages of Medical Care as a Tool to Reduce the Total Collective Dose of Radiation to the Population 28

Case reports

Anna Yu. Usacheva, Natalia K. Silanteva, Artur P. Petrosian, Vladimir S. Usachev, Aleksey V. Sidorin, Sergey A. Ivanov

Pulmonary Mucinous Adenocarcinoma 42

Nataliya G. Nikolaeva, Tamara A. Golimbievskaya, Olga V. Shadrivova, Ekaterina A. Desyatik, Irina A. Bekhtereva, Selma-Aleksandra S. Barmicheva, Yuliya V. Borzova, Yuriy A. Krivolapov, Irina E. Itskovich, Nikolay N. Klimko

Chronic Aspergillosis in the Guise of Peripheral Lung Neoplasia 47

Reviews

Yuriy G. Shapkin, Pavel A. Seliverstov, Nikolay Yu. Stekolnikov

Tactics of Primary Emergency Radiation Diagnosis of Politrauma 57

Roman V. Novikov, Sergey N. Novikov, Vladimir V. Protoshchak, Imran B. Dzhaliylov, Sergey S. Litinskiy

Radiation-Induced Erectile Dysfunction in Prostate Cancer Patients: Up-to-Date View on Pathogenesis 66



Перспективная оценка использования системы mrTRG в определении эффективности неoadъювантной химиолучевой терапии у больных раком прямой кишки

Березовская Т.П., Дайнеко Я.А., Невольских А.А., Иванов С.А., Каприн А.Д.

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Научный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России, ул. Королева, 4, Калужская обл., Обнинск, 249036, Российская Федерация

Березовская Татьяна Павловна, д. м. н., профессор, гл. науч. сотр.;
<http://orcid.org/0000-0002-3549-4499>

Дайнеко Яна Александровна, науч. сотр.;
<https://orcid.org/0000-0002-4524-0839>

Невольских Алексей Алексеевич, д. м. н., зам. директора по лечебной работе;
<https://orcid.org/0000-0001-5961-2958>

Иванов Сергей Анатольевич, д. м. н., директор;
<https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>

Каприн Андрей Дмитриевич, д. м. н., профессор, академик РАН, генеральный директор;
<https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Резюме

Введение. Оценка лечебного эффекта неoadъювантной химиолучевой терапии (НХЛТ) при раке прямой кишки (РПК) имеет прогностическое значение и позволяет индивидуально планировать вид и объем дальнейшего хирургического вмешательства. Одним из наиболее перспективных вариантов оценки ответа опухоли с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) является подход, основанный на определении степени регрессии опухоли (magnetic resonance tumour regression grade, mrTRG). Однако его надежность и безопасность должны быть подтверждены результатами клинических испытаний и практического применения.

Цель: провести анализ собственного опыта проспективного использования системы mrTRG и оценить дополнительный вклад в ее диагностическую эффективность диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ).

Материал и методы. Показатели mrTRG были определены у 125 (в том числе у 30 – с учетом ДВИ) больных местнораспространенным РПК, получивших комбинированное лечение с НХЛТ в клинике МРНЦ им. А.Ф. Цыба в период с 2015 по 2019 г. Полученные данные были сопоставлены со степенью патоморфоза по Е.Ф. Лушникову, вычислены диагностические параметры дифференциации пациентов, ответивших и не ответивших на НХЛТ.

Результаты. При определении mrTRG без учета ДВИ были получены следующие значения чувствительности, специфичности, прогностичности положительного и отрицательного результатов: 75%, 60%, 70% и 67% соответственно, с учетом ДВИ – 87%, 87%, 87% и 87% соответственно.

Заключение. Перспективная оценка результатов НХЛТ с помощью mrTRG имеет умеренную точность для стратификации пациентов, ответивших и не ответивших на терапию, что требует привлечения дополнительных критериев МРТ-оценки для отбора больных, которые могут получать менее агрессивное хирургическое лечение. Несмотря на небольшое количество пациентов, у которых анализ результатов МРТ проводился с учетом ДВИ, мы получили более высокие значения параметров диагностики. В связи с этим считаем целесообразным включать ДВИ в МРТ-оценку ответа опухоли на лечение.

Ключевые слова: рак прямой кишки; магнитно-резонансная томография; степень регрессии опухоли; оценка эффективности химиолучевого лечения; рестадирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Березовская Т.П., Дайнеко Я.А., Невольских А.А., Иванов С.А., Каприн А.Д. Перспективная оценка использования системы mrTRG в определении эффективности неoadъювантной химиолучевой терапии у больных раком прямой кишки. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(1): 6–17. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-6-17>

Для корреспонденции: Дайнеко Яна Александровна, E-mail: vorobeyana@gmail.com

Статья поступила 21.04.2020

После доработки 18.06.2020

Принята к печати 19.06.2020

Prospective Assessment of mrTRG System Used for Determining the Efficiency of Neoadjuvant Chemoradiotherapy in Patients with Rectal Cancer

Tatiana P. Berezovskaia, Yana A. Dayneko, Aleksey A. Nevolskikh, Sergei A. Ivanov, Andrey D. Kaprin

Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center, Ministry of Health of the Russian Federation, ul. Koroleva, 4, Obninsk, 249036, Russian Federation

Tatiana P. Berezovskaia, Dr. Med. Sc., Professor, Chief Researcher;
<http://orcid.org/0000-0002-3549-4499>

Yana A. Dayneko, Researcher;
<https://orcid.org/0000-0002-4524-0839>

Aleksey A. Nevolskikh, Dr. Med. Sc., Deputy Director;
<https://orcid.org/0000-0001-5961-2958>

Sergei A. Ivanov, Dr. Med. Sc., Director;
<https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>

Andrey D. Kaprin, Dr. Med. Sc., Professor, Academician of RAS, Director General;
<https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Background. Evaluation of the therapeutic effect of neoadjuvant chemoradiotherapy (nCRT) for rectal cancer (RC) is of prognostic value and allows to individually plan the type and extent of further surgical intervention. One of the most promising methods of MRI evaluation is magnetic resonance tumour regression grade (mrTRG) system. However, the reliability and safety of this method must be confirmed by the results of clinical trials and practical application.

Objective: to analyze our experience in the prospective use of mrTRG system and evaluate the additional contribution of diffusion-weighted images (DWI) to its diagnostic efficiency.

Material and methods. The mrTRG values were determined in 125 (including 30 with DWI) patients with locally advanced RC who received combined treatment with nCRT in Tsyb Medical Radiological Research Centre from 2015 to 2019. The obtained data were compared with the modified pathologic response based on Lushnikov's definition, and the diagnostic parameters of differentiation of patients responding and non-responding to nCRT were calculated.

Results. When the mrTRG system was used without DWI, the following sensitivity and specificity values as well as positive and negative predictive values were obtained: 75%, 60%, 70% and 67%, respectively, with DWI – 87%, 87%, 87% and 87%, respectively.

Conclusion. A prospective evaluation of the result of nCRT using the mrTRG system has moderate accuracy for stratification of patients responding and non-responding to nCRT, which requires the use of additional criteria for MRI scores to select patients who may receive less aggressive surgical treatment. Despite the small number of patients with DWI, we obtained higher values of the diagnostic parameters. In this regard, we consider it appropriate to use DWI when assessing the treatment response.

Keywords: rectal cancer; magnetic resonance imaging; magnetic resonance tumour regression grade; response assessment; restaging.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Berezovskaia TP, Dayneko YA, Nevolskikh AA, Ivanov SA, Kaprin AD. Prospective assessment of the mrTRG system used for determining the efficiency of neoadjuvant chemoradiotherapy in patients with rectal cancer. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(1): 6–17 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-6-17>

For corresponding: Yana A. Dayneko, E-mail: vorobeyana@gmail.com

Received April 21, 2020

Revised June 18, 2020

Accepted June 19, 2020

Введение

Частота встречаемости рака прямой кишки (РПК), ректосигмоидного соединения и ануса составляет 5% от всех злокачественных новообразований, регистрируемых в Российской Федерации.

РПК занимает 6-е место в структуре онкозаболеваемости у мужчин и 8-е – у женщин [1]. Ежегодно в России около 15 тыс. человек заболевают РПК.

Стандартом лечения больных местнораспространенным РПК в настоящее время является

предоперационная неoadъювантная химиолучевая терапия (НХЛТ) с последующей тотальной мезоректумэктомией [2–4]. Оценка лечебного эффекта, достигнутого в результате НХЛТ, имеет прогностическое значение и позволяет индивидуально планировать вид и объем дальнейшего хирургического вмешательства, вплоть до полного отказа от него в пользу тактики активного динамического наблюдения. Среди существующих вариантов оценки эффективности НХЛТ с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) одним из наиболее перспективных, по данным литературы, является подход, основанный на определении степени регрессии опухоли (magnetic resonance tumour regression grade, mrTRG) [5–7], учитывающий соотношение фиброза и опухолевой ткани на T2-взвешенных изображениях (T2-ВИ) высокого разрешения по аналогии с патоморфологической классификацией A.M. Mandard et al. [8] и являющийся независимым прогностическим фактором безрецидивной выживаемости и вовлечения циркулярной границы резекции [5, 9].

В последнее время опубликован ряд работ, в которых приводятся многообещающие результаты диффузионно-взвешенной МРТ (ДВ-МРТ), которые повышают эффективность стандартной МРТ-диагностики [10–13]. В связи с этим мы провели анализ собственного опыта использования системы mrTRG и оценки дополнительного вклада в ее диагностическую эффективность диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ).

Цель нашего исследования – определить диагностическую эффективность системы mrTRG для проспективной оценки результата НХЛТ у больных раком прямой кишки и изучить дополнительный вклад ДВИ в ее диагностическую эффективность.

Материал и методы

В исследование были включены 125 больных РПК (78 мужчин и 47 женщин; медиана возраста 60 лет (от 33 до 82 лет), которым в клинике МРНЦ им А.Ф. Цыба в период с 2015 по 2019 г. проводилось комбинированное лечение с использованием пролонгированного курса НХЛТ. Все пациенты соответствовали критериям включения: наличие результатов МРТ-исследования до и после НХЛТ; наличие опухоли прямой кишки, локализованной в пределах 15 см от анального края с гистологическим строением аденокарциномы. В исследуемой группе интервал НХЛТ–операция составил 6–10 нед, интервал НХЛТ–МРТ – 4,5–9 нед, интервал МРТ–операция – 3–17 сут.

МРТ проводили на магнитно-резонансном томографе Magnetom Symphony (Siemens, Германия) с индукцией 1,5 Тл без предварительной подготовки и контрастирования просвета кишки. Протокол включал T2-ВИ высокого разрешения

в косоаксиальной плоскости, ориентированной перпендикулярно стенке кишки на уровне центра опухоли, и полученные с помощью импульсной последовательности FSE (fast spin echo – быстрое спин-эхо) с параметрами: TR (time of repetition – период повторения последовательности) – 4020 мс, TE (time of echo – время появления эхосигнала) – 97 мс, толщина среза / межсрезовой промежуток – 3,0/0,3 мм, FoV (field of view – размер поля обзора) – 250 мм, размер матрицы изображения 286 × 512, размер пикселя 0,87 × 0,49 мм. У 30 пациентов, обследованных начиная с 2018 г., были получены также ДВИ с высоким значением b-фактора (1000 с/мм²) и картированием измеряемого коэффициента диффузии (ИКД).

Результаты проспективного определения mrTRG были взяты из историй болезни. Оценку степени регрессии опухоли выполняли визуально по соотношению фиброза и остаточной опухоли на T2-ВИ [5, 14]: первая степень регрессии (mrTRG1) соответствовала полному отсутствию визуальных проявлений опухоли; вторая степень (mrTRG2) – плотному фиброзу и отсутствию признаков опухоли; третья степень (mrTRG3) – преобладанию фиброза над остаточной опухолью/муцином; четвертая степень (mrTRG4) – небольшим областям фиброза с преобладанием остаточной опухоли или муцина; пятая степень (mrTRG5) – сохранению картины первичной опухоли. Для определения согласованности определения mrTRG специалистами ретроспективно вторым радиологом были оценены 36 больных, информация о результатах первичной оценки и данных патоморфоза которых была ему не известна.

С 2018 г. при оценке регрессии РПК в нашем Центре используются ДВИ, поэтому у 30 пациентов с удовлетворительным качеством данных изображений они были учтены при определении mrTRG. При этом высокий сигнал на ДВИ с соответствующим ему низким сигналом на карте ИКД рассматривали как проявление остаточной опухоли и оценивали аналогично критериям mrTRG для T2-ВИ (рис. 1, 2). В тех случаях, когда имелось несоответствие между данными ДВИ и T2-ВИ, использовали подход, рекомендованный в литературе: в случаях сомнительного сигнала на ДВИ, обусловленного артефактами или слизистым содержимым просвета кишки, при интерпретации предпочтение отдавали T2-ВИ и картам ИКД; при неопределенном промежуточном сигнале на T2-ВИ, который было трудно однозначно расценить как проявление остаточной опухоли или радиационного фиброза, приоритет имели ДВИ [12].

Патоморфологическую оценку ответа опухоли на НХЛТ проводили путем определения степени лечебного патоморфоза по Е.Ф. Лушникову [15] с выделением четырех степеней: I ст. (слабый патоморфоз) – дистрофические изменения отдельных

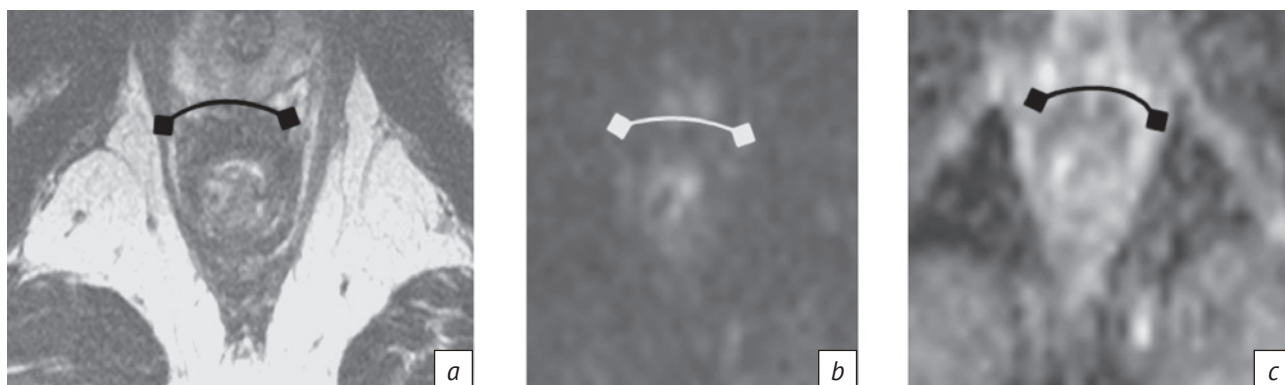


Рис. 1. Пример оценки ответа опухоли с использованием диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ):

a – T2-взвешенное изображение (T2-ВИ);

b – ДВИ;

c – карта измеряемого коэффициента диффузии (ИКД).

Оценка по T2-ВИ соответствует TRG2 – толстый фиброз. В зоне фиброза – низкий сигнал на ДВИ и на карте ИКД, что свидетельствует об отсутствии ограничения диффузии. Оценка с учетом ДВИ: TRG2

Fig. 1. Example of tumor response evaluation using diffusion-weighted images (DWI):

a – T2-weighted image (T2WI);

b – DWI;

c – apparent diffusion coefficient (ADC) map.

The T2WI score corresponds to TRG2 – thick fibrosis. In the fibrosis zone: a low signal on DWI and ADC map, which indicates that there is no diffusion restriction. DWI score: TRG2

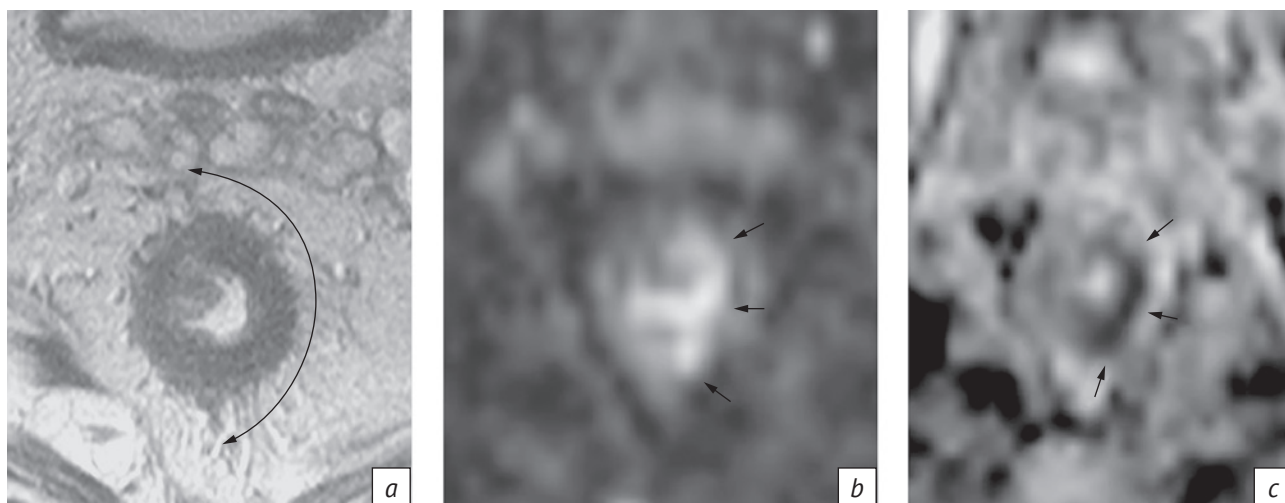


Рис. 2. Пример оценки ответа опухоли с использованием ДВИ:

a – T2-ВИ;

b – ДВИ;

c – карта ИКД.

Оценка по T2-ВИ соответствует TRG2 – толстый фиброз. В структуре фиброза определяется участок ограничения диффузии с высоким сигналом на ДВИ и низким сигналом на карте ИКД (стрелки). Оценка с учетом ДВИ: TRG3

Fig. 2. Example of tumor response evaluation using DWI:

a – T2WI;

b – DWI;

c – ADC map.

The T2WI score corresponds to TRG2 – thick fibrosis. In the structure of fibrosis: a site of diffusion restriction with a high signal on DWI, and a low signal on ADC map (arrows). DWI score: TRG3

опухолевых клеток; II ст. (умеренный патоморфоз) – появление очагов некроза и дистрофические изменения опухолевых клеток; III ст. (выраженный

патоморфоз) – обширные поля некроза, резко выраженные дистрофические изменения опухолевых клеток, единичные опухолевые клетки,

сохраняющие жизнеспособность; IV ст. (резко выраженный, полный патоморфоз) – отсутствие опухолевых элементов.

Пациенты были разделены на две группы: ответивших и не ответивших на НХЛТ. По данным МРТ мы считали ответившими больных, имеющих mrTRG1 и mrTRG2, неответившими – пациентов с mrTRG3-5. По данным патоморфологического исследования ответившими считали пациентов с III и IV ст. патоморфоза, неответившими – с I и II ст.

Статистическая обработка данных включала определение согласованности оценок радиологов и результатов двух методов исследования с применением коэффициента к Коэна [16]. Показатели диагностической эффективности: чувствительность, специфичность, прогностичность положительного и отрицательного результатов определяли с помощью таблиц сопряженности 2×2 . Для сравнения диагностической эффективности системы mrTRG с использованием ДВИ и без них использовали критерий χ^2 с поправкой на правдоподобие.

Результаты

Согласованность оценок системы mrTRG двумя радиологами по 36 больным представлена в таблице 1.

Более половины случаев (58% и 52%) каждым радиологом было отнесено к mrTRG2, значительное количество случаев (27% и 33% соответственно) – к mrTRG3. Значение к Коэна составило 0,83, что соответствует хорошему уровню согласия оценок.

При сопоставлении данных МРТ с результатами патоморфологической оценки мы объединили группы mrTRG4 и mrTRG5, сопоставляя их с патоморфозом I ст. Таким образом, получили четыре группы сопоставления, представленные в таблице 2.

Значение к Коэна для двух методов соответствовало удовлетворительному согласию – 0,21. Однако из таблицы видно, что по результатам МРТ более половины пациентов (54%) были отнесены к mrTRG2, причем 67% из них имели патоморфоз III и IV ст., то есть ответили на лечение. Вторую по величине группу (35%) составили больные

Таблица 1

Результаты независимых оценок mrTRG двумя радиологами

Table 1

Results of independent mrTRG assessments by two radiologists

Радиолог 1 / Radiologist 1	Радиолог 2 / Radiologist 2					
mrTRG	mrTRG					Всего / Total
	1	2	3	4	5	
1	1	0	0	0	0	1
2	1	18	2	0	0	21
3	0	1	9	0	0	10
4	0	0	1	3	0	4
5	0	0	0	0	0	0
Всего / Total	2	19	12	3	0	36

Таблица 2

Сопоставление результатов mrTRG и степени патоморфоза по Е.Ф. Лушникову

Table 2

Comparison of mrTRG results and pathomorphosis degree by Lushnikov method

mrTRG	Степень патоморфоза / Pathomorphosis degree				
	I	II	III	IV	Всего / Total
4 + 5	0	2	4	0	6
3	1	23	7	2	33
2	1	16	20	14	51
1	0	0	1	4	5
Всего / Total	2	41	32	20	95

Таблица 3

Сопоставление оценок ответа на неоадьювантную химиолучевую терапию по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) и патоморфологии

Table 3

Comparison of neoadjuvant chemoradiotherapy response assessment according to magnetic resonance imaging (MRI) and pathomorphology

Данные МРТ / MRI data	Данные патоморфологии / Pathomorphology data		Всего / Total
	Отвечившие / Responding patients	Неотвечившие / Non-responding patients	
Отвечившие / Responding patients	39	17	56
Неотвечившие / Non-responding patients	13	26	39
Всего / Total	52	43	95

Таблица 4

Диагностическая эффективность mrTRG в дифференциации пациентов, ответивших и не ответивших на неоадьювантную химиолучевую терапию

Table 4

Diagnostic efficiency of mrTRG in differentiating patients responding and non-responding to neoadjuvant chemoradiotherapy

Параметры диагностики / Diagnostic parameters	Значение, % / Value, %	Нижняя граница 95% ДИ / 95% CI lower bound	Верхняя граница 95% ДИ / 95% CI upper bound
Чувствительность / Sensitivity	75	65	84
Специфичность / Specificity	60	49	71
Прогностичность положительного результата / Positive predictive value	70	61	78
Прогностичность отрицательного результата / Negative predictive value	67	54	78

Примечание. 95% ДИ – 95% доверительный интервал.

Note. 95% CI – 95% confidence interval.

с mrTRG3, из которых 73% имели патоморфоз I и II ст., то есть отсутствующий и/или слабый ответ на лечение.

Результаты МРТ-дифференциации пациентов, ответивших и не ответивших на НХЛТ, показаны в таблице 3.

Показатели диагностической эффективности МРТ на основе mrTRG в дифференциации пациентов, ответивших и не ответивших на НХЛТ, представлены в таблице 4.

Полученные значения соответствовали хорошей чувствительности и удовлетворительной прогностичности положительного результата при посредственных специфичности, прогностичности отрицательного результата и общей точности, составившей 68% (при 18% ложноположительных и 14% ложноотрицательных оценок).

Ложноположительные результаты МРТ характеризовались показателями mrTRG2 и I и II ст. патоморфоза. В большинстве случаев они наблюдались

при первичных опухолях с небольшим экстрамуральным распространением, демонстрировавших на посттерапевтических Т2-ВИ широкий фиброзный рубец (рис. 3).

Для ложноотрицательных результатов МРТ были характерны показатели mrTRG3–4, III и IV ст. патоморфоза, то есть полный или почти полный ответ. В большинстве случаев они были обусловлены опухолями с массивным экстрамуральным компонентом, сократившимся после НХЛТ, но с участками средней интенсивности сигнала, которым при патоморфологическом исследовании соответствовали некротические и воспалительные изменения (рис. 4).

Результаты сопоставления значений mrTRG с учетом ДВИ и степени патоморфоза опухоли представлены в таблице 5.

При учете данных ДВИ степень согласия по группам осталась удовлетворительной, хотя коэффициент к Коэна увеличился до 0,35.

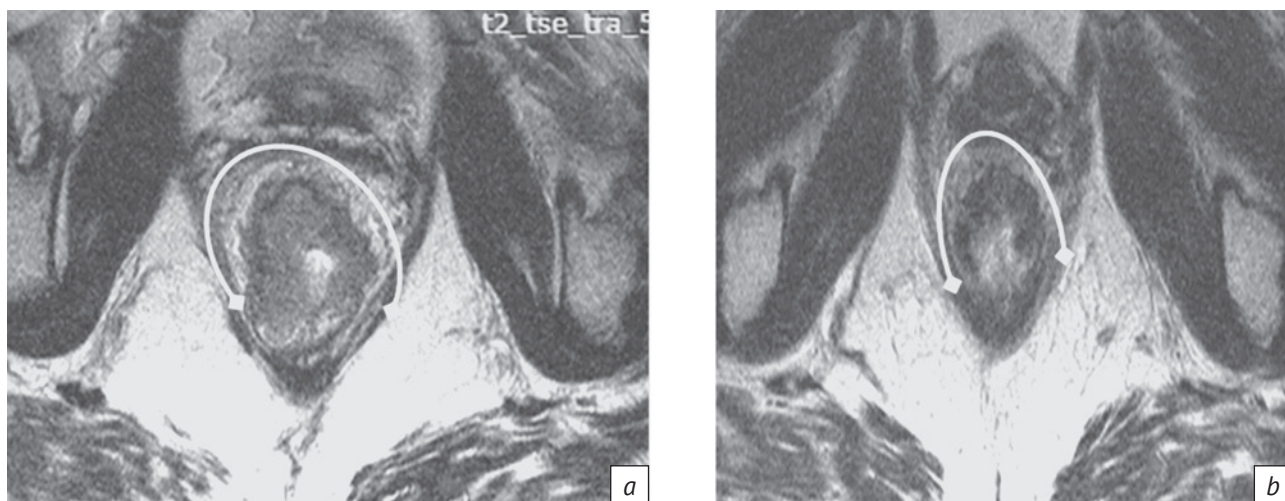


Рис. 3. Пример ложноположительного заключения МРТ, T2-ВИ в косоаксиальной плоскости:

a – субциркулярная опухоль нижеампулярного отдела прямой кишки до лечения;

b – после неoadъювантной химиолучевой терапии опухоль уменьшилась в размерах, замещена фиброзом (дуга), что расценено как mrTRG2.

По данным патоморфологического исследования сохраняется остаточная опухоль, II ст. патоморфоза

Fig. 3. Example of MRI false positive conclusion, T2WI oblique axial plane:

a – lower ampullary rectum sub-circular tumor before treatment;

b – after neoadjuvant chemoradiotherapy, the tumor decreased in size and was replaced by fibrosis (arc), which was regarded as mrTRG2.

According to the pathomorphological study, a residual tumor remains, the pathomorphosis degree II

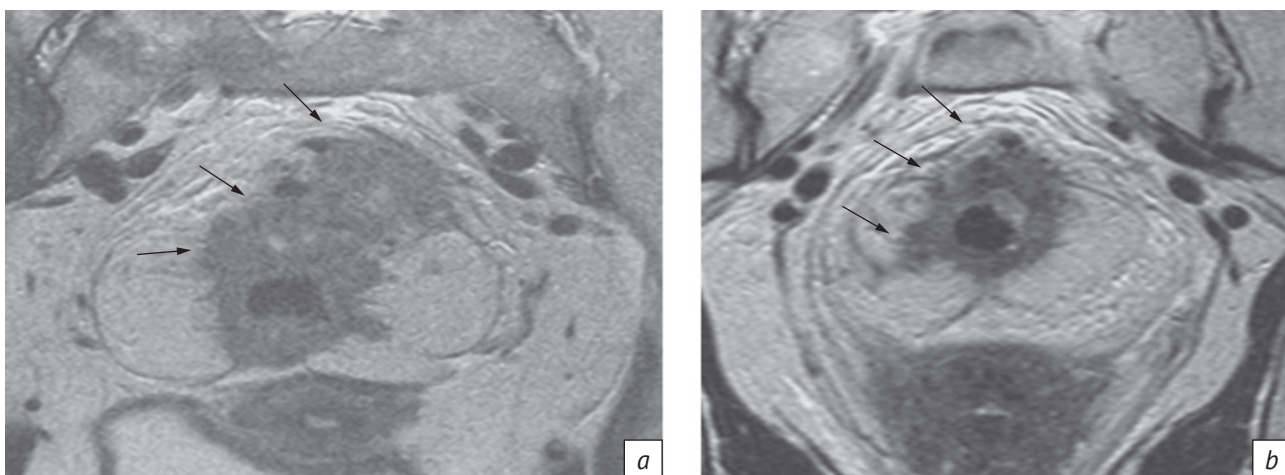


Рис. 4. Пример ложноотрицательного заключения МРТ, T2-ВИ в косоаксиальной плоскости:

a – циркулярная опухоль нижеампулярного отдела прямой кишки с массивным экстрамуральным распространением до лечения;

b – после неoadъювантной химиолучевой терапии опухоль уменьшилась в размерах, замещена фиброзом, однако сохраняются участки экстрамурального распространения (стрелки) со средней интенсивностью магнитно-резонансного сигнала, что расценено как mrTRG3.

По данным патоморфологического исследования, патоморфоз III ст. с единичными жизнеспособными опухолевыми клетками

Fig. 4. Example of MRI false negative conclusion, T2WI oblique axial plane:

a – lower ampullary rectum circular tumor with massive extramural spread before treatment;

b – after neoadjuvant chemoradiotherapy, the tumor decreased in size and was replaced by fibrosis, but areas of extramural distribution (arrows) with an average intensity of the magnetic resonance signal remained, which was regarded as mrTRG3.

According to the pathomorphological study, the III degree pathomorphosis with single viable tumor cells

Распределение пациентов на ответивших и не ответивших на НХЛТ приведено в таблице 6, а параметры диагностической эффективности МРТ с учетом ДВИ – в таблице 7.

Дополнительное использование ДВИ при анализе данных МРТ позволило достичь хорошей эффективности для всех диагностических критериев и достоверно повысить диагностическую точность

Таблица 5

Сопоставление результатов mrTRG с учетом диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) и степени патоморфоза по Е.Ф. Лушникову

Table 5

Comparison of mrTRG with diffusion-weighted images (DWI) results and pathomorphosis degree by Lushnikov method

mrTRG (MPT + ДВИ) / mrTRG (MRI + DWI)	Степень патоморфоза / Pathomorphosis degree				
	I	II	III	IV	Bcero / Total
4 + 5	4	2	0	0	6
3	2	5	1	1	9
2	0	2	5	7	14
1	0	0	0	1	1
Bcero / Total	6	9	6	9	30

Таблица 6

Сопоставление оценок эффективности неoadъювантной химиолучевой терапии по данным МРТ с ДВИ и патоморфологии

Table 6

Comparison of neoadjuvant chemoradiotherapy efficiency assesments according to MRI with DWI and pathomorphology

MPT + ДВИ / MRI + DWI	Патоморфология / Pathomorphology		
	Ответившие / Responding patients	Неответившие / Non-responding patients	Bcero / Total
Ответившие / Responding patients	13	2	15
Неответившие / Non-responding patients	2	13	15
Bcero / Total	15	15	30

Таблица 7

Диагностическая эффективность mrTRG (T2-ВИ + ДВИ) в дифференциации пациентов, ответивших и не ответивших на неoadъювантную химиолучевую терапию

Table 7

Diagnostic efficiency of mrTRG (T2WI + DWI) in the differentiation of patients responding and non-responding to neoadjuvant chemoradiotherapy

Параметры диагностики / Diagnostic parameters	Значение, % / Value, %	Нижняя граница 95% ДИ / 95% CI lower bound	Верхняя граница 95% ДИ / 95% CI upper bound
Чувствительность / Sensitivity	87	66	97
Специфичность / Specificity	87	66	97
Прогностичность положительного результата / Positive predictive value	87	66	97
Прогностичность отрицательного результата / Negative predictive value	87	66	97

с 68% до 87% ($p=0,040$). Количество как ложноположительных, так и ложноотрицательных заключений сократилось до 6%.

Обсуждение

Способность НХЛТ уменьшать объем опухоли у пациентов с местнораспространенным РПК [17]

в каждом конкретном случае реализуется по-разному и может варьировать от полного патоморфологического ответа до полного его отсутствия. Для предоперационной оценки эффективности НХЛТ рекомендуется использовать МРТ [18, 19], однако остается открытым вопрос об оптимальном способе интерпретации ее данных. Морфометрический

метод с использованием критериев RECIST плохо подходит для опухолей полых органов, в том числе РПК. Волюметрическая оценка, основанная на измерении объема опухоли по МРТ-изображениям [20–23], трудоемка и времязатратна, что ограничивает ее применение на практике. В качестве альтернативы этим методам U.B. Patel et al. предложили категориальную шкалу регрессии опухоли (mrTRG) на основе Т2-ВИ по аналогии с патоморфологическими шкалами [5, 24]. Внедрение ее в клиническую практику требует достоверных доказательств безопасности и клинической эффективности МРТ-ориентированного лечения пациентов. С этой целью в Европе проводится многоцентровое рандомизированное исследование TRIGGER [25], первые результаты которого ожидаются после 2020 г.

При клиническом использовании МРТ большое значение приобретает согласованность оценок разных специалистов. В нашем исследовании согласованность в оценках mrTRG двумя диагностами была хорошей и составила 0,83. По данным литературы, показатели согласованности оценок mrTRG на основе только Т2-ВИ варьируют в широких пределах, от плохих до почти отличных [26, 27], что, вероятно, отчасти связано с разной степенью подготовленности специалистов. В наиболее крупном исследовании было проведено сравнение оценок 35 лучевых диагностов, прошедших короткий период обучения системе mrTRG, и показано, что большинство из них смогли правильно разделить ответивших и не ответивших на НХЛТ [9]. Медиана к Коэна составила 0,57, что авторы рассматривают как клинически приемлемый уровень согласованности оценок. Интересно, что в этом исследовании 90% специалистов смогли правильно определить не ответивших на НХЛТ (mrTRG3-5), но только 66% из них выявили ответивших, то есть прослеживалась тенденция к неверному истолкованию фиброза как остаточной опухоли [9]. Воспалительные явления в фиброзном рубце и слизистые включения рассматриваются как основные причины гиподиагностики полного патоморфологического ответа опухоли [28].

В нашем исследовании, напротив, преобладали ложноположительные оценки (18%), обусловленные широким фиброзным замещением циркулярных или полуциркулярных опухолей. По данным литературы, такой паттерн на Т2-ВИ после НХЛТ встречается наиболее часто [29]. В целом использование системы mrTRG в нашей работе характеризовалось хорошей чувствительностью, удовлетворительной прогностичностью положительного результата и посредственными специфичностью

и прогностичностью отрицательного результата в разграничении пациентов, ответивших и не ответивших на неoadъювантное лечение.

Сложность дифференциации фиброза и остаточной опухоли как основная проблема Т2-ВИ отмечена многими исследователями. Опубликованные результаты убедительно свидетельствуют, что интенсивность сигнала на Т2-ВИ является менее надежным визуализационным маркером опухоли, чем ДВ-МРТ. ДВИ, несмотря на невозможность выявления микроскопического опухолевого поражения, обладают высокой специфичностью, позволяющей достоверно исключить полный патоморфологический ответ при наличии сигнала в ложе опухоли [30, 31]. Логичным выглядит стремление различных исследователей дополнять системы МРТ-оценок опухолевого ответа за счет ДВИ. Так, E. Iannicelli et al. включили ДВИ с высоким значением b-фактора в систему mrTRG [10]. Аналогичный подход, учитывающий ДВИ при использовании модифицированной системы mrTRG, доказал свою эффективность в прогнозировании 3-летней безрецидивной выживаемости [13]. Другой метод, разработанный на основе паттернов магнитно-резонансных изображений, также включает сочетание Т2-ВИ и ДВИ [22]. В нашем исследовании, несмотря на небольшое число пациентов с ДВ-МРТ, получено достоверное повышение диагностической эффективности системы mrTRG за счет включения в нее ДВИ. Достигнуто повышение специфичности и прогностической значимости положительного и отрицательного результатов, при этом удалось сократить число как ложноположительных, так и ложноотрицательных заключений до 6%. В связи с этим мы считаем обоснованным включение ДВИ в систему mrTRG на основе Т2-ВИ при МРТ-оценке ответа опухоли на НХЛТ.

Заключение

Оценка эффективности НХЛТ с помощью системы mrTRG двумя специалистами, работающими в одном медицинском учреждении, показала хорошую согласованность результатов.

Проспективная дифференциация пациентов, ответивших и не ответивших на НХЛТ, с помощью определения показателей mrTRG имеет посредственную точность (68%) с 18% ложноположительных и 14% ложноотрицательных результатов.

ДВИ позволяют достоверно повысить точность МРТ-оценки ответа опухоли на НХЛТ с использованием системы mrTRG до 87% и снизить количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов до 6%.

Литература

- Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. (ред.) Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава; 2019.
- Рак прямой кишки. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. МКБ10: C20. 2017. URL: https://library.mededtech.ru/rest/documents/cr_706 (дата обращения 01.02.2021).
- Бердов Б.А., Ерыгин Д.В., Невольских А.А. и др. Неоадъювантная терапия местно-распространенного рака прямой кишки. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2018; 7(3): 9–15. <https://doi.org/10.17116/onkolog2018739>.
- Тюряева Е.И. Химиолучевое лечение рака прямой кишки. Практическая онкология. 2008; 9(1): 31–38.
- Patel UB, Taylor F, Blomqvist L, et al. Magnetic resonance imaging-detected tumor response for locally advanced rectal cancer predicts survival outcomes: MERCURY experience. J Clin Oncol. 2011; 29(28): 3753–60. <https://doi.org/10.1200/JCO.2011.34.9068>.
- Rödel C, Martus P, Papadopoulos T, et al. Prognostic significance of tumor regression after preoperative chemoradiotherapy for rectal cancer. J Clin Oncol. 2005; 23(34): 8688–96. <https://doi.org/10.1200/JCO.2005.02.1329>.
- Taylor F, Mangat N, Swift IR, Brown G. Proforma-based reporting in rectal cancer. Cancer Imaging. 2010; 10(1A): S142–50. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2010.9092>.
- Mandard AM, Dalibard F, Mandard JC, et al. Pathologic assessment of tumor regression after preoperative chemoradiotherapy of esophageal carcinoma. Clinicopathologic correlations. Cancer. 1994; 73(11): 2680–6.
- Siddiqui MR, Bhoday J, Battersby NJ, et al. Defining response to radiotherapy in rectal cancer using magnetic resonance imaging and histopathological scales. World J Gastroenterol. 2016; 22(37): 8414–34. <https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i37.8414>.
- Iannicelli E, Di Pietropaolo M, Pilozzi E, et al. Value of diffusion-weighted MRI and apparent diffusion coefficient measurements for predicting the response of locally advanced rectal cancer to neoadjuvant chemoradiotherapy. Abdom Radiol (NY). 2016; 41(10): 1906–17. <https://doi.org/10.1007/s00261-016-0805-9>.
- Smith JJ, Chow OS, Gollub MJ, et al. Organ preservation in rectal adenocarcinoma: a phase II randomized controlled trial evaluating 3-year disease-free survival in patients with locally advanced rectal cancer treated with chemoradiation plus induction or consolidation chemotherapy, and total mesorectal excision or nonoperative management. BMC Cancer. 2015; 15: 767. <https://doi.org/10.1186/s12885-015-1632-z>.
- Park MJ, Kim SH, Lee SJ, et al. Locally advanced rectal cancer: added value of diffusion-weighted MR imaging for predicting tumor clearance of the mesorectal fascia after neoadjuvant chemotherapy and radiation therapy. Radiology. 2011; 260(3): 771–80. <https://doi.org/10.1148/radiol.11102135>.
- Lee MA, Cho SH, Seo AN, et al. Modified 3-point MRI-based tumor regression grade incorporating DWI for locally advanced rectal cancer. Am J Roentgenol. 2017; 209(6): 1247–55. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17242>.
- Siddiqui MR, Gormly KL, Bhoday J, et al. Interobserver agreement of radiologists assessing the response of rectal cancers to preoperative chemoradiation using the MRI tumour regression grading (mrTRG). Clin Radiol. 2016; 71(9): 854–62. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2016.05.005>.
- Лушников Е.Ф. Лечебный патоморфоз опухолей. В кн.: Краевский Н.А., Смоляникова А.В., Саркисова Д.С. (ред.) Патологоанатомическая диагностика опухолей человека. М.: Медицина; 1993.
- Viera AJ, Garrett JM. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. Fam Med. 2005; 37(5): 360–3.
- Sauer R, Liersch T, Merkel S, et al. Preoperative versus postoperative chemoradiotherapy for locally advanced rectal cancer: results of the German CAO/ARO/AIO-94 randomized phase III trial after a median follow-up of 11 years. J Clin Oncol. 2012; 30(16): 1926–33. <https://doi.org/10.1200/JCO.2011.40.1836>.
- Балаясникова С.С., Дронова Е.Л., Лукьянченко А.Б. и др. Возможности стандартных режимов магнитно-резонансной томографии совместно с диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографией в оценке местной распространенности рака прямой кишки. Тазовая хирургия и онкология. 2013; 1: 19–30.
- Gollub MJ, Lall C, Lalwani N, Rosenthal MH. Current controversy, confusion, and imprecision in the use and interpretation of rectal MRI. Abdom Radiol. 2019; 44(11): 3549–58. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-01996-3>.
- Рубцова Н.А., Пузаков К.Б. Роль МРТ в диагностике, планировании и оценке эффективности лечения рака прямой кишки. Российский онкологический журнал. 2012; 3: 42–50.
- Curvo-Semedo L, Lambregts DM, Maas M, et al. Rectal cancer: assessment of complete response to preoperative combined radiation therapy with chemotherapy – conventional MR volumetry versus diffusion-weighted MR imaging. Radiology. 2011; 260(3): 734–43. <https://doi.org/10.1148/radiol.11102467>.
- Lambregts DM, Rao SX, Sassen S, et al. MRI and diffusion-weighted MRI volumetry for identification of complete tumor responders after preoperative chemoradiotherapy in patients with rectal cancer: a bi-institutional validation study. Ann Surg. 2015; 262(6): 1034–9. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000909>.
- Quaia E, Gennari AG, Ricciardi MC, et al. Value of percent change in tumoral volume measured at T2-weighted and diffusion-weighted MRI to identify responders after neoadjuvant chemoradiation therapy in patients with locally advanced rectal carcinoma. J Magn Reson Imaging. 2016; 44(6): 1415–24. <https://doi.org/10.1002/jmri.25310>.
- Patel UB, Brown G, Rutten H, et al. Comparison of magnetic resonance imaging and histopathological response to chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer. Ann Surg Oncol. 2012; 19(9): 2842–52. <https://doi.org/10.1245/s10434-012-2309-3>.
- Battersby NJ, Dattani M, Rao S, et al. A rectal cancer feasibility study with an embedded phase III trial design assessing magnetic resonance tumour regression grade (mrTRG) as novel biomarker to stratify management by good and poor response to chemoradiotherapy (TRIGGER): study protocol for a randomised controlled trial. Trials. 2017; 18(1): 394. <https://doi.org/10.1186/s13063-017-2085-2>.
- Hötter AM, Tarlinton L, Mazaheri Y, et al. Multiparametric MRI in the assessment of response of rectal cancer to neoadjuvant

- chemoradiotherapy: a comparison of morphological, volumetric and functional MRI parameters. *Eur Radiol.* 2016; 26(12): 4303–12. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4283-9>.
27. Beddy D, Hyland JM, Winter DC, et al. A simplified tumor regression grade correlates with survival in locally advanced rectal carcinoma treated with neoadjuvant chemoradiotherapy. *Ann Surg Oncol.* 2008; 15(12): 3471–7. <https://doi.org/10.1245/s10434-008-0149-y>.
 28. Lambregts DM, Delli Pizzi A, Lahaye MJ, et al. A pattern-based approach combining tumor morphology on MRI with distinct signal patterns on diffusion-weighted imaging to assess response of rectal tumors after chemoradiotherapy. *Dis Colon Rectum.* 2018; 61(3): 328–37. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000000915>.
 29. Березовская Т.П., Мозеров С.А., Дайнеко Я.А. и др. МРТ-патоморфологические параллели при полном ответе опухоли на неoadъювантное химиолучевое лечение рака прямой кишки. *Исследования и практика в медицине.* 2019; 6(2): 40–50. <https://doi.org/10.17709/2409-2231-2019-6-2-4>.
 30. van der Paardt MP, Zagers MB, Beets-Tan RG, et al. Patients who undergo preoperative chemoradiotherapy for locally advanced rectal cancer restaged by using diagnostic MR imaging: a systematic review and meta-analysis. *Radiology.* 2013; 269(1): 101–12. <https://doi.org/10.1148/radiol.13122833>.
 31. Maas M, Lambregts DM, Nelemans PJ, et al. Assessment of clinical complete response after chemoradiation for rectal cancer with digital rectal examination, endoscopy, and MRI: selection for organ-saving treatment. *Ann Surg Oncol.* 2015; 22(12): 3873–80. <https://doi.org/10.1245/s10434-015-4687-9>.

References

1. Kaprin AD, Starinsky VV, Petrova GV (Eds.) *Malignant neoplasms in Russia in 2018 (morbidity and mortality).* Moscow; 2019.
2. Rectal cancer. Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation. MKB 10: C20. 2017. Available at: https://library.mededtech.ru/rest/documents/cr_706 (accessed February 1, 2021) (in Russ.).
3. Berdov BA, Erygin DV, Nevol'skikh AA, et al. Neoadjuvant therapy for locally advanced rectal cancer. *P.A. Herzen Journal of Oncology.* 2018; 7(3): 9–15 (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/onkolog2018739>.
4. Tyuryaeva EI. Chemotherapy for colorectal cancer. *Practical oncology.* 2008; 9(1): 31–8 (in Russ.).
5. Patel UB, Taylor F, Blomqvist L, et al. Magnetic resonance imaging-detected tumor response for locally advanced rectal cancer predicts survival outcomes: MERCURY experience. *J Clin Oncol.* 2011; 29(28): 3753–60. <https://doi.org/10.1200/JCO.2011.34.9068>.
6. Rödel C, Martus P, Papadopoulos T, et al. Prognostic significance of tumor regression after preoperative chemoradiotherapy for rectal cancer. *J Clin Oncol.* 2005; 23(34): 8688–96. <https://doi.org/10.1200/JCO.2005.02.1329>.
7. Taylor F, Mangat N, Swift IR, Brown G. Proforma-based reporting in rectal cancer. *Cancer Imaging.* 2010; 10(1A): S142–50. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2010.9092>.
8. Mandard AM, Dalibard F, Mandard JC, et al. Pathologic assessment of tumor regression after preoperative chemoradiotherapy of esophageal carcinoma. Clinicopathologic correlations. *Cancer.* 1994; 73(11): 2680–6.
9. Siddiqui MR, Bhoday J, Battersby NJ, et al. Defining response to radiotherapy in rectal cancer using magnetic resonance imaging and histopathological scales. *World J Gastroenterol.* 2016; 22(37): 8414–34. <https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i37.8414>.
10. Iannicelli E, Di Pietropaolo M, Pilozzi E, et al. Value of diffusion-weighted MRI and apparent diffusion coefficient measurements for predicting the response of locally advanced rectal cancer to neoadjuvant chemoradiotherapy. *Abdom Radiol (NY).* 2016; 41(10): 1906–17. <https://doi.org/10.1007/s00261-016-0805-9>.
11. Smith JJ, Chow OS, Gollub MJ, et al. Organ preservation in rectal adenocarcinoma: a phase II randomized controlled trial evaluating 3-year disease-free survival in patients with locally advanced rectal cancer treated with chemoradiation plus induction or consolidation chemotherapy, and total mesorectal excision or nonoperative management. *BMC Cancer.* 2015; 15: 767. <https://doi.org/10.1186/s12885-015-1632-z>.
12. Park MJ, Kim SH, Lee SJ, et al. Locally advanced rectal cancer: added value of diffusion-weighted MR imaging for predicting tumor clearance of the mesorectal fascia after neoadjuvant chemotherapy and radiation therapy. *Radiology.* 2011; 260(3): 771–80. <https://doi.org/10.1148/radiol.11102135>.
13. Lee MA, Cho SH, Seo AN, et al. Modified 3-point MRI-based tumor regression grade incorporating DWI for locally advanced rectal cancer. *Am J Roentgenol.* 2017; 209(6): 1247–55. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17242>.
14. Siddiqui MR, Gormly KL, Bhoday J, et al. Interobserver agreement of radiologists assessing the response of rectal cancers to preoperative chemoradiation using the MRI tumour regression grading (mrTRG). *Clin Radiol.* 2016; 71(9): 854–62. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2016.05.005>.
15. Lushnikov EF. Therapeutic pathomorphosis of tumors. In: Kraevskiy NA, Smolyannikova AV, Sarkisova DS (Eds.) *Pathoanatomical diagnosis of human tumors.* Moscow: Meditsina; 1993 (in Russ.).
16. Viera AJ, Garrett JM. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam Med.* 2005; 37(5): 360–3.
17. Sauer R, Liersch T, Merkel S, et al. Preoperative versus postoperative chemoradiotherapy for locally advanced rectal cancer: results of the German CAO/ARO/AIO-94 randomized phase III trial after a median follow-up of 11 years. *J Clin Oncol.* 2012; 30(16): 1926–33. <https://doi.org/10.1200/JCO.2011.40.1836>.
18. Balyasnikova SS, Dronova YL, Lukyanchenko AB, et al. Local staging of rectal cancer with conventional and diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Pelvic Surgery and Oncology.* 2013; 1: 19–30 (in Russ.).
19. Gollub MJ, Lall C, Lalwani N, Rosenthal MH. Current controversy, confusion, and imprecision in the use and interpretation of rectal MRI. *Abdom Radiol.* 2019; 44(11): 3549–58. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-01996-3>.
20. Rubtsova NA, Puzakov KB. Role of magnetic resonance imaging in the diagnosis of rectal cancer, the planning of and evaluation of the efficiency of its treatment. *Russian Journal of Oncology.* 2012; 3: 42–50 (in Russ.).
21. Curvo-Semedo L, Lambregts DM, Maas M, et al. Rectal cancer: assessment of complete response to preoperative combined

- radiation therapy with chemotherapy – conventional MR volumetry versus diffusion-weighted MR imaging. *Radiology*. 2011; 260(3): 734–43. <https://doi.org/10.1148/radiol.11102467>.
22. Lambregts DM, Rao SX, Sassen S, et al. MRI and diffusion-weighted MRI volumetry for identification of complete tumor responders after preoperative chemoradiotherapy in patients with rectal cancer: a bi-institutional validation study. *Ann Surg*. 2015; 262(6): 1034–9. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000909>.
 23. Quaia E, Gennari AG, Ricciardi MC, et al. Value of percent change in tumoral volume measured at T2-weighted and diffusion-weighted MRI to identify responders after neoadjuvant chemoradiation therapy in patients with locally advanced rectal carcinoma. *J Magn Reson Imaging*. 2016; 44(6): 1415–24. <https://doi.org/10.1002/jmri.25310>.
 24. Patel UB, Brown G, Rutten H, et al. Comparison of magnetic resonance imaging and histopathological response to chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer. *Ann Surg Oncol*. 2012; 19(9): 2842–52. <https://doi.org/10.1245/s10434-012-2309-3>.
 25. Battersby NJ, Dattani M, Rao S, et al. A rectal cancer feasibility study with an embedded phase III trial design assessing magnetic resonance tumour regression grade (mrTRG) as a novel biomarker to stratify management by good and poor response to chemoradiotherapy (TRIGGER): study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*. 2017; 18(1): 394. <https://doi.org/10.1186/s13063-017-2085-2>.
 26. Hötter AM, Tarlinton L, Mazaheri Y, et al. Multiparametric MRI in the assessment of response of rectal cancer to neoadjuvant chemoradiotherapy: a comparison of morphological, volumetric and functional MRI parameters. *Eur Radiol*. 2016; 26(12): 4303–12. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4283-9>.
 27. Beddy D, Hyland JM, Winter DC, et al. A simplified tumor regression grade correlates with survival in locally advanced rectal carcinoma treated with neoadjuvant chemoradiotherapy. *Ann Surg Oncol*. 2008; 15(12): 3471–7. <https://doi.org/10.1245/s10434-008-0149-y>.
 28. Lambregts DM, Delli Pizzi A, Lahaye MJ, et al. A pattern-based approach combining tumor morphology on MRI with distinct signal patterns on diffusion-weighted imaging to assess response of rectal tumors after chemoradiotherapy. *Dis Colon Rectum*. 2018; 61(3): 328–37. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000000915>.
 29. Berezoskaya TP, Mozerov SA, Dayneko YaA, et al. MRI-pathological parallels with the complete tumor response to neoadjuvant chemoradiation treatment of rectal cancer. *Research'n Practical Medicine Journal*. 2019; 6(2): 40–50 (in Russ.). <https://doi.org/10.17709/2409-2231-2019-6-2-4>.
 30. van der Paardt MP, Zagers MB, Beets-Tan RG, et al. Patients who undergo preoperative chemoradiotherapy for locally advanced rectal cancer restaged by using diagnostic MR imaging: a systematic review and meta-analysis. *Radiology*. 2013; 269(1): 101–12. <https://doi.org/10.1148/radiol.13122833>.
 31. Maas M, Lambregts DM, Nelemans PJ, et al. Assessment of clinical complete response after chemoradiation for rectal cancer with digital rectal examination, endoscopy, and MRI: selection for organ-saving treatment. *Ann Surg Oncol*. 2015; 22(12): 3873–80. <https://doi.org/10.1245/s10434-015-4687-9>.



Очаговые артефакты при сцинтиграфии скелета

Миронов С.П., Василенко Е.И., Каралкина М.А., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б.

Научно-исследовательский институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова
ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России,
ул. 3-я Черепковская, 15а, Москва, 121552, Российская Федерация

Миронов Сергей Петрович, д. м. н., профессор, врач-радиолог лаборатории радиоизотопной диагностики и терапии отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии;
<http://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

Василенко Елена Игоревна, к. м. н., заведующая лабораторией радиоизотопной диагностики и терапии отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии;
<https://orcid.org/0000-0002-2572-3438>

Каралкина Мария Алексеевна, к. м. н., врач-радиолог лаборатории радиоизотопной диагностики и терапии отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии;
<https://orcid.org/0000-0002-9267-3602>

Бугрий Михаил Евгеньевич, заведующий позитронно-эмиссионной лабораторией отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии;
<https://orcid.org/0000-0002-2390-0883>

Сергиенко Владимир Борисович, д. м. н., профессор, руководитель отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии;
<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Резюме

Цель: уточнить и систематизировать причины, способные индуцировать очаговые артефакты при сцинтиграфии скелета с ^{99m}Tc -пирофосфатом (ПФ), их семиотику, принципы и методические приемы дифференциации от костной патологии.

Материал и методы. Проанализированы результаты сцинтиграфии скелета у 1568 пациентов. Сканирование в режиме «все тело» начинали через 3 ч после внутривенного введения радиофармпрепарата (РФП) активностью 740 МБк и проводили в передней и задней проекциях при непрерывном движении стола со скоростью 12 см/мин. При необходимости выполняли досмотр в режиме однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с компьютерной томографией.

Результаты. Очаговые артефакты, констатированные у 40 (2,55%) пациентов, по характеру имитируемых ими изменений костной системы разделены на «холодные» и «горячие». «Холодные» очаги ($n = 29$) были следствием экранирующего эффекта металлических аксессуаров (10), имплантатов, эндопротезов (18), а также бариевой взвеси в толстом кишечнике (1). «Горячие» очаги ($n = 11$) имитировали метастатическое поражение костных структур в результате проекционного эффекта внекостного накопления ^{99m}Tc -ПФ ($n = 9$) или мочевого загрязнения ($n = 2$). «Горячий» очаг в проекции верхнего полюса почки ($n = 5$) мог быть следствием как каликостазы ($n = 3$), так и травмы прилежащего ребра ($n = 2$). Высокий захват ^{99m}Tc -ПФ узлом щитовидной железы ($n = 3$) имитировал «горячий» очаг в боковом отделе шейного позвонка. Аномальное накопление РФП сосковыми зонами удаленной молочной железы проецировалось на задние отрезки ребер. Мочевая контаминация имитировала очаговую патологию костей таза. Дифференцирование очаговой патологии ребер и каликостазов проводилось при досмотре области почек в положении пациента стоя. Для уточнения проекционного соответствия «горячих» очагов использовали программу их «маскировки» (mask in).

Заключение. Анализ причин формирования очаговых артефактов при сцинтиграфии скелета способствует адекватной оценке полученных данных, позволяет выбрать необходимый методический прием их диагностики, избежать ошибочной интерпретации результатов остеосцинтиграфии.

Ключевые слова: сцинтиграфия скелета; ^{99m}Tc -пирофосфат; очаговые артефакты.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Миронов С.П., Василенко Е.И., Каралкина М.А., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б. Очаговые артефакты при сцинтиграфии скелета. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(1): 18–27. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-18-27>

Для корреспонденции: Миронов Сергей Петрович, E-mail: msp1942@yandex.ru

Статья поступила 27.04.2020

После доработки 06.05.2020

Принята к печати 07.05.2020

Focal Artefacts in Skeletal Scitigraphy

**Sergey P. Mironov, Elena I. Vasilenko, Mariya A. Karalkina,
Mikhail E. Bugriy, Vladimir B. Sergienko**

*Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology,
Ministry of Health of the Russian Federation,
ul. Tret'ya Cherepkovskaya, 15a, Moscow, 121552, Russian Federation*

Sergey P. Mironov, Dr. Med. Sc., Professor, Radiologist, Radioisotope Diagnostics and Therapy Laboratory, Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography Department;
<http://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

Elena I. Vasilenko, Cand. Med. Sc., Head of Radioisotope Diagnostics and Therapy Laboratory, Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography Department;
<https://orcid.org/0000-0002-2572-3438>

Mariya A. Karalkina, Cand. Med. Sc., Radiologist, Radioisotope Diagnostics and Therapy Laboratory, Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography Department;
<https://orcid.org/0000-0002-9267-3602>

Mikhail E. Bugriy, Head of Positron Emission Laboratory, Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography Department;
<https://orcid.org/0000-0002-2390-0883>

Vladimir B. Sergienko, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography Department;
<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Abstract

Objective: to clarify and systematize the causes that can induce focal artefacts in skeletal scintigraphy with ^{99m}Tc -pyrophosphate (PyP), their semiotics, principles and methods of differentiation from bone pathology.

Material and methods. Results of skeletal scintigraphy from 1568 patients were analyzed. Scanning in "whole body" mode started in 3 hours after 740 MBq of radiotracer activity intravenous administration, and performed in anterior and posterior projections in continuous table motion mode at rate of 12 cm per minute. Single photon emission computed tomography/computed tomography was additionally performed when necessary.

Results. Focal artifacts were detected in 40 patients (2.55%) and were divided into "cold" and "hot" according to the nature of the bone system changes they simulated. "Cold" spots ($n = 29$) were the result of the shielding effect of metal accessories ($n = 10$), implants, endoprotheses ($n = 18$), and barium suspension residues in the large intestine ($n = 1$). "Hot" spots ($n = 11$) mimicking metastatic lesion of bone structures were the results of the projection effect of extraosseous uptake of ^{99m}Tc -PyP ($n = 9$) or urinary contamination ($n = 2$). "Hot" spots in the projection of the upper pole of the kidney ($n = 5$) could be the result of both calicostasis ($n = 3$) and injury of the adjacent rib ($n = 2$). The high uptake of ^{99m}Tc -PyP in thyroid nodule ($n = 3$) simulated a "hot" spot in the lateral part of the cervical vertebra. Abnormal accumulation of ^{99m}Tc -PyP in the nipple-areola areas of the breast was projected onto the posterior segments of the ribs. Urinary contamination imitated focal pathology of the pelvic bones. To differentiate the focal pathology of the ribs and calicostases, the patients were examined in the standing position. The "mask in" program was used to clarify the localization and projection correspondence of "hot" foci.

Conclusion. Analysis of focal artefacts formation causes in skeletal scintigraphy contributes to an adequate assessment of the data obtained, allows to choose the necessary method for their diagnosis and to avoid false results of osteoscintigraphy.

Keywords: skeletal scintigraphy; ^{99m}Tc -pyrophosphate; scintigraphic artefacts.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Mironov SP, Vasilenko EI, Karalkina MA, Bugriy ME, Sergienko VB. Focal artefacts in skeletal scintigraphy. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(1): 18–27 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-18-27>

For corresponding: Sergey P. Mironov, E-mail: msp1942@yandex.ru

Received April 27, 2020

Revised May 6, 2020

Accepted May 7, 2020

Введение

Сцинтиграфия скелета с мечеными ^{99m}Tc аналогами фосфатов (^{99m}Tc -пирофосфат (ПФ) и ^{99m}Tc -метилен-дифосфонат (МДФ)), несмотря на развитие различных технологий и средств инструментальной визуализации, остается основным методом скрининга и ранней диагностики

метастатического поражения скелета. Ведущий признак костной патологии, независимо от его причины, – очаговые аномалии в виде локальных зон гипер- или гипопиксации селективного радиофармпрепарата (РФП), поиск и анализ которых составляет основу сцинтиграфического исследования скелета. По данным многочисленных

исследований, чувствительность сцинтиграфии скелета составляет 96–97%, а вероятность ложно-отрицательных результатов не превышает 2–4%. Специфичность значительно ниже и колеблется в пределах 40–60% в зависимости от используемого остеотропного РФП [1]. Низкая специфичность предполагает высокую вероятность ложноположительных результатов. Одной из причин подобных ошибок могут быть очаговые артефакты.

Под очаговым артефактом в контексте задач остеосцинтиграфии мы понимаем аномальное локальное распределение РФП, имитирующее опухолевую патологию скелета. Факторы, способные вызвать артефактное распределение остеотропного РФП, многообразны и нередко обусловлены недостаточным контролем качества отдельных этапов диагностической цепочки. С учетом этого описываемые в литературе многочисленные артефакты разделяют на три основные группы: инструментальные, радиофармацевтические и методические. Инструментальные артефакты связывают с изменениями характеристик сцинтиграфического устройства; радиофармацевтические чаще являются следствием радиохимического загрязнения в процессе приготовления РФП. Методические, или технические, артефакты включают широкий и не всегда четко очерченный спектр аномалий, обусловленных недостаточным контролем качества этапа подготовки пациента к исследованию [2, 3].

Очаговые артефактные находки, выявленные как в процессе планарной сцинтиграфии скелета, так и при использовании гибридных технологий, достаточно широко представлены в зарубежных публикациях [4, 5], но не систематизированы и отсутствуют в отечественной литературе.

Цель работы – уточнить и систематизировать причины, способные индуцировать очаговые артефакты при сцинтиграфии скелета с ^{99m}Tc -пирофосфатом, их семиотику, принципы и методические приемы дифференциации от костной патологии.

Материал и методы

Проведен ретроспективный анализ последовательных радионуклидных исследований скелета 1568 больных (590 мужчин и 978 женщин) в возрасте 28–86 лет, выполненных в период 2018–2019 гг. с целью поиска костных метастазов при опухолях различной локализации, в том числе до и после проведения лечебных мероприятий. В структуре онкологической патологии пациенты с заболеваниями молочной железы составили 52,9% ($n = 831$), предстательной железы – 25% ($n = 392$), щитовидной железы – 4,2% ($n = 66$), легких – 2,86% ($n = 45$). Суммарная доля злокачественных опухолей других локализаций не превысила 15%.

Остеосцинтиграфию проводили по стандартному протоколу на двухдетекторных однофотонных эмиссионных компьютерных томографах (ОФЭКТ) BrightView XCT и SkyLight (Philips, Нидерланды). Использовали низкоэнергетический высокоразрешающий коллиматор (VXHR). В качестве РФП применяли ^{99m}Tc -ПФ (Пирфотех, ООО «Диамед», Россия). Сканирование в режиме «все тело» начинали через 2–3 ч после внутривенного введения РФП активностью 740 МБк и проводили одновременно в передней и задней проекциях при непрерывном движении стола со скоростью 12 см/мин. Перед началом процедуры пациент опорожнял мочевой пузырь. При необходимости уточнения характера выявленных изменений исследование дополняли томосцинтиграфией в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ или другими методическими приемами.

Результаты

Очаговые артефактные изменения скелета констатированы у 40 пациентов, что составило 2,55% от числа всех проанализированных остеосцинтиграмм. По характеру сцинтиграфической манифестации, независимо от возможных причин, они условно разделены на «холодные» и «горячие».

«Холодные» очаги как признак костной патологии регистрируются примерно в 2% метастатических поражений. Это объясняется снижением их остеобластической активности, местным нарушением кровообращения, вовлечением в опухолевый процесс костного мозга. Данные изменения чаще наблюдаются при метастазах рака почек, щитовидной железы, меланоме. При этом у одного и того же пациента могут одновременно визуализироваться как «холодные», так и «горячие» очаги [6].

Артефактные «холодные» очаги в нашем анализе выявлены у 29 больных как результат ослабления низкоэнергетического излучения ^{99m}Tc тремя категориями предметов.

Металл-индуцированные артефакты ($n = 10$) явились следствием экранирующего эффекта металлических аксессуаров одежды и украшений. Они выявлялись в передней проекции и легко идентифицировались, поскольку их сцинтиграфический рисунок достаточно точно повторял контуры оригиналов, накладывающиеся на изображение ребер (медальоны, кулоны) или поясничных позвонков (пряжки ремня) (рис. 1). Следует учесть, что сцинтиграфический «негатив» накладывающихся на грудину крестиков может не отражать мелкие детали оригинала и представляться округлой или овальной «холодной» зоной. Данная особенность, вероятно, связана с разрешающей способностью сцинтиграфических устройств и динамической нерезкостью изображения вследствие дыхательных экскурсий грудной клетки. Кроме того, «холодные»

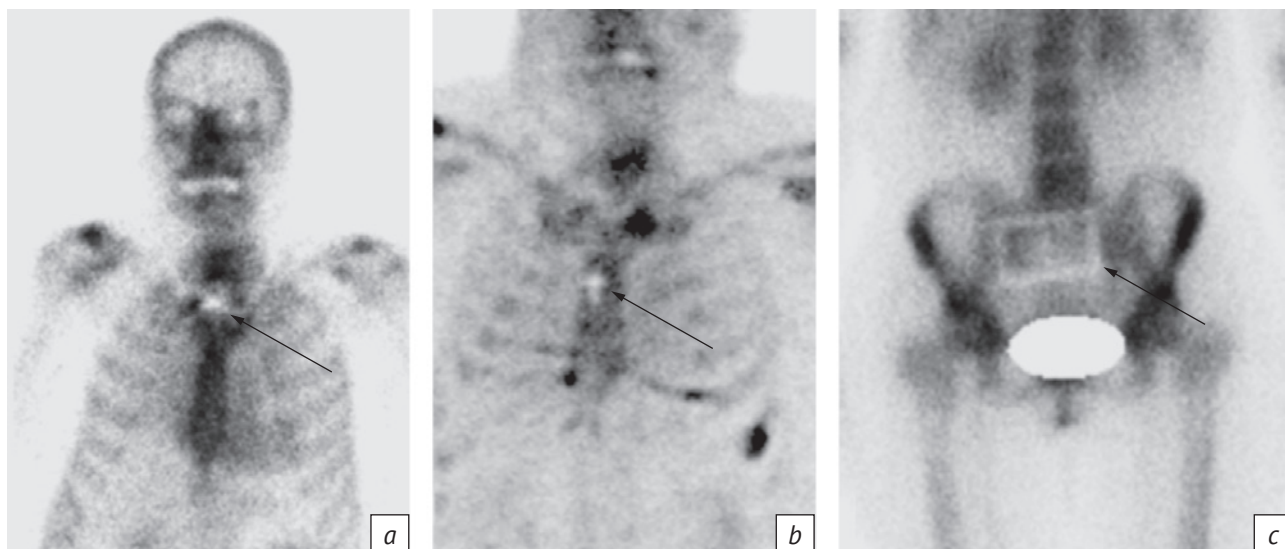


Рис. 1. Сцинтиграфические варианты металл-индуцированных артефактов:

a – фотон-дефицитная зона в проекции яремной вырезки грудины с характерной «дорожкой» как результат экранирования излучения ^{99m}Tc -пирофосфата медальоном на цепочке;

b – «холодный» очаг грудины, имитированный крестиком;

c – экранирование изображения крестца пряжкой ремня затрудняет выявление возможных костных изменений

Fig. 1. Scintigraphic variants of metal-induced artefacts:

a – photon-deficient zone in the projection of the jugular sternal notch with a characteristic "path" as a result of ^{99m}Tc -pyrophosphate radiation shielding by a locket on a chain;

b – "cold" spot of the sternum simulated by a cross;

c – shielding of the sacrum image with a belt buckle makes it difficult to identify possible bone changes

очаги в проекции грудины помимо их артефактного происхождения могут быть как сцинтиграфическим вариантом нормы [7], так и признаком метастатического поражения [8].

Имплантат-индуцированные артефакты ($n = 18$) включали кардиостимуляторы, экспандеры, имплантаты, протезы молочной железы и суставов. Локализация подобных псевдоочагов и их сцинтиграфическая картина достаточно специфична для каждого варианта имплантата или протеза. Для кардиостимулятора это область межреберий верхних ребер слева. Имплантаты, эндо- или съемные протезы молочной железы дают крупную округлую зону гипофиксации РФП на стороне перенесенной операции с характерным «ободком» повышенного накопления РФП по периферии (рис. 2).

Контраст-индуцированный артефакт ($n = 1$) был опосредован остатками бариевой взвеси в кишечнике после проведенного накануне рентгенологического исследования. После приема внутрь крупные скопления бариевой суспензии могут задерживаться в слепой, поперечно-ободочной или сигмовидной кишках, накладываясь на изображение позвоночника или костей таза и имитировать там «холодные» очаги. Для идентификации артефакта может потребоваться досмотр в режиме ОФЭКТ/КТ (рис. 3). Другим вариантом контраст-индуцированных артефактов является аномальное накопление остеотропных РФП печенью

или стенками кишечника при проведении сцинтиграфического исследования на фоне внутривенно введенных гадолиний- или йодсодержащих контрастных веществ [9, 10].

«Горячие» очаги – наиболее частая причина ложноположительной интерпретации результатов планарной остеосцинтиграфии. Чаще всего это обусловлено сложностью дифференциальной диагностики с остеодегенеративными изменениями, когда выраженная минерализация, возникающая как результат дистрофических изменений, симулирует реактивное или патологическое костеобразование, характерное для метастазов. Кроме того, выраженный полиморфизм метастатических поражений определяет значительную вариабельность их сцинтиграфических проявлений, среди которых в 15% случаев встречаются обособленные «горячие» очаги. Следует отметить, что обнаруженные у пациентов с онкологическим анамнезом одиночные «горячие» очаги, выявленные при сцинтиграфии скелета, примерно в 50% случаев являются метастазами [11].

Артефактные «горячие» очаги были констатированы у 11 пациентов и включали нефроурологические ($n = 5$) и мягкотканые ($n = 4$) находки, а также мочевую контаминацию ($n = 2$).

Нефроурологические находки, или анатомо-функциональные изменения мочевыделительной системы, выявляются в процессе сцинтиграфии

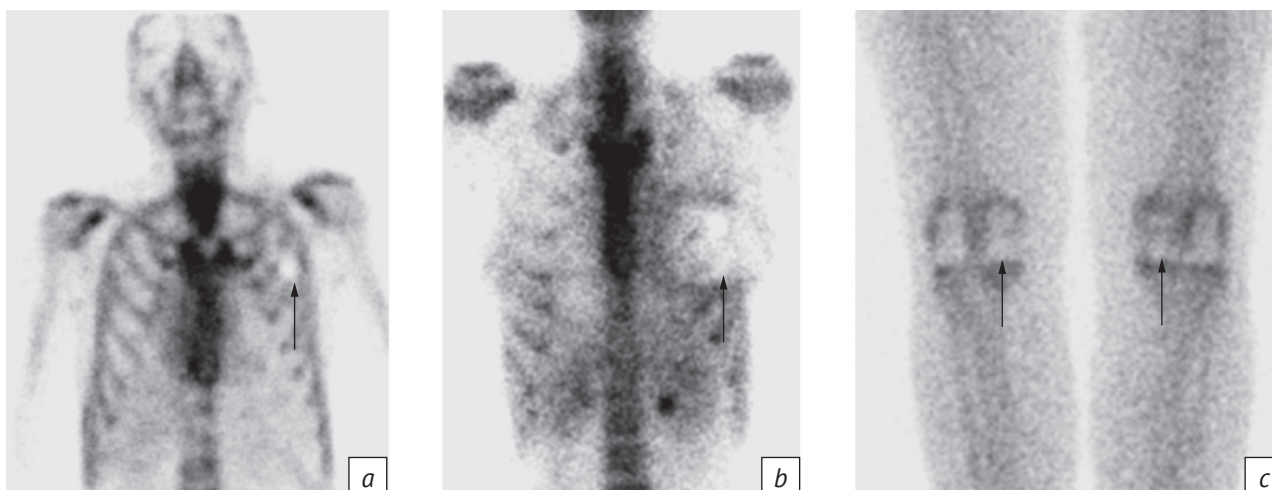


Рис. 2. Сцинтиграфические варианты имплантат-индуцированных артефактов:

a – на сцинтиграмме грудной клетки в передней проекции локальная округлая «холодная» зона на месте вживления кардиостимулятора;
b – на остеогамме в передней проекции обширная «холодная» зона в проекции левой молочной железы как результат установки имплантата (экспандера) после радикальной мастэктомии;
c – сцинтиграфическая картина эндопротезов обоих коленных суставов в задней проекции, «фотонопенические» зоны в месте установки эндопротезов; повышенное накопление радиофармпрепарата по периферии эндопротезов может быть следствием вторичной кальцификации

Fig. 2. Scintigraphic variants of implant-induced artefacts:

a – on the chest scintigram in the anterior projection, there is a local rounded “cold” zone at the site of a pacemaker implantation;
b – on the osteogram in the anterior projection, an extensive “cold” zone in the projection of the left breast as a result of an implant (expander) installation after a radical mastectomy;
c – scintigraphic picture of both knee joints endoprotheses in the posterior projection, “photon-penic” zones at the site of endoprosthesis installation; increased accumulation of radiopharmaceutical on the periphery of endoprotheses may be a consequence of secondary calcification



Рис. 3. Совмещенная ОФЭКТ/КТ при дифференциальной диагностике контраст-индуцированного артефакта:

a – на планарной сцинтиграмме области таза в передней проекции визуализируются «холодные» участки, имитирующие очаговую патологию подвздошной кости и крестцово-подвздошного сочленения справа;
b – на фронтальном КТ-срезе визуализируются участки скопления бариевой взвеси в кишечнике;
c – на совмещенном ОФЭКТ/КТ-срезе зоны отсутствия накопления радиофармпрепарата в костях таза соответствуют петлям кишечника, заполненным бариевым контрастом

Fig. 3. Combined SPECT/CT in the differential diagnosis of contrast-induced artefact:

a – on the planar scintigram of the pelvic region in the anterior projection, “cold” areas are visualized simulating focal pathology of the ilium and sacroiliac joint on the right;
b – areas of barium suspension accumulation in the intestine are visualized on the frontal CT section;
c – on the combined SPECT/CT cross-section, the zones of absence of radiopharmaceutical accumulation in the pelvic bones correspond to the bowel loops filled with barium contrast

скелета примерно в 15% наблюдений [12], среди них – необструктивные уropатии в виде задержки мочи в проекции верхней группы чашечек. Данный вариант изолированных функциональных

изменений составляет не более 8% от всех выявляемых каликостазов. Он манифестирует локальной зоной гиперфиксации РФП в проекции верхнего полюса почки и в силу особенностей скелетотопии

способен имитировать метастатическое поражение XI или XII ребра [13].

«Горячий» очаг в проекции верхнего полюса почки был опосредован двумя различными клиническими ситуациями: каликостаз (n = 3) и травматическое повреждение нижнего ребра (n = 2). Для дифференциальной диагностики очаговой патологии ребер и каликостаза мы использовали ортостатическую пробу. Сопоставление изображений поясничной области в положениях пациента лежа и стоя помогало уточнить локализацию выявленного «горячего» очага за счет смещения почки вниз относительно ребер. При устойчивом каликостазе очаг накопления РФП смещался вместе с почкой, при функциональном в положении стоя мог не визуализироваться. Кроме того, в положении стоя устранялась «суммация» изображений верхнего отдела почки и части прилежащего ребра, что позволяло исключить или подтвердить очаговую патологию ребра (рис. 4).

Мягкотканное очаговое накопление остеотропных РФП – редкая скintiграфическая находка, наблюдаемая во внекостных первичных и метастатических опухолях. Так, по данным анализа 2147 остеосцинтиграмм, выполненных в режиме «все тело» и прицельной ОФЭКТ/КТ, внекостные «горячие» очаги констатированы у 1,1% пациентов. Наиболее часто они выявлялись в первичных и метастатических опухолях печени (30%), молочной железы (15%), легких (12,5%), существенно реже – яичников, матки и щитовидной железы [14]. Механизм данного феномена связывают с кальцификацией, в том числе микрокальцификацией, более выраженной при муцинозных опухолях и их метастазах [15]. Накладываясь на костные структуры, локальное мягкотканное накопление способно имитировать очаговое их изменение. Подобные скintiграфические ситуации отмечены нами в 4 наблюдениях и включали очаговое накопление ^{99m}Tc -ПФ щитовидной и молочной железами.

Локальное накопление РФП щитовидной железой в качестве скintiграфической находки отмечают при нетоксическом узловом зобе, раке щитовидной железы [16], после тонкоигольной аспирационной биопсии узла щитовидной железы [17]. В наших наблюдениях очаговая аккумуляция ^{99m}Tc -ПФ в одной из долей щитовидной железы была отмечена у 3 больных с анамнестическими данными о наличии одностороннего узлового зоба. Во всех наблюдениях уровень накопления РФП в очаге превышал таковой в груди. Возможно, поэтому «горячий» очаг, выявляемый в передней проекции и визуально накладывающийся на боковые отделы IV–VI шейных позвонков в задней проекции, имитировал их очаговое изменение. Для уточнения соответствия «горячих» очагов в щитовидной железе и шейных позвонках мы

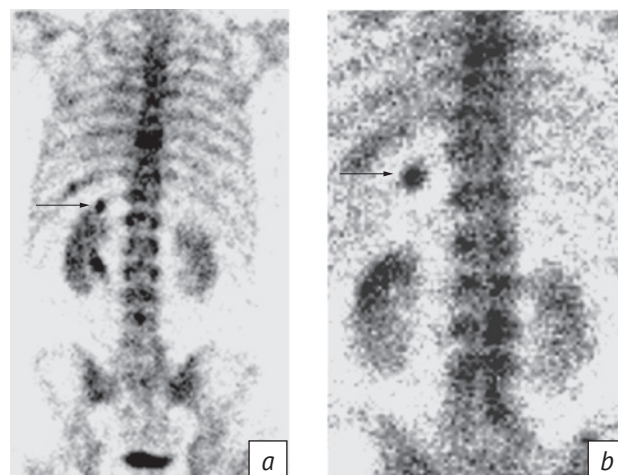


Рис. 4. Дифференциальная диагностика очаговых изменений ребер и каликостазов с применением ортостатической пробы:

a – остеогрaмма поясничной области в задней проекции в положении пациента лежа на спине, в проекции верхнего полюса левой почки определяется локальная зона гиперфиксации радиофармпрепарата;

b – при скintiграфии в положении пациента стоя почка смещается вниз, что позволяет исключить каликостаз и диагностировать «горячий» очаг XI ребра

Fig. 4. Differential diagnosis of focal changes in ribs and calicostases with the use of an orthostatic test:

a – osteogram of the lumbar region in the posterior projection in the patient's supine position; in the projection of the left kidney upper pole, the local zone of radiopharmaceutical hyperfixation is determined;

b – when scintiography is performed in the patient's standing position, the kidney is shifted downwards, which allows to exclude calicostasis and diagnose a "hot" focus of the XI rib

использовали прием mask in. Зона, вычитаемая в передней проекции, зеркально отображалась в задней проекции, подтверждая или исключая идентичность координат «горячего» очага в обеих проекциях (рис. 5).

Очаговое накопление ^{99m}Tc -фосфатов молочными железами, как было указано выше, является возможным вариантом скintiграфической манифестации рака молочной железы. Описаны и более редкие клинические ситуации, при которых отмечены аналогичные мягкотканые находки. В частности, наблюдалось очаговое накопление ^{99m}Tc -МДФ в метастазе миксоидной липосаркомы [18], в обеих грудных железах при геникоматии у мужчин [19], при госсипибоме – как следствие гранулематозного воспаления вокруг оставленной в операционной ране марлевой салфетки [20].

Наше наблюдение связано с локальным накоплением ^{99m}Tc -ПФ в обеих сосковых зонах у женщины, обследованной через 2 мес после двусторонней мастэктомии с сохранением сосковых зон и одномоментного эндопротезирования. Особенность скintiграфической картины

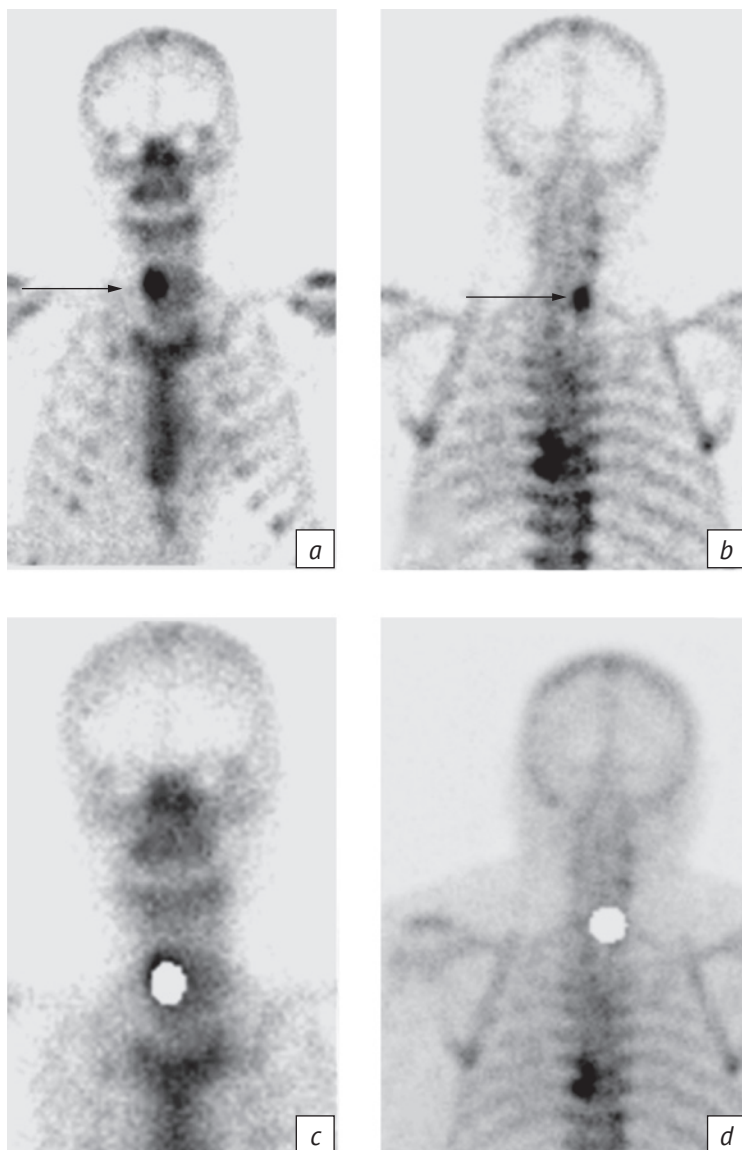


Рис. 5. «Горячий» очаг правой доли щитовидной железы, имитирующий очаговую патологию шейного позвонка:

a – на скintiграмме области шеи в передней проекции выявляется очаговое накопление радиофармпрепарата в правой доле щитовидной железы;

b – на остеоскintiграмме в задней проекции визуализируется «горячий» очаг в проекции правого бокового отдела VII шейного позвонка;

c, d – прием mask in иллюстрирует соответствие «горячих» очагов в передней (*c*) и задней (*d*) проекциях

Fig. 5. "Hot" site of the thyroid gland right lobe simulating focal pathology of the cervical vertebra:

a – on the neck area scintigram in the anterior projection, a focal accumulation of radiopharmaceutical in the thyroid gland right lobe is revealed;

b – on the osteoscintigram in the posterior projection, a "hot" focus is visualized in the projection of the right lateral section of the VII cervical vertebra;

c, d – the "mask in" technique illustrates the correspondence of "hot" foci in the anterior (*c*) and posterior (*d*) projections

В литературе мы не нашли подобных наблюдений и объяснений механизма данного варианта накопления остеотропного РФП. Возможно, как и в ситуации ранее отмеченного нами феномена повышенного накопления РФП в сохраненной молочной железе [21], это связано с особенностями инволютивных процессов и гормональных расстройств, запускающих или опосредующих механизмы накопления остеотропного РФП в интактных тканях в послеоперационном периоде.

заключалась в том, что «горячие» очаги в сосковых зонах, регистрируемые в передней проекции, проецировались на задние отрезки ребер и имитировали их очаговые изменения в задней проекции (рис. 6).

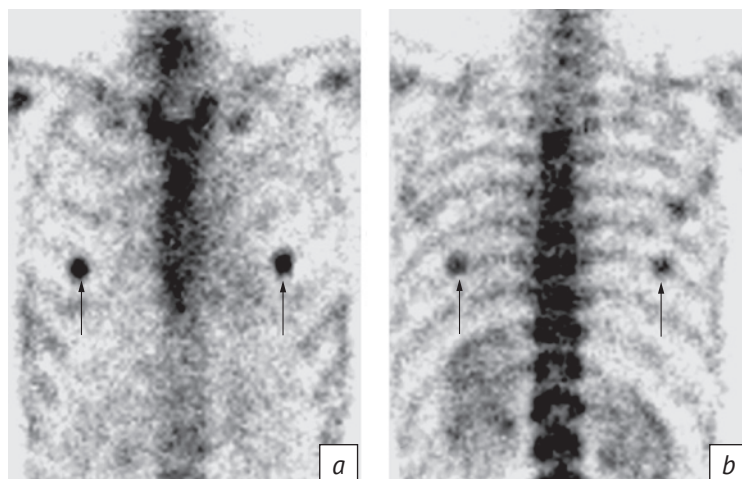


Рис. 6. Локальная гиперфиксация радиофармпрепарата сосковыми зонами у женщины после двусторонней мастэктомии, имитирующая очаговые изменения задних отрезков ребер:

a – на скintiграмме грудной клетки в передней проекции в центральных отделах имплантат-индуцированных зон сниженного накопления радиофармпрепарата регистрируются два очага высокого накопления радиофармпрепарата;

b – в задней проекции два симметричных «горячих» очага в проекции задних отрезков VIII ребер обусловлены проекционным эффектом

Рис. 6. Local radiopharmaceutical hyperfixation with the nipple zones in a woman after bilateral mastectomy, simulating focal changes in the posterior segments of the ribs:

a – on the chest scintigram in the anterior projection, two foci of high radiopharmaceutical accumulation are registered in the central parts of the implant-induced zones of reduced radiopharmaceutical accumulation;

b – in the posterior projection, two symmetrical "hot" foci in the projection of the VIII ribs posterior segments are caused by the projection effect

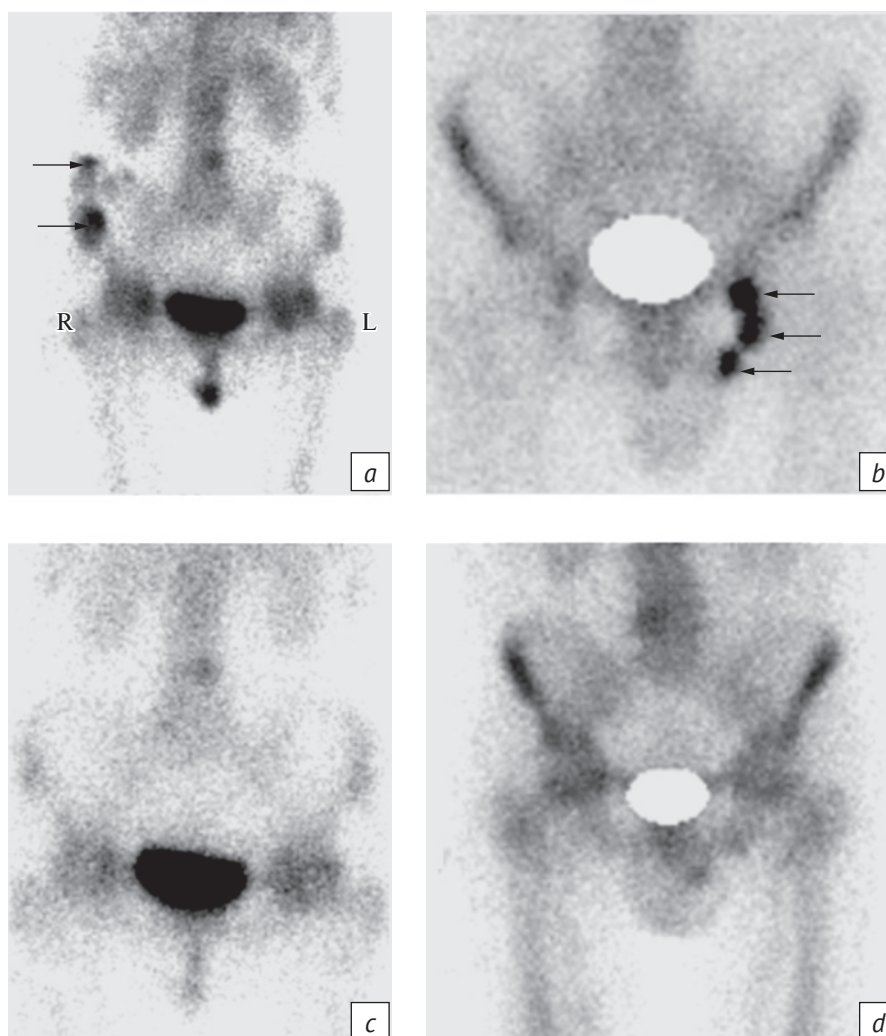


Рис. 7. Сцинтиграфические варианты мочевой контаминации, имитирующей в передней проекции очаговую патологию правой подвздошной (а) и левой седалищной (б) костей. После устранения источников мочевой контаминации патологические «горячие» очаги подвздошной (с) и седалищной (д) костей исключены

Fig. 7. Scintigraphic variants of urinary contamination simulating focal pathology of the right iliac (a) and left sciatic (b) bones in the anterior projection. After eliminating the sources of urinary contamination, pathological “hot” foci of the iliac (c) and sciatic (d) bones were excluded

Мочевые контаминации – нередкие артефактные находки. «Естественными» областями радиоактивного загрязнения, связанными с процессом опорожнения мочевого пузыря, являются область мошонки у мужчин и область промежности у женщин. Авторы работ, посвященных этой проблеме, обращают внимание на многочисленные факторы возможного радиоактивного загрязнения одежды и различных участков тела пациентов. Множественные артефактные очаги обычно легко идентифицируются и не ассоциируются с возможными костными метастазами. Источником диагностических ошибок могут служить одиночные участки мочевой контаминации, расположенные в «нетипичных» местах [22].

Одиночный очаг мочевой контаминации констатирован нами в 2 наблюдениях. В одной

ситуации источником артефакта послужила гигиеническая салфетка в карманчике верхнего белья. Участки радиоактивного загрязнения на сцинтиграмме в передней проекции проецировались на крыло правой подвздошной кости, имитируя там патологические «горячие» очаги. В другом случае очаговое изменение седалищной кости было имитировано остатками радиоактивной мочи на нижнем белье. Корректно поставленные вопросы позволили найти источники радиоактивного загрязнения, устранить их и избежать ложноположительной трактовки костного метастаза (рис. 7).

Обсуждение

Сцинтиграфия скелета с мечеными ^{99m}Tc аналогами фосфатов (^{99m}Tc -ПФ, ^{99m}Tc -МДФ)) остается основным радионуклидным методом

диагностики поражений скелета при опухолях с высоким риском костного метастазирования. Ведущий признак костного метастаза – очаг (очаги) гипер- или гипоперфиксации РФП. Их поиск и анализ составляют основу интерпретации скинтиграфического исследования скелета.

Главное ограничение планарной скинтиграфии скелета – низкая специфичность указанных выше признаков, не позволяющая надежно дифференцировать характер выявленного «холодного» или «горячего» очага, прежде всего при их обособленном характере. Низкая специфичность предполагает высокую вероятность ложноположительных результатов. Одной из причин подобных ошибок могут стать очаговые артефакты, имитирующие патологические изменения костной системы.

Данные литературы показывают, что важной составляющей уменьшения числа артефактов или устранения их негативного влияния на результаты остеосцинтиграфии является *контроль качества* – комплекс мероприятий, проводимых на каждом этапе диагностической цепочки с целью исключения ошибок и обеспечения точности исследования. Выполненный анализ позволил разработать алгоритм проведения контроля качества на отдельных этапах скинтиграфического исследования скелета.

Следует подчеркнуть, что около 80% очаговых артефактов можно отнести к методическим. Информация о них может быть получена еще *на этапе подготовки пациента к исследованию*. Больному следует всегда рекомендовать снимать украшения, аксессуары одежды и иные предметы, обладающие экранирующим эффектом и способные сформировать артефакты. Целесообразно также информировать пациента о предметах гигиены, способных индуцировать «горячие» очаги мочевой контаминации. Сбор предварительной информации о перенесенных больным операциях, их характере и объеме позволит учесть особенности скинтиграфической картины как в областях имплантированных предметов, так и в сопряженных с ними зонах. Предшествующее рентгенологическое исследование кишечника с сульфатом бария – повод прицельно оценить области возможного экранирования позвоночника или костей таза скоплениями бариевой суспензии в толстом кишечнике и при необходимости провести досмотр в режиме ОФЭКТ/КТ.

Аномальное мягкотканное накопление в виде очаговой гиперфиксации меченых фосфатных

соединений внутренними органами или мягкими тканями обычно связывают с мягкотканной кальцификацией, в том числе микрокальцификацией, воспалительного или опухолевого генеза. Подобные артефактные «горячие» очаги редки, частота их встречаемости по нашим данным составила 0,63%. Следует подчеркнуть, что именно «горячие» артефактные очаги чаще всего имитируют метастатическое поражение накладываются или проекционно совпадающих костных структур и служат источником возможных ложноположительных интерпретаций.

Контроль качества этапа интерпретации результатов остеосцинтиграфии – наиболее ответственный компонент диагностического процесса. Прежде всего следует исключить ситуации атипичного повышенного включения остеотропного РФП, связанные с микрокальцификацией других тканей, то есть не костной локализации. В частности, симметричность диффузной гиперфиксации РФП молочными железами или долями щитовидной железы – основной критерий скинтиграфической нормы. Кроме того, следует учесть особенности распределения РФП после мастэктомии в сохраненном контралатеральном органе. В сомнительных ситуациях в программу контроля качества включают дополнительные дифференциально-диагностические приемы. В частности, для дифференциальной диагностики очаговой патологии ребер и каликостаза чаще всего достаточно использовать ортостатическую пробу. При досмотре в положении стоя в связи со смещением почки вниз устраняется наложение изображений верхнего отдела почки и нижних ребер и локализация «горячего» очага становится очевидной. При необходимости получения более полной характеристики одиночных «горячих» очагов в почках или других мягкотканых структурах наиболее оптимальным является досмотр проблемных зон в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ.

Заключение

Выявление одиночных очагов распределения ^{99m}Tc -ПФ в процессе скинтиграфии скелета следует рассматривать как возможный вариант их артефактного происхождения. Анализ причин, лежащих в основе формирования очаговых артефактов в конкретных клинических ситуациях, способствует адекватной оценке полученных данных, позволяет выбрать необходимый методический прием их диагностики и избежать ложноположительной интерпретации результатов остеосцинтиграфии.

Литература [References]

1. Тултаев А.В., Корсунский В.Н., Лабушкина А.А., Забелин М.В. Остеотропный диагностический радиофармацевтический лекарственный препарат на основе золедроновой кислоты «Резоскан, 99mTc». Предварительные результаты сравнительных клинических исследований. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2018; 63(4): 58–62. https://doi.org/10.12737/article_5b83bf207b9b50.21392988. [Tultaev AV, Korsunskiy VN, Labushkina AA, Zabelin MV. Diagnostic bone-seeking radiopharmaceutical agent on the basis of zoledronic acid "Rezoscans, 99mTc". Preliminary results of comparative clinic studies. Medical Radiology and Radiation Safety. 2018; 63(4): 58–62 (in Russ.). https://doi.org/10.12737/article_5b83bf207b9b50.21392988.]
2. Wells LD, Bernier DR. Radionuclide imaging artifacts. Chicago-London: Year Book Publishers; 1980.
3. Naddaf SY, Collier BD, Elgazzar AH, Khalil MM. Technical errors in planar bone scanning. J Nucl Med Technol. 2004; 32(3): 148–53.
4. Agrawal K, Marafi F, Gnanasegaran G, et al. Pitfalls and limitations of radionuclide planar and hybrid bone imaging. Semin Nucl Med. 2015; 45(5): 347–72. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed/2015.02.002>.
5. Zuckier LS, Freeman LM. Nonosseous, nonurologic uptake on bone scintigraphy: atlas and analysis. Semin Nucl Med. 2010; 40(4): 242–56. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed/2015.02.003>.
6. Mettler FA Jr, Guiberiteau MJ. Essential of nuclear medicine. Orlando: Grune&Stratton; 1986.
7. Harbert JC. Textbook of nuclear medicine. Clinical application. V. 2. Philadelphia: Lea&Febinger; 1984.
8. Carrió I, Estorch M. Cold sternal image as a sign of metastatic involvement. Clin Nucl Med. 1986; 11(6): 417–9. <https://doi.org/10.1097/00003072-198606000-00013>.
9. Zhang W, Chen B, Deng H, et al. Hepatic and splenic uptake on bone scintigraphy in patients with intravenous administration of ^{99m}Tc methylene diphosphonate prior to gadolinium-containing contrast. Clin Nucl Med. 2013; 38(3): 219–20. <https://doi.org/10.1097/RLU.0b013e3182814c95>.
10. Kim SJ, Choi JY, Lee JH, et al. Incidental ^{99m}Tc MDP uptake in the intestines and intravenous CT contrast. Nuklearmedizin. 2016; 55(4): 166–71. <https://doi.org/10.3413/Nukmed-0768-15-09>.
11. Чернов В.И. Радионуклидная диагностика заболеваний скелета. В кн.: Лишманов Ю.Б., Чернов В.И. (ред.) Национальное руководство по радионуклидной диагностике. Т. 2. Томск: STT; 2010: 252–69. [Chernov V.I. Radionuclide diagnosis of diseases of the skeleton. In: Lishmanov Yu.B., Chernov V.I. (Eds.) National guidelines for radionuclide diagnostics. Vol. 2. Tomsk: STT; 2010: 252–69 (in Russ.).]
12. Loutfi I, Collier BD, Mohammed AM. Nonosseous abnormalities on bone scans. J Nucl Med Technol. 2003; 31(3): 149–53.
13. Pickuth D, McCready VR. Focal areas of increased renal tracer uptake on bone scans can mimic metastases in the lower ribs. Br J Radiol. 1996; 69(821): 407–9. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-69-821-407>.
14. Zhang L, He Q, Zhou T, et al. Accurate characterization of ^{99m}Tc-MDP uptake in extraosseous neoplasm mimicking bone metastasis on whole-body bone scan: contribution of SPECT/CT. BMC Med Imaging. 2019; 19(1): 44. <https://doi.org/10.1186/s12880-019-0345-1>.
15. Zuckier LS, Martineau P. Altered biodistribution of radiopharmaceuticals used in bone scintigraphy. Semin Nucl Med. 2015; 45(1): 81–96. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed/2014.07.007>.
16. Tuncel M., Akdemir E. ^{99m}Tc-MDP uptake in thyroid nodule; contribution of SPECT-CT and ultrasonography. Rev Esp Med Nucl Imagen Mol. 2012; 31(1): 49–50. <https://doi.org/10.1016/j.remnm.2011.05.012>.
17. Rehm PK, Sharma S. Focal thyroid uptake on bone scan due to thyroid biopsy. Clin Nucl Med. 2004; 29(12): 849–51. <https://doi.org/10.1097/00003072-200412000-00029>.
18. Biyi A, Doudouh A. Soft tissue uptake of ^{99m}Tc-MDP in a case of myxoid liposarcoma with breast metastasis. Pan Afr Med J. 2016; 25: 184. <https://doi.org/10.11604/pamj.2016.25.184.9382>.
19. Gholami A, Gholam A, Mirpour S, Fallahi B. Breast ^{99m}Tc-MDP uptake in a man mimicking metastatic lesion of the ribs. Iran J Nucl Med. 2010; 18(1): 62–4.
20. Thomas BG, Silverman ED. Focal uptake of ^{99m}Tc-MDP in a gossypiboma. Clin Nucl Med. 2008; 33(4): 290–1. <https://doi.org/10.1097/RLU.0b013e3181662b41>.
21. Миронов С.П., Аншелес А.А., Шульгин Д.Н., Сергиенко В.Б. Внекостные находки и артефакты при скинтиграфии скелета. Вестник рентгенологии и радиологии. 2016; 97(2): 85–94. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2016-97-2-85-94>. [Mironov SP, Ansheles AA, Shulgin DN, Sergienko VB. Extraosseous abnormalities and artifacts in skeletal scintigraphy. Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2016; 97(2): 85–94 (in Russ.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2016-97-2-85-94>.]
22. Kasner DL, Spieth ME. The day of contamination. J Nucl Med Technol. 2003; 31(1): 21–4.



МРТ-скрининг легких в условиях пандемии COVID-19 на этапах медицинской помощи как инструмент снижения суммарной коллективной дозы облучения населения

Коробов А.В.¹, Нуднов Н.В.², Попов А.Ю.¹, Кульнева Т.В.¹,
Бабенко В.В.¹, Пронькина Е.В.³

¹ ЧУ ДПО «Институт повышения квалификации медицинских кадров»,
ул. Фридриха Энгельса, 58А, Воронеж, 394036, Российская Федерация

² ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России,
ул. Профсоюзная, 86, Москва, 117997, Российская Федерация

³ ФГБУ «Поликлиника № 1» Управления делами Президента Российской Федерации,
пер. Сивцев Вражек, 26/28, Москва, 119002, Российская Федерация

Коробов Андрей Владимирович, к. м. н., директор ЧУ ДПО «Институт повышения квалификации медицинских кадров»;
<http://orcid.org/0000-0002-3355-5737>

Нуднов Николай Васильевич, д. м. н., профессор, зам. директора по научной работе ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Попов Алексей Юрьевич, к. м. н., руководитель научно-исследовательской лаборатории методов медицинской визуализации ЧУ ДПО «Институт повышения квалификации медицинских кадров»;
<http://orcid.org/0000-0002-7852-4862>

Кульнева Таисия Владимировна, зам. директора по экспертной работе ЧУ ДПО «Институт повышения квалификации медицинских кадров»;
<http://orcid.org/0000-0002-0960-6370>

Бабенко Владислав Васильевич, руководитель консультативно-диагностического отделения ЧУ ДПО «Институт повышения квалификации медицинских кадров»;
<http://orcid.org/0000-0002-8229-8458>

Пронькина Елена Владимировна, врач-рентгенолог ФГБУ «Поликлиника № 1» Управления делами Президента Российской Федерации;
<http://orcid.org/0000-0003-0531-7966>

Резюме

Цель: оценить роль и место МРТ-скрининга легких в выявлении пневмонии и маршрутизации пациентов.

Материал и методы. Было выполнено 500 МРТ-исследований в период с 01.11.2020 г. по 15.12.2020 г. на базе более 20 диагностических центров федеральной сети «МРТ-Эксперт». Выделено две группы: 1-я группа (контрольная) – 50 человек, у которых проводили сравнение МРТ- и КТ-исследований в единый временной промежуток 0–2 сут (среди них было 25 пациентов, имевших положительный ПЦР-тест на SARS-CoV-2 и 25 условно здоровых пациентов); 2-я группа (результативная) – 450 человек, которым выполняли МРТ средостения со скрининговым обследованием легких на аппаратах Philips 1.5T и Siemens 1.5T. На основе полученных результатов проведен статистический анализ базы медицинских данных.

Результаты. В ходе исследования были определены обязательные и дополнительные программы МРТ-сканирования: для томографа Philips 1.5T обязательные программы – sSSH_FB: tra и cor, THRIVE: tra (вдох/выдох); для Siemens 1.5T – T2_BLADE: cor, tra, sag. При сопоставлении визуальных данных 25 больных контрольной группы с положительным ПЦР-тестом в единый временной промежуток 0–2 сут факт выявления МР-изменений совпадал с КТ-изменениями в 19 случаях (76%). Среди 475 пациентов, обследованных лишь одним методом (МРТ-скринингом легких), патологические изменения в легких были выявлены у 209 (44%). По локализации патологические изменения распределились следующим образом: двусторонние изменения – 147 (70,3%), правосторонние изменения – 41 (19,6%), левосторонние изменения – 21 (10%); нижние отделы – 56 (26,8%), средние отделы – 21 (10%), верхние отделы – 31 (14,8%), средненижние – 62 (29,6%), тотальные – 39 (18,6%). Диапазоны площади поражения легочной паренхимы на МРТ градируются по МРТ-критериям на четыре группы (менее 25%, 25–50%, 50–75%, более 75%). Было рассчитано снижение суммарной дозы облучения в группе из 450 пациентов: в среднем 2,025 чел.-Зв. за 1,5 мес, из которых 0,077 чел.-Зв. пришлось на контрольные исследования.

Заключение. На основании полученных результатов проведен анализ возможностей метода МРТ в отображении легочных изменений. МРТ-скрининг легких расценен нами как возможная альтернатива компьютерной томографии для динамического контроля в условиях дефицита записи на КТ или невозможности ее выполнения и как инструмент снижения коллективной эффективной дозы облучения населения. **Ключевые слова:** магнитно-резонансная томография; компьютерная томография; МРТ-скрининг; воспалительные заболевания легких; пневмония; COVID-19; пандемия; лучевая диагностика.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Коробов А.В., Нуднов Н.В., Попов А.Ю., Кульнева Т.В., Бабенко В.В., Пронькина Е.В. МРТ-скрининг легких в условиях пандемии COVID-19 на этапах медицинской помощи как инструмент снижения суммарной коллективной дозы облучения населения. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(1): 28–41. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-28-41>

Для корреспонденции: Нуднов Николай Васильевич, E-mail: nudnov@rncrr.ru

Статья поступила 26.12.2020

После доработки 16.02.2021

Принята к печати 17.02.2021

MRI Screening of Lungs in the COVID-19 Pandemic at the Stages of Medical Care as a Tool to Reduce the Total Collective Dose of Radiation to the Population

Andrey V. Korobov¹, Nikolay V. Nudnov², Aleksey Yu. Popov¹,
Taisiya V. Kul'neva¹, Vladislav V. Babenko¹, Elena V. Pron'kina³

¹ Institute of Advanced Training of Medical Personnel,
ul. Fridrikha Engelsa, 58A, Voronezh, 394036, Russian Federation

² Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Ministry of Health of the Russian Federation,
ul. Profsoyuznaya, 86, Moscow, 117997, Russian Federation

³ Polyclinic No. 1, Office of the President of the Russian Federation,
pereulok Sivtsev Vrazhek, 26/28, Moscow, 119002, Russian Federation

Andrey V. Korobov, Cand. Med. Sc., Director of Institute of Advanced Training of Medical Personnel;
<http://orcid.org/0000-0002-3355-5737>

Nikolay V. Nudnov, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Research, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology,
Ministry of Health of the Russian Federation;
<http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Aleksey Yu. Popov, Cand. Med. Sc., Head of the Research Laboratory of Medical Imaging Methods, Institute of Advanced Training
of Medical Personnel;
<http://orcid.org/0000-0002-7852-4862>

Taisiya V. Kul'neva, Deputy Director for Expert Work, Institute of Advanced Training of Medical Personnel;
<http://orcid.org/0000-0002-0960-6370>

Vladislav V. Babenko, Head of the Consulting and Diagnostic Department, Institute of Advanced Training of Medical Personnel;
<http://orcid.org/0000-0002-8229-8458>

Elena V. Pron'kina, Radiologist, Polyclinic No. 1, Office of the President of the Russian Federation;
<http://orcid.org/0000-0003-0531-7966>

Abstract

Objective: to evaluate the role and place of MRI lung screening in the detection of pneumonia and patient routing.

Material and methods. 500 MRI tests were performed in the period from November 1, 2020 to December 15, 2020 on the basis of more than 20 diagnostic centers of the federal MRI-Expert network. Two groups were identified. In Group 1 (control, n = 50) MRI studies were compared with CT studies in a single time interval of 0–2 days; 25 patients had a positive PCR test for SARS-CoV-2 and 25 patients were conditionally healthy. In Group 2 (effective, n = 450) mediastinal MRI was performed with lung screening on Philips 1.5 T and Siemens 1.5 T devices. The statistical analysis of the medical data base was performed.

Results. During the study, mandatory and additional MRI scanning programs were identified: for Philips 1.5 T tomograph, the mandatory programs are sSSH_fb: tra and cor; THRIVE: tra (inhale/exhale); for Siemens 1.5 T – T2_BLADE: cor, tra, sag. When comparing the visual data of the control group (n = 25) with a positive PCR test in a single time interval of 0–2 days, the fact of detecting MR changes coincided with CT changes in 76% of cases (n = 19). The group of patients were examined by only one method – MRI-screening of the lungs (n = 475), pathological changes in the lungs were detected in 44% (n = 209). Localizations of

the pathological changes were as follows: bilateral changes – 70.3% (n = 147), right-side changes – 19.6% (n = 41), left-side changes – 10% (n = 21); lower parts 26.8% (n = 26), average departments – 10% (n = 21), the upper divisions – 14.8% (n = 31), mid-lower 29.6% (n = 62), total – 18.6% (n = 39). The ranges of the area of lesion of the pulmonary parenchyma on MRI were graded according to MRI criteria into 4 groups (< 25%, 25 – 50%, 50 – 75%, > 75%). The collective radiation dose decrease was calculated for a group of patients (n = 450), which averaged 2.025 man-Sv for 1.5 months, of which 0.077 man-Sv were control studies.

Conclusion. Based on the results obtained, the analyses of the possibilities of the MRI method in displaying pulmonary changes was performed. The method of MRI screening of the lungs is recognized as a possible alternative to computed tomography for dynamic monitoring in conditions of a shortage of CT records or the inability to perform it, and as a tool to reduce the collective effective dose of radiation to the population.

Keywords: magnetic resonance imaging; computed tomography; MRI screening; inflammatory lung diseases; pneumonia; COVID-19; pandemic; radiation diagnostics.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Korobov AV, Nudnov NV, Popov AYU, Kul'neva TV, Babenko VV, Pron'kina EV. MRI screening of lungs in the COVID-19 pandemic at the stages of medical care as a tool to reduce the total collective dose of radiation to the population. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(1): 28–41 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-28-41>

For corresponding: Nikolay V. Nudnov, E-mail: nudnov@rncrr.ru

Received December 26, 2020

Revised February 16, 2021

Accepted February 17, 2021

Введение

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19, начавшаяся весной 2020 г., затронула многие государства, включая нашу страну. Согласно рекомендациям ВОЗ [1] метод компьютерной томографии (КТ) является наиболее чувствительным и информативным способом лучевой визуализации изменений в легких, вызванных вирусом SARS-CoV-2. По литературным данным, КТ можно отнести к исследованиям первой линии в тех медицинских организациях, в которых имеется достаточное количество аппаратов и кадровое обеспечение для выполнения требуемого объема исследований без ущерба для своевременной диагностики среди пациентов, которые нуждаются в данном обследовании в большей степени (онкологические, неврологические заболевания и т.д.) [2]. Проведение КТ показано всем больным с подозрением на пневмонию, при этом с осторожностью у детей. Данный метод позволяет выявить ранние признаки вирусного поражения легких, и, как правило, выявленные изменения локализируются с обеих сторон.

По данным иностранных авторов, чувствительность низкодозовой КТ в выявлении вирусной пневмонии составляет 86,7%, специфичность 93,6%, а при длительности симптомов более 48 ч – 95,6% и 93,2% соответственно. Необходимо отметить, что среднее время КТ-исследования (сканирование и описание) составляет 25 мин, что имеет огромное значение в практической медицине [3].

Зависимость тяжести состояния больных от выраженности КТ-изменений привела к необходимости выработки системы градации поражений легких. Имевшая место 5-балльная система тяжести поражения легких не оправдала свою значимость и оказалась неэффективной, поэтому

в настоящее время в практике применяется 4-ступенная градация КТ-изменений, базирующаяся на определении симптомов и примерной площади поражения паренхимы. Система имеет недостатки, обусловленные субъективной оценкой объема поражения, разнящейся у разных специалистов. Попытки применения искусственного интеллекта для подсчета площади зон «матового стекла» и консолидации имеют определенные успехи, но также обладают погрешностью измерений [4]. Поэтому степени КТ-изменений в легких основаны на четверных интервальных значениях (табл. 1).

Таблица 1

«Эмпирическая» визуальная шкала, основанная на визуальной оценке примерного объема уплотненной легочной ткани в обоих легких [4]

Table 1

An “empirical” visual scale based on a visual assessment of the approximate volume of compacted lung tissue in both lungs [4]

Выраженность / Severity	Объем, % от объема легких / Volume, % of lung volume	КТ-степень / CT-grade
Отсутствие характерных проявлений / The absence of the characteristic symptoms	–	КТ-0 / CT-0
Минимальная / Minimum	< 25	КТ-1 / CT-1
Средняя / Average	25–50	КТ-2 / CT-2
Значительная / Significant	50–75	КТ-3 / CT-3
Субтотальная / Subtotal	>75	КТ-4 / CT-4

Альтернативными методами визуализации, имеющими значительно более низкую информативность, являются рентгенография и ультразвуковое исследование (УЗИ) [2].

Необходимость первичного выявления и динамического КТ-контроля изменений в легких в период пандемии и необоснованные врачебные назначения, а также самообращения пациентов,

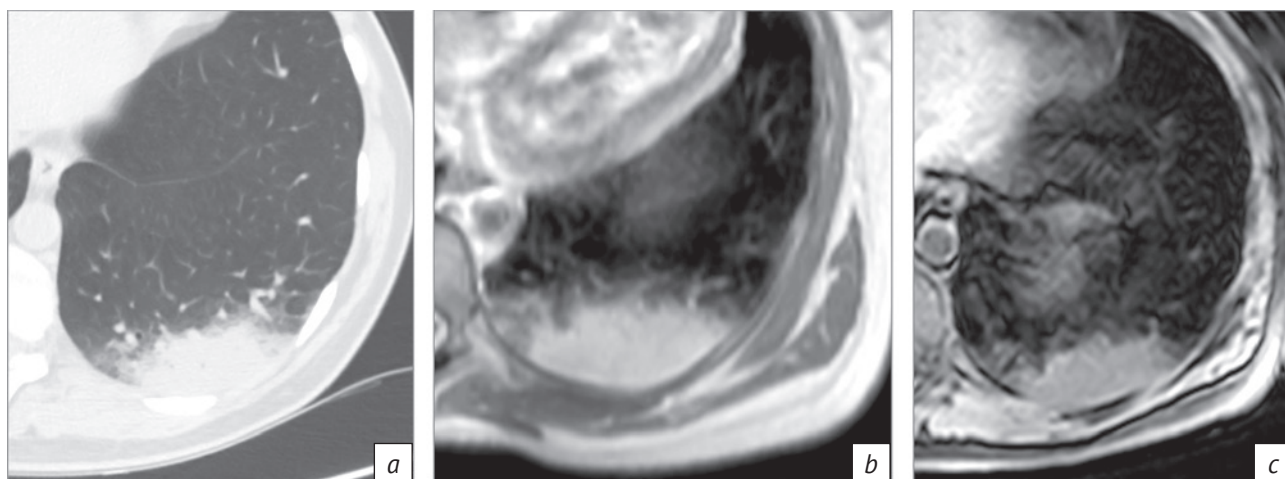


Рис. 1. Пример изображения участка повышенной плотности в S10 левого легкого на аппарате Philips:

a – КТ, аксиальный скан – интенсивное гомогенное затенение паренхимы без прослеживаемых на его фоне элементов сосудистого и ретикулярного рисунка, соответствующее участку повышенной плотности паренхимы по типу консолидации; *b* – МРТ, аксиальный скан в последовательности T2 FSE; *c* – МРТ, аксиальный скан в последовательности THRIVE.

Участки однородного гиперинтенсивного МР-сигнала в паренхиме легкого по площади поражения примерно сопоставимы как между собой в последовательностях T2 FSE и THRIVE, так и с КТ-изображениями

Fig. 1. The image of a section of the increased density in left lung S10 on the Philips device:

a – axial CT scan – intensive homogeneous shading parenchyma without elements of vascular and reticular pattern corresponding to an area of higher density of parenchyma of consolidation type; *b* – MRI T2 FSE axial scan; *c* – MRI THRIVE axial scan. Homogeneous hyperintense MR signal of lung parenchyma in the affected area, by the lesion area approximately comparable with each other in T2 FSE and THRIVE sequences, and with CT images

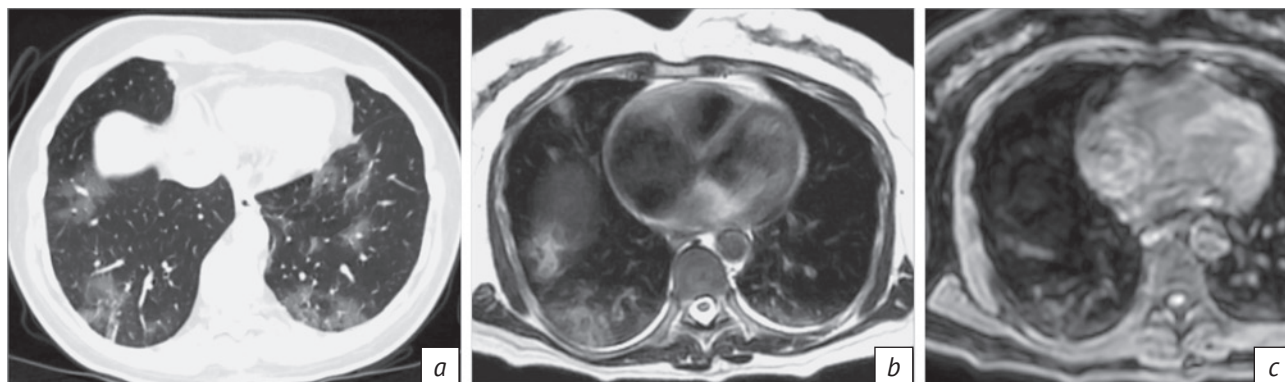


Рис. 2. Пример изображения участков «матового стекла», расположенных полисегментарно и билатерально, на аппарате Philips:

a – КТ, аксиальный скан – слабоинтенсивные гомогенные затенения паренхимы, соответствующие повышенной плотности паренхимы по типу «матового стекла»; *b* – МРТ, аксиальный скан в последовательности T2 FSE; *c* – МРТ, аксиальный скан в последовательности THRIVE.

Участки неоднородного промежуточного и повышенного МР-сигнала в паренхиме легкого оптимально определяются в последовательности T2 FSE, занимают меньшую площадь, чем на КТ-сканах, практически не видны в THRIVE, выявляются только в локусах наибольшей плотности

Fig. 2. The image of the ground glass sections located polysegmentally and bilaterally on the Philips device:

a – CT axial scan – low-intensity homogeneous parenchymal shading corresponding to the ground glass increased density of the parenchyma; *b* – MRI T2 FSE axial scan; *c* – MRI THRIVE axial scan.

Areas of inhomogeneous intermediate and increased MR signal in the lung parenchyma are optimally determined in T2 FSE, occupying a smaller area than on CT scans; practically invisible in THRIVE, being determined only at the loci of the highest density

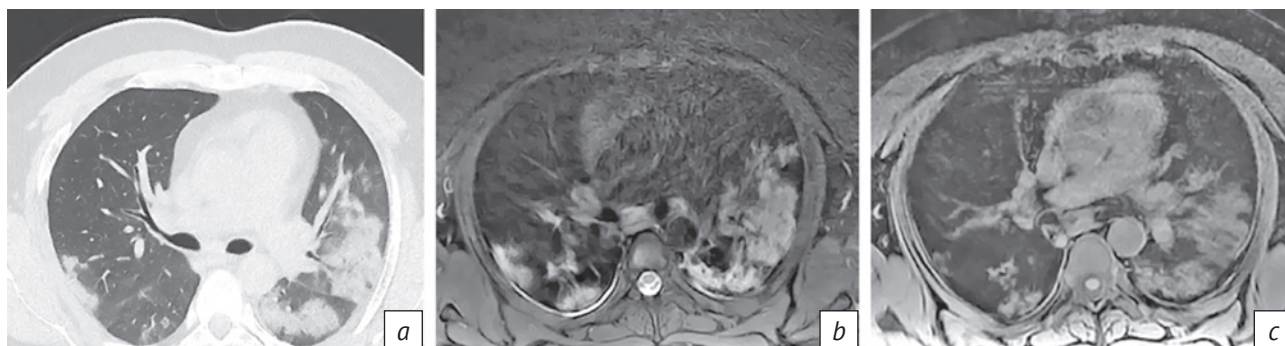


Рис. 3. Пример изображения участков консолидации на аппарате GE:

a – КТ, аксиальный скан – участки интенсивного затенения паренхимы легких сливного характера, на фоне которых слева виден симптом «воздушной бронхограммы»; *b* – МРТ, аксиальный скан в последовательности T2 PROPELLER FS, *c* – МРТ, аксиальный скан в последовательности T1-ВИ.

Участки гиперинтенсивного МР-сигнала в паренхиме легкого практически совпадают с КТ-изменениями по размерам и локализации в последовательности PROPELLER, несколько меньшие размеры изменений отображаются в последовательности T1-ВИ [10]

Fig. 3. The image of the consolidation section on the GE device:

a – axial CT scan – areas of intensive shading of the lung parenchyma of confluent character, a symptom of air bronchography is seen on the left; *b* – MRI T2 PROPELLER FS axial scan; *c* – MRI T1WI axial scan.

Areas of hyperintense MR signal of the lung parenchyma are almost equal to CT changes in size and localization in PROPELLER; a few smaller changes are displayed on T1WI [10]



Рис. 4. Пример изображения участков «лоскутного одеяла» на аппарате Philips:

a – КТ, аксиальный скан – участки слабоинтенсивного затенения паренхимы легких с прослеживаемым на их фоне ретикулярным паттерном внутридолькового интерстиция; *b* – МРТ, аксиальный скан в последовательности T2 TSE – неомогенное слабо- и среднеинтенсивное повышение сигнала; *c* – МРТ, аксиальный скан в последовательности THRIVE – участок повышения сигнала меньшей площади, чем на T2 TSE

Fig. 4. The image of the crazy paving areas on the Philips device:

a – CT axial scan – areas of low-intensity shading of the lung parenchyma with a reticular pattern of intra-lobular interstitium; *b* – MRI T2 TSE axial scan shows heterogeneous low- and medium-intensity signal increase; *c* – MRI THRIVE axial reveals a signal increase section of a smaller area than on T2 TSE

продиктованные повышенной тревожностью и «ковидофобией», привели к резко возросшей нагрузке на отделения и кабинеты лучевой диагностики лечебно-диагностических учреждений. В последующем это способствовало повышению коллективной эффективной дозы облучения на население. Следствием высокой плотности записи на КТ-исследования, а также технической

неисправности КТ-аппаратов, вызванной повышенной круглосуточной нагрузкой на рентгеновские трубки, стало отсутствие возможности у ряда пациентов при необходимости выполнить КТ. Именно в такой ситуации дефицита возможностей альтернативным и релевантным методом диагностики легочных изменений может стать магнитно-резонансная томография (МРТ).

Опубликованы многочисленные работы зарубежных авторов, посвященные роли МРТ в оценке интерстициальных заболеваний легких, например С.А. Yi et al. (2008 г.) [5], S. Chang et al. (2014 г.) [6], I. Pinal-Fernandez et al. (2016 г.) [7]. В период пандемии массовые исследования пациентов с вирусной пневмонией позволили сделать вывод, что МРТ, несмотря на отсутствие ее в рекомендациях ВОЗ в качестве метода диагностики вирусной пневмонии, также может применяться, поскольку обладает достаточной воспроизводимостью основных симптомов при сравнении с КТ (рис. 1–4). Это было отмечено различными иностранными и отечественными авторами при проведении МРТ-исследований легких и других анатомических областей организма в период пандемии по поводу различных патологий [8–10].

В соответствии с градацией КТ-изменений при COVID-19 коллектив отечественных авторов определил зависимость тяжести общего состояния больного от характера и выраженности признаков по данным МРТ органов грудной клетки (табл. 2) [9].

В 2020 г. были опубликованы работы, в которых отмечена возможность визуализации МР-изменений в легочной паренхиме, характерных для вирусной пневмонии и сходных с таковыми при КТ. При этом рекомендуется граadirовать качество МРТ-исследования по степени зашумленности артефактами на четыре группы: 1) артефакты отсутствуют, 2) единичные незначительные артефакты, не влияющие на диагностическую ценность, 3) исследование обладает диагностической ценностью, но качество снижено за счет артефактов, 4) диагностически низкая ценность из-за выраженных артефактов [9].

Согласно методическим рекомендациям ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий» Департамента здравоохранения г. Москвы [9] выполнение магнитно-резонансной томографии пациентам с подозрением на коронавирусную инфекцию COVID-19 возможно в качестве альтернативного метода в следующих случаях:

- при отсутствии возможности проведения компьютерной томографии и рентгенографии;
- при повышенном риске проведения компьютерной томографии (например, беременным, детям) с учетом всех рисков выполнения МРТ.

Чувствительность метода МРТ к выявлению воспалительных изменений в легких при COVID-19 имеет многофакторную зависимость, поскольку на нее влияют следующие объективные параметры [9, 11]:

- субстрат поражения паренхимы легких (участки «матового стекла» в легком определяемы на КТ, но в ряде случаев не определяемы на МРТ);

- площадь поражения паренхимы легкого (малые фокусы определяемы на КТ, но в ряде случаев не видны на МРТ);

- фаза вдоха (отсутствие расправления паренхимы легкого при глубоком вдохе, недостаточная задержка вдоха или ее невозможность, выполнение исследования на свободном дыхании ведут к снижению вероятности визуализации изменений);

- наличие артефактов изображения, которым метод МРТ подвержен в значительно большей степени, чем КТ;

- используемые для сканирования программы (выбор импульсных последовательностей зависит от типа томографа, настроек аппарата и конкретного протокола сканирования).

Также следует учитывать факт динамического развития патологического процесса в легких, когда выполненное в динамике через некоторое время (от 1 сут и более) исследование (КТ или МРТ) выявляет субстрат изменений в легких, которых ранее не было по причине отсутствия или недостаточной степени выраженности.

Накопление как сторонних, так и собственных исследований по определению легочных изменений на МРТ и необходимость выполнения лучевого динамического контроля для широкой когорты населения позволили сделать вывод о возможности применения МРТ-скрининга легких как дополнительного метода медицинской визуализации при легочных изменениях в период пандемии, который может быть взят на вооружение как лучевыми диагностами, так и клиницистами [12].

Применение МРТ легких для диагностики пневмоний, вызванных COVID-19, не рекомендуется для практического здравоохранения (в том числе из-за отсутствия на текущий момент широкой выборки МРТ-исследований, сопоставимой с КТ- и ПЦР-верификацией), однако этот метод может использоваться в исключительных случаях для оценки состояния легких при недоступности КТ (поломка единственного прибора) и неопределенных результатах рентгенографии, а также при наличии врачей, обладающих опытом выполнения и интерпретации подобных исследований [2]. В условиях массовой круглосуточной нагрузки на КТ-кабинеты и дефицита, сгенерированного избыточным спросом на КТ, спектр исключительных случаев для проведения МРТ легких существенно расширяется.

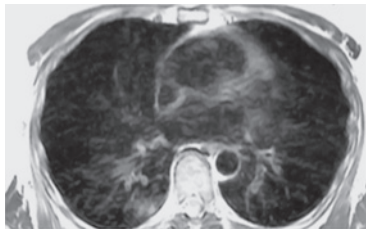
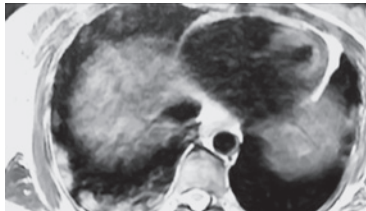
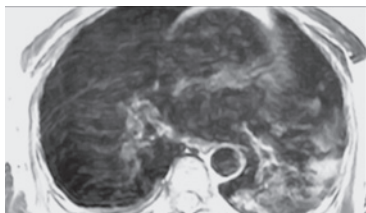
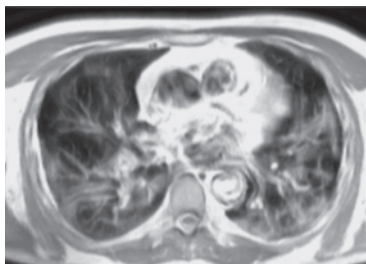
В рекомендациях Минздрава 9-й версии от 26.10.2020 г. предлагается дифференцированно выбирать методы визуализации при известной/предполагаемой инфекции COVID-19 в соответствии с имеющимся оборудованием и кадровыми ресурсами медицинской организации, а также делают акцент на нецелесообразности применения рентгенографии, КТ и УЗИ для

Таблица 2

Оценка изменений легочной ткани при COVID-19 по данным магнитно-резонансной томографии органов грудной клетки [9]

Table 2

Assessment of changes in lung tissue in COVID-19 according to magnetic resonance imaging of the chest [9]

Степень изменений / Degree of changes	Основные проявления вирусной пневмонии / Main manifestations of viral pneumonia	Вовлечение паренхимы легкого, % / Involvement of lung parenchyma, %	MPT-пример / MRI example
Норма (MPT-0) / Norm (MRI-0)	Норма и отсутствие MPT-признаков вирусной пневмонии на фоне типичной клинической картины и релевантного эпидемиологического анамнеза / Norm and absence of MRI-signs of viral pneumonia, typical clinical picture and a relevant epidemiological history	–	–
Легкая (MPT-1) / Light (MRI-1)	Очаги уплотнения по типу «матового стекла» / Foci of ground-glass densities	< 25	
Среднетяжелая (MPT-2) / Medium-heavy (MRI-2)	Очаги уплотнения по типу «матового стекла» / Foci of ground-glass densities	25–50	
Тяжелая (MPT-3) / Severe (MRI-3)	Уплотнение легочной ткани по типу «матового стекла» в сочетании с очагами консолидации, увеличение объема поражения на 50% за 24–48 ч на фоне дыхательных нарушений, если исследования выполняются в динамике / Ground-glass densities in combination with foci of consolidation, lesion volume increase by 50% in 24–48 hours with respiratory disorders, if the research is performed in dynamics	50–75	
Критическая (MPT-4) / Critical (MRI-4)	Диффузное уплотнение легочной ткани по типу «матового стекла» и консолидации в сочетании с ретикулярными изменениями (утолщением междолькового интерстиция по типу «булыжной мостовой»); гидроторакс (двусторонний, преобладает слева) / Diffuse lung tissue ground-glass density and consolidation in combination with reticular changes (interlobular interstitium cobblestone thickening; hydrothorax (bilateral, predominant on the left)	> 75	

Примечание. Процент поражения оценивается отдельно по каждому легкому. Степень изменений оценивается по легкому с наибольшим поражением (вне зависимости от наличия постоперационных изменений).

Note. The percentage of lesion is assessed separately for each lung. The degree of changes is estimated for the lung with the greatest lesion (regardless of whether there are post-operative changes).

скрининга (выявления патологии при отсутствии клинических симптомов) внебольничных пневмоний в целом и при COVID-19 в частности [2]. В связи с этим использование МРТ-скрининга легких как альтернативного метода первичной диагностики и динамического контроля позволит перенаправить поток пациентов, требующих диагностического обеспечения, и частично разгрузить службу компьютерной томографии. Поскольку тяжесть общего состояния больного зависит от распространенности поражения легких, МРТ-оценка выраженности легочных изменений поможет провести первичную сортировку потока пациентов с последующей маршрутизацией различных категорий на профильные линии медицинской помощи. По имеющимся данным, основанным на сравнительном анализе различных методов визуализации, скрининговое МРТ-исследование, выполненное с использованием необходимых импульсных последовательностей, в настоящее время вполне сопоставимо по стоимости с КТ и при любых условиях намного информативнее стандартного рентгенологического исследования [9].

Цель нашего исследования – оценить роль и место МРТ-скрининга легких в выявлении пневмонии и маршрутизации пациентов.

Задачи исследования:

- определить технические условия и возможности визуализации изменений в легочной ткани методом МРТ-скрининга;
- сформировать широкую выборку МРТ-исследований легких для определения диагностической пользы метода;
- определить чувствительность метода МРТ при воспалительных изменениях в паренхиме легких;
- выявить практическую возможность сортировки потока пациентов в зависимости от степени поражения легких (маршрутизация пациентов на догоспитальном, амбулаторном этапах и контроль эффективности лечения на этапе реабилитации);
- оценить потенциальную пользу применения МРТ-скрининга легких в снижении коллективной дозы облучения населения.

Поскольку специфичность выявления методом КТ вирусной пневмонии COVID-19 среди прочих вирусных пневмоний, а также дифференцировка вирусных пневмоний от невирусных с помощью метода КТ являются недостоверными, то задачи по определению данных критериев методом МРТ-скрининга в нашем исследовании не ставилась, так как метод МРТ является заведомо менее значимым по чувствительности в выявлении паренхиматозных изменений легких.

Материал и методы

Данная работа включает ретроспективный анализ 500 МРТ-исследований, выполненных в период с 01.11.2020 г. по 15.12.2020 г. на базе более 20 диагностических центров федеральной сети «МРТ-Эксперт», и одобрена руководством ЧУ ДПО «ИПКМК». Проведено параллельное сравнение МРТ- и КТ-исследований, выполненных у 50 пациентов в единый временной промежуток 0–2 сут, 25 из которых имели положительный ПЦР-тест на SARS-CoV-2. В качестве рутинного скринингового обследования потока пациентов организационно было выбрано МРТ-исследование средостения со скрининговой оценкой легких (далее – МРТ-скрининг легких), которое отличается от стандартного МРТ-исследования легких меньшим (редуцированным) набором импульсных последовательностей и более коротким общим таймингом с объемом и качеством изображений, достаточными для визуализации основных симптомов поражения легких. Данное условие позволяет повысить пропускную способность кабинета МРТ-диагностики, что является одним из критериев широкого охвата скринингом населения. Также отмечается легкая переносимость пациентами, особенно возрастными, редуцированного протокола сканирования.

Первично для подтверждения релевантности оптимизированного протокола МРТ средостения со скрининговой оценкой легких были выполнены исследования у 25 условно здоровых участников (отобранных из числа пациентов, прошедших КТ органов грудной клетки без активных «легочных» жалоб и без выявления патологических изменений в легких), а также у 25 больных с пневмонией (выявленной на КТ + ПЦР). Все пациенты, включая здоровых людей, предоставили информированное добровольное согласие на участие в научном исследовании. Жалобы и анамнез протоколировались с помощью анкеты (чек-листа) для каждого участника.

Среди 50 пациентов, обследованных двойным методом (КТ + МРТ), было 18 мужчин (36%) и 32 женщины (64%). Средний возраст мужчин составил 45 лет (11–81 год), женщин – 46,5 года (15–81 года).

Из всей группы обследованных МРТ-методом активные жалобы отсутствовали у 128 человек (25,6%). Основные жалобы, предъявляемые остальными пациентами на момент исследования, представлены в таблице 3.

В протокол сканирования были включены последовательности T2 FSE в трех проекциях, T2 с жироподавлением и T1 с жироподавлением (T1 high resolution isotropic volume examination, THRIVE) на

Таблица 3

Основные жалобы, предъявляемые пациентами на момент исследования

Table 3

The main complaints made by patients at the time of the study

Жалобы / Complaints	Количество, n (%) / Number, n (%)
Кашель / Cough	111 (29,8)
Гипертермия / Hyperthermia	79 (21,2)
Торакалгия / Thoracalgia	54 (14,5)
Одышка / Dyspnea	45 (12,1)
Дискомфорт в грудной клетке / Discomfort in the chest	33 (8,8)
Астения / Asthenia	26 (7,0)
Аносмия / Anosmia	15 (4,0)
Прочие / Others	9 (2,4)

Таблица 4

Протоколы сканирования для томографа Philips 1.5T

Table 4

The scan protocols for Philips 1.5T

Протокол / Protocol	Обязательность применения / Mandatory application
sSSH_FB Tra	+
Cor	+
THRIVE Tra (вдох/выдох) / Tra (inhale/exhale)	+
T2 SPAIR Sag	+/-
T2 FSE Cor	+/-
Tra	+/-
Sag	+/-

Таблица 5

Протоколы сканирования для томографа Siemens 1.5T

Table 5

The scan protocols for Siemens 1.5T

Протокол / Protocol	Обязательность применения / Mandatory application
T2_BLADE Cor	+
Tra	+
Sag	+
T1_fl3d Tra	+/-

задержке вдоха, при стандартной толщине срезов 7 мм. Исследование выполняли в положении пациента лежа body-катушкой с центрацией поля на середину тела грудины.

Все пациенты были проверены на безопасность прохождения МРТ.

Анализ DICOM-архивов изображений и протоколов описаний, полученных при МРТ-скрининге легких, проводился минимум двумя независимыми экспертами.

КТ-исследование легких выполняли тонким срезом 1–2 мм на задержке вдоха в легочном и средостенном режимах с областью сканирования от верхушек легких до синусов.

Проведен сравнительный анализ визуальных КТ- и МРТ-картин воспалительных изменений в легких, соответствующих вирусной пневмонии.

Статистический учет и обработка первичного материала проводились в электронной базе данных Excel.

В последующем, после верификации усредненной воспроизводимости МРТ-методом КТ-изменений в легких (76%), статистический учет базы данных выполнен в когорте из 450 пациентов, прошедших МРТ-скрининговое исследование легких.

Результаты

Технические условия. В зависимости от производителя и модификации МР-томографа выбраны редуцированные протоколы сканирования, достаточные для воспроизведения визуализации ключевых легочных изменений. Протоколы представлены в таблицах 4, 5.

Технические параметры выполнения МРТ-скрининга легких:

– положение пациента лежа на спине, руки подняты за голову;

– фиксация body-катушки выполняется в фазе максимального вдоха для формирования референсного пространства для экскурсий грудной клетки под катушкой (центрация катушки на центр грудины);

– программа survey проводится на задержке вдоха для определения наиболее низкой границы легких и правильного выбора зоны сканирования (от верхушек легких до задненижних контуров плевральных синусов);

– исследование выполняется при свободном дыхании в программах T2 и T2 FS с установкой триггеров в начале фазы вдоха;

– сканирование THRIVE проводится по возможности на задержке вдоха.

Сканирование в фазе выдоха нами исключено из протокола по причине плохой переносимости пациентами 30-секундной задержки выдоха, необходимой для финализации всей серии

аксиальных сканов (особенно при наличии кашля, одышки или плохого самочувствия). Если задержка вдоха была невозможна по причине кашля, одышки, беспокойства пациента, то аксиальное сканирование выполнялось без задержки вдоха.

Необходимая ориентация срезов: аксиальное сканирование перпендикулярно деке стола, корональное – параллельно деке стола, сагитальное – перпендикулярно аксиальному и корональному.

Приведенные протоколы сканирования занимали в среднем 15 мин, что отличается от тайминга стандартных протоколов МРТ-легких в меньшую сторону за счет исключения из алгоритма последовательностей DWI. Для достижения наибольшей чувствительности к выявлению паренхиматозных изменений были оставлены последовательности T2 (sSSH), T2 FS (с жироподавлением) без использования синхронизации с дыханием и T1 DIXON 3D GE THRIVE) на задержке вдоха.

Возможности визуализации изменений в легочной ткани методом МРТ-скрининга. Различные КТ-изменения в легких визуализировались в виде повышения МР-сигнала на T2-ВИ следующим образом:

- «матовое стекло» – неравномерное слабоинтенсивное повышение МР-сигнала на T2, переменная визуализация на THRIVE с большой вероятностью отсутствия отображения субстрата (90%);

- «лоскутное одеяло» (или «булыжная мостовая», или «сумасшедшая исчерченность») – неомогенное среднеинтенсивное повышение сигнала с ретикулярным паттерном в виде тяжистых ветвящихся высокоинтенсивных линий, определяемое как на T2-ВИ, так и на THRIVE, но менее интенсивно (при этом на T2 площадь изменений превалирует над таковой на THRIVE);

- консолидация – гомогенное или слабо неомогенное средне- и высокоинтенсивное повышение сигнала, одинаково хорошо определяемое как на T2-ВИ, так и на THRIVE;

- ретикулярный паттерн – линейные участки повышения сигнала;

- гало – однородное среднеинтенсивное повышение сигнала со слабым гетерогенным повышением по периферии.

Формирование широкой выборки МРТ-исследований легких для определения диагностической пользы метода. Сравнительные бинарные исследования (КТ + МРТ), проведенные в единый временной промежуток, были выполнены 50 пациентам, из которых 25 были с пневмонией, верифицированной первоначально на КТ, и с положительным ПЦР-тестом. После подтверждения

чувствительности метода МРТ в выявлении легочных изменений (76%) была обследована крупная группа пациентов (n = 450) методом МРТ-скрининга легких.

Чувствительность метода МРТ при воспалительных изменениях в паренхиме легких.

При сопоставлении визуальных данных, полученных при КТ и МРТ-исследованиях у одних и тех же пациентов (n = 25) с положительным ПЦР-тестом в единый временной промежуток 0–2 сут, факт выявления МР-изменений совпадал с КТ-изменениями в 19 случаях (76%).

Из них совпадение диапазонов площади поражения легочной паренхимы на МРТ с диапазоном по КТ-картине наблюдалось у 15 (79%) пациентов, при этом в 4 случаях (21%) несовпадения площадь поражения легких на МРТ-сканах была меньше, чем на КТ-изображениях. Не было зафиксировано ни одного случая выявления МРТ-симптоматики патологии в легких при отсутствии КТ-изменений. Было зарегистрировано 4 случая, при которых площадь МРТ-изменений легких превышала таковую на КТ-сканах (рис. 5).

В когорте пациентов, обследованных лишь одним методом – МРТ-скринингом легких (n = 475), патологические изменения в легких были выявлены в 209 наблюдениях (44%).

Патологические изменения по локализации распределились следующим образом:

- двусторонние – 147 (70,3%);
- правосторонние – 41 (19,6%);
- левосторонние – 21 (10%);
- в нижних отделах – 56 (26,8%);
- в средних отделах – 21 (10%);
- в верхних отделах – 31 (14,8%);
- средненижние – 62 (29,6%);
- тотальные – 39 (18,6%).

Из всех 475 пациентов, прошедших МРТ-скрининг легких, 39 (8,2%) проходили мультиспиральную КТ органов грудной полости ранее, в сроки 1–9 мес до момента выполнения МРТ-исследования. Среди них 16 больных имели КТ-изменения, соответствующие пневмонии, из которых 12 (2,5%) имели ПЦР-положительный тест на SARS-CoV-2. Во время контрольных МРТ-исследований у 3 пациентов было отмечено увеличение площади изменений в легких с МРТ-1 до МРТ-2 в сроки 1–1,5 мес. Данный факт, возможно, обусловлен выполнением КТ на ранней стадии развития патоморфологических изменений в паренхиме легких и констатацией большей площади поражения на МРТ после прогрессирования болезни.

Возможность сортировки потока пациентов. Среди 209 больных с выявленными МРТ-изменениями в легких диапазоны площади

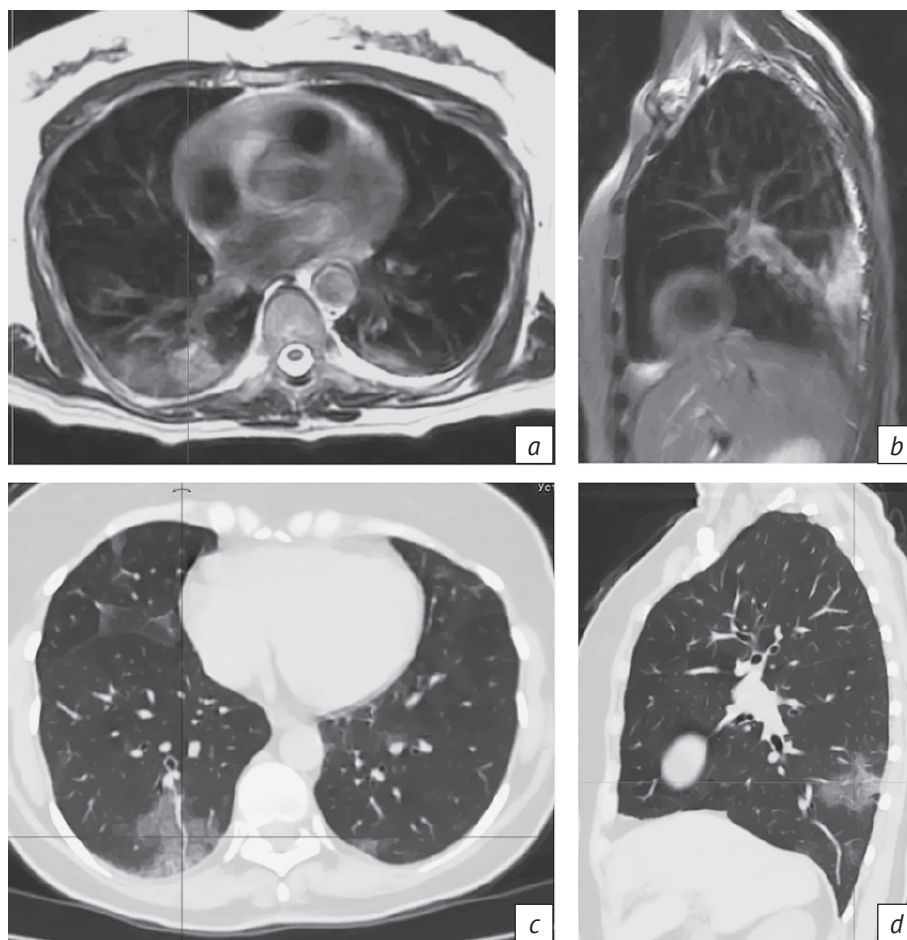


Рис. 5. Пример превалирования площади МРТ-изменений в легких над площадью КТ-изменений у пациентки 58 лет (исследования выполнены с разницей в 30 мин):

a – МРТ T2 FSE, аксиальный скан – участки слабоинтенсивного неомогенного повышения сигнала в паренхиме S10 с обеих сторон, преобладающие справа; *b* – МРТ T2 SPIR, сагиттальный скан – аналогичные изменения сигнала в кортикальной зоне паренхимы S10 правого легкого; *c* – КТ, аксиальный скан; *d* – КТ, сагиттальная реконструкция левого легкого – участки «матового стекла» и «лоскутного одеяла» визуально занимают меньшую площадь при сравнении с МРТ-изображениями

Fig. 5. An example of the prevalence of the area of MRI changes in the lungs over the area of CT changes in a 58-year-old patient (studies were performed with a difference of 30 minutes):

a – MRI T2 FSE axial scan – areas of low-intensity inhomogeneous signal increase in the S10 parenchyma on both sides, prevailing on the right; *b* – MRI T2 SPIR sagittal scan – similar signal changes in the cortical area of the right lung S10 parenchyma; *c* – CT axial scan; *d* – CT sagittal reconstruction of the left lung – areas of ground glass and crazy paving visually occupy a smaller area when compared with MRI images

поражения легочной паренхимы на МРТ градиrowались по МРТ-критериям на четыре группы (менее 25%, 25–50%, 50–75%, более 75%) (табл. 6).

Пациенты со степенями поражения легких МРТ-1 и МРТ-2 были направлены к терапевту на амбулаторное лечение, больным со степенями МРТ-3 и МРТ-4 была рекомендована госпитализация.

Из всего потока 8 (3,8%) пациентов явились на контрольное исследование в сроки 7–21 сут. У 5 из них был констатирован частичный регресс площади легочных изменений; у 2 человек выявленные ранее изменения степени МРТ-1 не были визуализированы, что было расценено как регресс;

у 1 пациента со степенью поражения МРТ-1 площадь изменений увеличилась, что было расценено как прогрессирование патологического процесса, и была назначена мультиспиральная КТ органов грудной клетки с последующей консультацией терапевта.

Потенциальная польза применения МРТ-скрининга легких в снижении коллективной дозы облучения населения. Учитывая, что, за исключением здоровых добровольцев из группы контроля, все 450 пациентов, прошедших МРТ-скрининг легких, могли быть обследованы

Таблица 6

Шкала, основанная на оценке примерного объема измененной легочной ткани в обоих легких

Table 6

A scale based on assessment of the approximate volume of altered lung tissue in both lungs

Площадь поражения, % / Lesion area, %	Степень / Degree	Доля от общего потока, n (%) / Share of the total flow, n (%)
< 25	MPT-1 / MRI-1	142 (67,9)
25–50	MPT-2 / MRI-2	57 (27,2)
50–75	MPT-3 / MRI-3	7 (3,3)
> 75	MPT-4 / MRI-4	3 (1,4)

методом КТ, можно теоретически рассчитать не полученную дозу облучения. В среднем эффективная эквивалентная доза облучения за одну процедуру КТ органов грудной полости составляет 4–5 мЗв. Таким образом, снижение суммарной дозы облучения в данной группе пациентов составило в среднем 2,025 чел.-Зв. за 1,5 мес, из которых 0,077 чел.-Зв пришлось на контрольные исследования. Экстраполируя полученный опыт на федеральный уровень, можно предположить существенное снижение коллективной эффективной дозы облучения населения, резкий рост которой обусловлен лавинообразно возросшим количеством КТ-исследований в период пандемии COVID-19.

Обсуждение

Наиболее чувствительной импульсной последовательностью для выявления патологических воспалительных изменений в легких при COVID-19 в наших наблюдениях была T2 FS, что отмечалось и в работе Ю.А. Васильева, А.В. Бажина, А.Г. Масри и др., где была применена импульсная последовательность T2 FSE с разделением на части для снижения количества артефактов. При этом консолидация выявляется в последовательностях как T2, так и DIXON, а модификация на основе 3D-градиентного эха позволяла с большей степенью снижать количество артефактов [9]. В исследовании В.Н. Лесняк, В.А. Журавлевой и А.В. Аверьянова также отмечено, что импульсная последовательность T2 обладает высокой чувствительностью в отношении таких изменений в легких, как консолидация и «матовое стекло» [10]. S. Rajaram et al. сообщают о следующей чувствительности MPT при сравнении с КТ в выявлении различных морфологических изменений легких: «матовое стекло» – 75%, некальцинированные легочные узелки – 75%,

плевральный выпот – 100%, консолидация – 100%, фиброз – 89%, лимфоузлы – 71%, ателектазы – 64%. [8]. При этом использовались программы с коротким временем эхо (balanced steady-state free precession, bSSFP) на 1.5T-томографах со сканированием на задержке вдоха [11]. Данные о чувствительности последовательности T2 FSE к выявлению симптома «матового стекла» в 75% случаев также согласуются с публикациями отечественных авторов [9].

Единичные случаи преобладания площади MPT-поражения легких над площадью КТ-поражения могут быть обусловлены гиперемией воспаленной паренхимы вокруг участков истинного повышения плотности по типу «матового стекла» в начальном периоде заболевания. MPT как метод, высокочувствительный к содержащим жидкость тканям, вероятно, раньше может определить подобные области поражения, в то время как КТ, выполняемое на задержке глубокого вдоха, имитирует дыхательную пробу Вальсальвы. Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Таким образом, компилируя чувствительность методов КТ и MPT, путем приблизительных вычислений можно сделать вывод, что чувствительность MPT в выявлении вирусной пневмонии составляет около 65%.

При анализе 500 исследований MPT-скрининга легких отмечено, что основная часть амбулаторных пациентов (около 68%) имела площадь поражения менее 25% (MPT-1).

Градация потока пациентов по ориентировочной степени тяжести поражения легких позволила выбрать вектор дальнейшей лечебно-диагностической тактики в каждом случае.

При этом скрининговое MPT-исследование легких вполне сопоставимо по стоимости и качеству с КТ-исследованием в выявлении воспалительных изменений, что было показано и в статье В.Н. Лесняк, В.А. Журавлевой и А.В. Аверьянова [10].

Заключение

Чувствительность метода MPT в оценке воспалительных изменений легких при COVID-19 уступает методу КТ, составляя в среднем около 65% для основных симптомов (повышение плотности паренхимы по типу «матового стекла» и консолидации), однако является реальной альтернативой при отсутствии возможности выполнения компьютерной томографии.

С помощью MPT-скрининга легких возможно установление степени поражения паренхимы легких, отчасти сопоставимой с градацией КТ-степеней, но не идентичной ей по причине меньшей чувствительности и специфичности. Данный вопрос требует дальнейших широкомасштабных

исследований, при этом необходимы разъяснительные работы среди врачей клинического профиля.

В зависимости от МРТ-степени поражения легких возможны организация маршрутизации пациентов на любом из этапов лечения (догоспитальном, амбулаторном) и контроль эффективности лечения на этапе реабилитации.

Кроме реализации диагностических и сортировочных целей, МРТ-скрининг является действенным инструментом по снижению коллективной эффективной дозы облучения населения, тем самым представляя прогностическую базу для будущих исследований по оценке отдаленных радиационно-индуцированных стохастических эффектов.

Литература

1. Использование методов визуализации органов грудной клетки при COVID-19. Краткое руководство. Всемирная организация здравоохранения; 2020.
URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332336/WHO-2019-nCoV-Clinical-Radiology_imaging-2020.1-rus.pdf (дата обращения 24.02.2021) (in Russ.).
2. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 9. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации; 26.10.2020.
URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attachements/000/052/550/original/%D0%9C%D0%A0_COVID-19_%28v9%29.pdf?1603788097 (дата обращения 24.02.2021).
3. Dangis A, Gieraerts C, De Bruecker Y, et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiol Cardiothorac Imag.* 2020; 2(2): e200196. <https://doi.org/10.1148/ryct.2020200196>.
4. Inui S, Fujikawa A, Jitsu M, et al. Chest CT findings in cases from the cruise ship Diamond Princess with coronavirus disease (COVID-19). *Radiol Cardiothorac Imag.* 2020; 2(2): e200110. <https://doi.org/10.1148/ryct.2020200110>.
5. Yi CA, Lee KS, Han J, et al. 3-T MRI for differentiating inflammation- and fibrosis-predominant lesions of usual and nonspecific interstitial pneumonia: comparison study with pathologic correlation. *AJR Am J Roentgenol.* 2008; 190(4): 878–5. <https://doi.org/10.2214/AJR.07.2833>.
6. Chang S, Hong SR, Kim YJ, et al. Usefulness of thin-section single-shot turbo spin echo with half-Fourier acquisition in evaluation of local invasion of lung cancer. *J Magn Reson Imaging.* 2014; 41(3): 747–54. <https://doi.org/10.1002/jmri.24587>.
7. Pinal-Fernandez I, Pineda-Sanchez V, Pallisa-Nuñez E, et al. Fast 1.5 T chest MRI for the assessment of interstitial lung disease extent secondary to systemic sclerosis. *Clin Rheumatol.* 2016; 35(9): 2339–45. <https://doi.org/10.1007/s10067-016-3267-0>.
8. Zeng J, Liu Z, Shen G, et al. MRI evaluation of pulmonary lesions and lung tissue changes induced by tuberculosis. *Int J Infect Dis.* 2019; 82: 138–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2019.03.004>.
9. Васильев Ю.А., Бажин А.В., Масри А.Г. и др. (сост.). Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): магнитно-резонансная томография: препринт № ЦДТ – 2020 – III. Версия от 12.05.2020. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 67. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»; 2020: 24 с.
10. Лесняк В.Н., Журавлева В.А., Аверьянов А.В. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике поражений легких при COVID-19. *Клиническая практика.* 2020; 11(2): 51–9. <https://doi.org/10.17816/clinpract34843>.
11. Rajaram S, Swift AJ, Capener D, et al. Lung morphology assessment with balanced steady-state free precession MR imaging compared with CT. *Radiology.* 2012; 263(2): 569–77. <https://doi.org/10.1148/radiol.12110990>.
12. Рассохин В.В., Самарина А.В., Беляков Н.А. и др. Эпидемиология, клиника, диагностика, оценка тяжести заболевания COVID-19 с учетом сопутствующей патологии. ВИЧ-инфекция и иммуносупрессия. 2020; 12(2): 7–30. <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2020-12-2-7-30>.

References

1. Use of chest imaging in COVID-19: a rapid advice guide. World Health Organization; 2020. Available at:
URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332336/WHO-2019-nCoV-Clinical-Radiology_imaging-2020.1-rus.pdf (дата обращения 24.02.2021) (in Russ.).
2. Temporary guidelines: prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 9. Moscow: Ministry Of Health Of The Russian Federation; 26.10.2020 (in Russ.). Available at:
URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attachements/000/052/550/original/%D0%9C%D0%A0_COVID-19_%28v9%29.pdf?1603788097 (дата обращения 24.02.2021).
3. Dangis A, Gieraerts C, De Bruecker Y, et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiol Cardiothorac Imag.* 2020; 2(2): e200196. <https://doi.org/10.1148/ryct.2020200196>.
4. Inui S, Fujikawa A, Jitsu M, et al. Chest CT findings in cases from the cruise ship Diamond Princess with coronavirus disease (COVID-19). *Radiol Cardiothorac Imag.* 2020; 2(2): e200110. <https://doi.org/10.1148/ryct.2020200110>.
5. Yi CA, Lee KS, Han J, et al. 3-T MRI for differentiating inflammation- and fibrosis-predominant lesions of usual and nonspecific interstitial pneumonia: comparison study with pathologic correlation. *AJR Am J Roentgenol.* 2008; 190(4): 878–5. <https://doi.org/10.2214/AJR.07.2833>.
6. Chang S, Hong SR, Kim YJ, et al. Usefulness of thin-section single-shot turbo spin echo with half-Fourier acquisition in evaluation of local invasion of lung cancer. *J Magn Reson*

- Imaging. 2014; 41(3): 747–54.
<https://doi.org/10.1002/jmri.24587>.
7. Pinal-Fernandez I, Pineda-Sanchez V, Pallisa-Nuñez E, et al. Fast 1.5 T chest MRI for the assessment of interstitial lung disease extent secondary to systemic sclerosis. *Clin Rheumatol*. 2016; 35(9): 2339–45. <https://doi.org/10.1007/s10067-016-3267-0>.
 8. Zeng J, Liu Z, Shen G, et al. MRI evaluation of pulmonary lesions and lung tissue changes induced by tuberculosis. *Int J Infect Dis*. 2019; 82: 138–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2019.03.004>.
 9. Vasiliev YuA, Bazhin AV, Masri AG, et al. (comp.). Radiation diagnosis of coronavirus disease (COVID-19): magnetic resonance imaging: Preprint no. CDT-2020 – III. Version from 12.05.2020. Series "Best practices of radiation and instrumental diagnostics". Issue 67. Moscow; 2020: 24 p. (in Russ.)
 10. Lesnyak VN, Zhuravleva VA, Averyanov AV. The capabilities of MRI in the lung lesions diagnosis in patients with COVID-19. *Journal of Clinical Practice*. 2020; 11(2): 51–9 (in Russ.). <https://doi.org/10.17816/clinpract34843>.
 11. Rajaram S, Swift AJ, Capener D, et al. Lung morphology assessment with balanced steady-state free precession MR imaging compared with CT. *Radiology*. 2012; 263(2): 569–77. <https://doi.org/10.1148/radiol.12110990>.
 12. Rassokhin VV, Samarina AV, Belyakov NA, et al. Epidemiology, clinical picture, diagnostics, assessment of the severity of the disease COVID-19. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*. 2020; 12(2): 7–30 (in Russ.). <https://doi.org/10.22328/2077-9828-2020-12-2-7-30>.



Муцинозная аденокарцинома легкого

Усачева А.Ю., Силантьева Н.К., Петросян А.П., Усачев В.С., Сидорин А.В., Иванов С.А.

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Научный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России, ул. Королева, 4, Калужская обл., Обнинск, 249036, Российская Федерация

Усачева Анна Юрьевна, науч. сотр. отделения компьютерной томографии;
<https://orcid.org/0000-0003-2629-1582>

Силантьева Наталья Константиновна, д. м. н., заведующая отделением компьютерной томографии;
<https://orcid.org/0000-0001-5574-0565>

Петросян Артур Павлович, науч. сотр. отделения компьютерной томографии;
<https://orcid.org/0000-0002-7663-0362>

Усачев Владимир Сергеевич, науч. сотр. отделения лучевого и хирургического методов лечения заболеваний торакальной области;
<https://orcid.org/0000-0002-4304-0139>

Сидорин Алексей Владимирович, врач патологоанатомического отделения;
<https://orcid.org/0000-0003-1804-5189>

Иванов Сергей Анатольевич, д. м. н., профессор РАН, директор;
<https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>

Резюме

Муцинозная аденокарцинома является редкой злокачественной опухолью легкого, которая сопровождается крайне скудной и неспецифической симптоматикой. Это приводит к увеличению сроков ее распознавания, особенно у женщин молодого возраста. Учитывая плохой прогноз заболевания, чрезвычайно актуальна проблема как можно более ранней его диагностики с проведением гистологического и иммуногистохимического исследований. Представленный клинический случай демонстрирует возможности компьютерной томографии с внутривенным контрастным усилением у женщины молодого возраста в диагностике муцинозной аденокарциномы легкого.

Ключевые слова: муцинозная аденокарцинома; компьютерная томография.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Усачева А.Ю., Силантьева Н.К., Петросян А.П., Усачев В.С., Сидорин А.В., Иванов С.А. Муцинозная аденокарцинома легкого. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(1): 42–6.
<https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-42-46>

Для корреспонденции: Усачева Анна Юрьевна, E-mail: annyska-888@yandex.ru

Статья поступила 26.05.2020

После доработки 01.07.2020

Принята к печати 02.07.2020

Pulmonary Mucinous Adenocarcinoma

Anna Yu. Usacheva, Natalia K. Silanteva, Artur P. Petrosian, Vladimir S. Usachev, Aleksey V. Sidorin, Sergey A. Ivanov

Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center, Ministry of Health of the Russian Federation, ul. Koroleva, 4, Obninsk, 249036, Russian Federation

Anna Yu. Usacheva, Researcher, Department of Computed Tomography;
<https://orcid.org/0000-0003-2629-1582>

Natalia K. Silanteva, Dr. Med. Sc., Head of Department of Computed Tomography;
<https://orcid.org/0000-0001-5574-0565>

Artur P. Petrosian, Researcher, Department of Computed Tomography;
<https://orcid.org/0000-0002-7663-0362>

Vladimir S. Usachev, Researcher, Department of Radiation and Surgical Methods of Treatment of Thoracic Diseases;
<https://orcid.org/0000-0002-4304-0139>

Aleksey V. Sidorin, Pathologist;
<https://orcid.org/0000-0003-1804-5189>

Sergey A. Ivanov, Dr. Med. Sc., Professor of RAS, Director;
<https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>

Abstract

Mucinous adenocarcinoma is a rare malignant tumor of the lung, which is accompanied by extremely scarce and nonspecific symptoms. This leads to an increase in the timing of its recognition, especially in young women. Given the poor prognosis of the pathology, the problem of its early diagnosis with histological and immuno-histochemical studies is extremely urgent. The presented clinical case demonstrates the possibilities of computed tomography with intravenous contrast enhancement in a young woman for the diagnosis of mucinous lung adenocarcinoma.

Keywords: mucinous adenocarcinoma; computed tomography.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Usacheva AYu, Silantyeva NK, Petrosian AP, Usachev VS, Sidorin AV, Ivanov SA. Pulmonary mucinous adenocarcinoma. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(1): 42–6 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-42-46>

For corresponding: Anna Yu. Usacheva, E-mail: annyshka-888@yandex.ru

Received May 26, 2020

Revised July 1, 2020

Accepted July 2, 2020

Введение

Рак легкого, несмотря на достигнутые к настоящему времени успехи в его диагностике и лечении, остается одной из актуальных проблем онкологии. Заболеваемость в России среди мужчин занимает 1-е место, а среди женщин неуклонно растет с каждым годом и составляет 4,3% [1]. Известно, что рак легкого в большинстве случаев встречается у мужчин от 50 до 80 лет, но в последние годы наблюдается более частое его развитие в возрасте 20–45 лет [2]. Относительная редкость заболевания у лиц молодого возраста зачастую обуславливает диагностические ошибки, ведущие к поздней установке диагноза.

Актуальность проблемы вызвана и изменением частоты встречаемости гистологических форм рака легкого. Если раньше преобладал плоскоклеточный рак, то в настоящее время все чаще встречаются различные формы аденокарциномы [1]. Редким первичным злокачественным новообразованием легкого является муцинозная аденокарцинома. На ее долю приходится от 2% до 14% всех первичных форм рака легкого [3].

Гистологический тип и клинико-патологические особенности муцинозной аденокарциномы отличаются от других типов аденокарциномы легкого. Муцинозная аденокарцинома обладает слизисто-продуцирующей функцией, что и объясняет ее название. Слизь, продуцируемая опухольными клетками, обычно выделяется в виде мокроты. Но при закупорке бронхов слизью развивается пневмония. [4]. Кроме того, для муцинозной аденокарциномы характерна неспецифичность симптомов, большинство из которых встречаются и при заболеваниях легких неопухолевого генеза.

Учитывая определенные трудности диагностики данного гистологического типа рака легкого и редкость развития его у лиц молодого возраста и женщин, мы предлагаем наблюдение из нашей практики.

Описание случая

Больная Ч., 43 года, обратилась за медицинской помощью в поликлинику по месту жительства в декабре 2018 г., когда появились кашель и повышение температуры тела до 38,5 °С. Пациентка была обследована амбулаторно. При проведении мультиспиральной компьютерной томографии выявлено образование в нижней доле правого легкого (снимки отсутствуют). На амбулаторном этапе по месту жительства больная получала антибактериальную терапию. На фоне проводимой терапии сохранялся кашель. Контрольные мультисрезовые компьютерные томографии (МСКТ) были выполнены 29.12.2018 г., 17.01.2019 г. и 06.03.2019 г.

Данные МСКТ органов грудной полости без внутривенного введения рентгеноконтрастного препарата (06.03.2019 г.). В S8/S9 правого легкого определяется участок консолидации легочной ткани неправильной формы с неровными нечеткими контурами размерами 53 × 37 мм. В структуре образования видны воздушные просветы субсегментарных бронхов (симптом «воздушной бронхограммы»). В окружающей легочной ткани отмечено снижение пневматизации по типу «матового стекла». Сравнение с данными предыдущих КТ от 29.12.2018 г. и 17.01.2019 г. показало, что общие размеры образования были прежние, но наблюдалось увеличение его мягкотканного компонента (рис. 1).

В апреле 2019 г. пациентка самостоятельно обратилась в МРНЦ им. А.Ф. Цыба. Предъявляла жалобы на наличие длительного продуктивного кашля, преимущественно в утреннее время. При осмотре общее состояние удовлетворительное, кожа и видимые слизистые не изменены, отеков нет. Лимфатические узлы не увеличены. Температура тела 36,6 °С. Дыхание везикулярное над всеми отделами легких, частота дыхательных движений 16 в минуту, частота сердечных сокращений 72 уд/мин, тоны сердца ясные, ритм

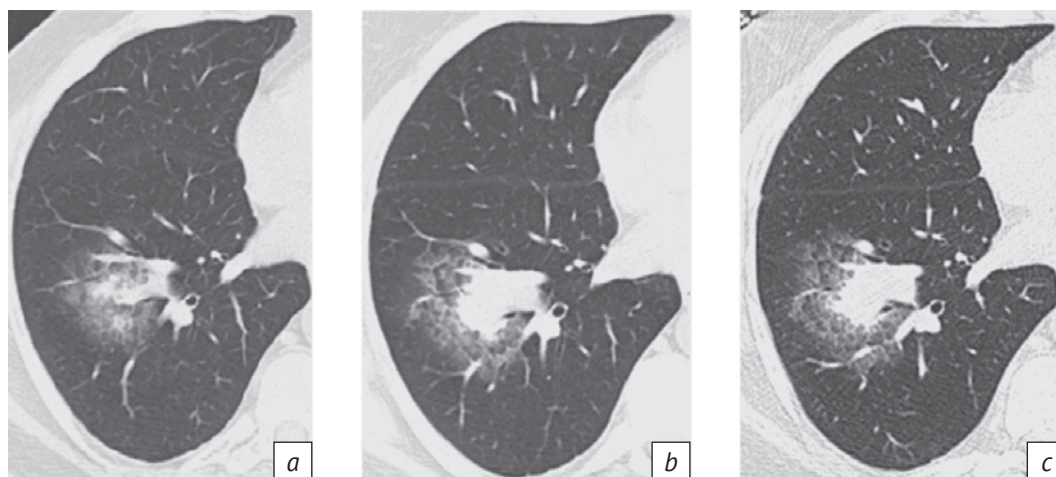


Рис. 1. Результаты МСКТ органов грудной клетки. В S8 и S9 правого легкого определяется участок консолидации легочной ткани неправильной формы с неровными нечеткими контурами размерами 53×37 мм. В структуре образования видны воздушные просветы субсегментарных бронхов (симптом «воздушной бронхограммы»). В окружающей легочной ткани отмечается снижение пневматизации по типу «матового стекла». Томограммы выполнены при динамическом наблюдении 29.12.2018 г. (a), 17.01.2019 г. (b) и 06.03.2019 г. (c)

Fig. 1. The results of chest MSCT. In S8 and S9 of the right lung, an irregularly shaped area of lung tissue consolidation is determined, with uneven, indistinct contours, 53×37 mm in size. In the structure of the formation, the air gaps of the subsegmental bronchi are visible (air bronchogram symptom). In the surrounding lung tissue, there is a decrease in "ground glass" pneumatization. The tomograms were performed at dynamic observation on December 29, 2018 (a), January 17, 2019 (b), and March 6, 2019 (c)

правильный, шумов нет, артериальное давление 130/80 мм рт. ст. Живот мягкий, безболезненный во всех отделах, перитонеальные симптомы отрицательные. Пальпация поясничной области безболезненна, симптом поколачивания по поясничной области отрицательный с обеих сторон, мочеиспускание безболезненное. Больная обследована амбулаторно. Выполнена МСКТ органов грудной клетки (11.04.2019 г.) с внутривенным болюсным введением неионного йодсодержащего контрастного вещества с концентрацией активного компонента 370 мг/мл в объеме 1 мл/кг массы тела и скоростью введения 3,5 мл/с.

Данные МСКТ (11.04.2019 г.). На серии компьютерных томограмм в S8/S9 правого легкого определяется участок уплотнения легочной ткани без ровных четких контуров приблизительно размерами 53×37 мм, на фоне которого видны просветы бронхов. Образование негомогенно по структуре за счет высокой интенсивности в центре и снижения плотности по периферии (симптом гало) (рис. 2, a). При сравнении с данными предыдущего исследования от 06.03.2019 г. КТ-картина без динамики. Выполнено КТ-исследование с динамическим контрастированием, при котором отмечено неравномерное накопление контрастного

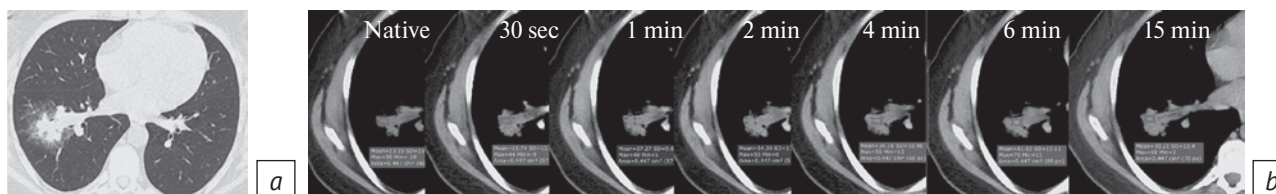


Рис. 2. Результаты исследований от 11.04.2019 г.:

a – МСКТ органов грудной клетки: на серии компьютерных томограмм в S8 и S9 правого легкого определяется участок уплотнения легочной ткани без ровных четких контуров приблизительно размерами 53×37 мм, на фоне которого видны просветы бронхов. Образование негомогенно по структуре за счет высокой интенсивности в центре и снижения плотности по периферии (симптом гало);

b – динамическая КТ легких: неравномерный характер накопления рентгеноконтрастного вещества образованием

Fig. 2. The results of studies on April 4, 2019:

a – chest MSCT: on a series of computer tomograms in S8 and S9 of the right lung, the area of compaction of the lung tissue without smooth, clear contours is determined, with an approximate size of 53×37 mm, on the background of which the lumen of the bronchi is visible. The formation is inhomogeneous in structure due to high intensity in the center and a decrease in density at the periphery (a halo symptom);

b – dynamic CT of the lungs: uneven nature of the accumulation of radiopaque substance by the formation

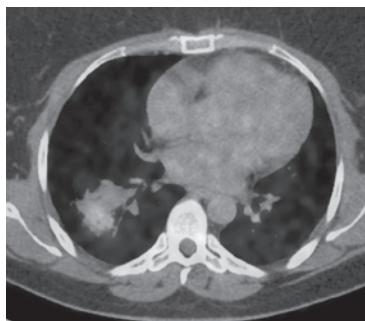


Рис. 3. ПЭТ-КТ «всего тела» с ^{18}F -дезоксиглюкозой. В нижней доле правого легкого определяется объемное образование неоднородной структуры размерами 44×58 мм, $\text{SUV}_{\text{max}} 4,4$

Fig. 3. "Full-body" PET-CT with ^{18}F -deoxyglucose. In the lower lobe of the right lung, a volume formation of an inhomogeneous structure is determined 44×58 mm in size, $\text{SUV}_{\text{max}} 4,4$

вещества образованием нижней доли правого легкого. Максимальное значение накопления контрастного вещества составило 28 ед. Н, «абсолютного вымывания» – 11 ед. Н, «процента вымывания» – 27% (рис. 2, b). Учитывая «классические» рентгенологические симптомы и данные динамической КТ, было дано заключение о наличии опухоли нижней доли правого легкого злокачественной природы.

Пациентка консультирована торакальным хирургом. Под КТ-навигацией 02.04.2019 г. выполнена трансторакальная пункция образования. По результатам морфологического исследования получено заключение о наличии муцинозной аденокарциномы легкого.

23.04.2019 г. выполнена позитронно-эмиссионная томография с компьютерной томографией (ПЭТ-КТ) всего тела с ^{18}F -дезоксиглюкозой. Данные ПЭТ-КТ: в нижней доле правого легкого определяется неоднородной структуры объемное образование размерами 44×58 мм, $\text{SUV}_{\text{max}} 4,4$. Заключение: наличие патологической метаболически активной специфической ткани в объемном образовании правого легкого, вероятно, неопластического характера (рис. 3).

Больная госпитализирована в торакальное отделение МРНЦ им. А.Ф. Цыба. 07.05.2019 г. выполнено хирургическое лечение в объеме: видеоторакоскопическая нижняя лобэктомия справа, систематическая медиастинальная лимфодиссекция.

При ревизии в нижней доле правого легкого определяется опухоль без изменения висцеральной плевры размерами 5×5 см с распространением на корень легкого. С помощью ультразвукового скальпеля рассечена легочная связка, лимфатические узлы 8-й и 9-й групп мобилизованы к легкому. Поочередно удалены лимфатические узлы 2-й, 4-й, 7-й и 10-й групп. Обработаны артерии, идущие к нижней доле, прошиты и пересечены на аппарате Echelon-45-flex (белая кассета). Выделена нижняя легочная вена, прошита и пересечена аналогичным образом. Выделен нижнедолевой бронх, прошит и пересечен на аппарате Echelon-45-flex (зеленая кассета). В связи с крупными размерами образования выполнена торакотомия в 5-м межреберье. Препарат удален. Проведены гемостаз, проверка на инородные тела и герметичность. Установлен дренаж в плевральную полость и гемостатические губки в места лимфодиссекции. Рана послойно ушита, наложены асептические наклейки.

Послеоперационный период протекал без осложнений, проводилась стандартная терапия, включающая антибиотикопрофилактику, обезболивание, симптоматическое лечение. Пациентка выписана из стационара на 8-е сутки после хирургического вмешательства.

По данным гистологического и иммуногистохимического исследований удаленного препарата подтверждена муцинозная аденокарцинома легкого, инвазии в висцеральную плевру не обнаружено

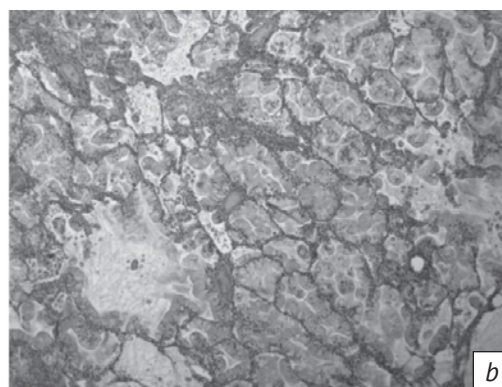
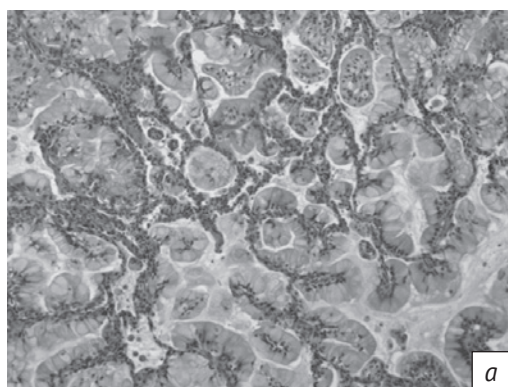


Рис. 4. Муцинозная аденокарцинома легкого. Окраска гематоксилином и эозином, ув. $\times 50$ (a), ув. $\times 100$ (b)

Fig. 4. Pulmonary mucinous adenocarcinoma. Hematoxylin and eosin stain, magnification $\times 50$ (a), magnification $\times 100$ (b)

(рис. 4). Край резекции долевого бронха интактен. В 5 лимфатических узлах опухоли не обнаружено.

Пациентка выписана 17.05.2019 г. в удовлетворительном состоянии под наблюдение онколога по месту жительства.

Обсуждение

При диагностике муцинозной аденокарциномы специалистам по лучевой диагностике следует учитывать такие симптомы, как консолидация легочной ткани, симптом «воздушной бронхографии» [5], данные ПЭТ/КТ, характеризующиеся низкой метаболической активностью радиофармпрепарата [6]. С точки зрения визуализационной диагностики важны результаты КТ с внутривенным контрастным усилением, что и показало наше клиническое наблюдение. Получаемые при проведении динамической КТ (КТ зоны интереса

при внутривенном введении контрастного вещества) показатели характера контрастирования образования, значения «накопления» и «вымывания» контрастного вещества в нем повышают точность диагностики и позволяют дифференцировать доброкачественный и злокачественный процессы [7].

Заключение

Муцинозная аденокарцинома является редкой опухолью, которая сопровождается крайне скудной и неспецифической симптоматикой. Это приводит к увеличению сроков ее распознавания, особенно у женщин молодого возраста. Учитывая плохой прогноз заболевания, чрезвычайно актуальна проблема ранней его диагностики с проведением гистологического и иммуногистохимического исследований.

Литература

- Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. (ред.) Состояние онкологической помощи населению России в 2016 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2017.
- Аксель Е.М., Давыдов М.И. Смертность населения России и стран СНГ от злокачественных новообразований в 2008 г. Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина. 2011; 22(3s): 93–123.
- Уразовский Н.Ю., Аверьянов А.В., Лесняк В.Н. Проблемы дифференциального диагноза бронхиолоальвеолярного рака. Клиническая практика. 2013; 3: 61–72.
- Liu Y, Zhang HL, Mei JZ, et al. Primary mucinous adenocarcinoma of the lung: a case report and review of the literature. Onkol Lett. 2017; 14(3): 3701–4. <https://doi.org/10.3892/ol.2017.6615>.
- Розадо-де-Кристенсон М.Л., Картер Б.В. Лучевая диагностика. Опухоли органов грудной клетки. М.: Издательство Панфилова; 2018.
- Ипатов В.В., Железняк И.С., Татарицкий Н.И. и др. Компьютерно-томографическая картина аденокарциномы со стелющимся ростом на примере клинических наблюдений. Практическая пульмонология. 2018; 2: 42–8.
- Петросян А.П., Силантьева Н.К., Усачева А.Ю., Жаворонков Л.П. Динамическая компьютерная томография при дифференциальной диагностике новообразований легких. Практическая пульмонология. 2018; 1: 82–90.

References

- Kaprin AD, Starinskiy VV, Petrova GV (Eds.) Malignancies in Russia in 2016 (morbidity and mortality). Moscow; 2018 (in Russ.).
- Aksel' EM, Davydov MI. Mortality of the population of Russia and the CIS countries from malignant neoplasms in 2008. Bulletin of Blokhin Russian Oncology Center. 2011; 20(3s): 93–123 (in Russ.).
- Urazovskiy NYu, Averyanov AV, Lesnyak VN. Problems of differential diagnosis of bronchiolalveolar carcinoma. Clinical Practice. 2013; 3: 61–72 (in Russ.).
- Liu Y, Zhang HL, Mei JZ, et al. Primary mucinous adenocarcinoma of the lung: a case report and review of the literature. Onkol Lett. 2017; 14(3): 3701–4. <https://doi.org/10.3892/ol.2017.6615>.
- Rosado-de-Christenson ML, Carter BW. Specialty imaging: thoracic neoplasms. Elsevier; 2016.
- Ipatov VV, Zheleznyak IS, Tataritskiy NI, et al. Computed tomographic patterns of minimally invasive lung adenocarcinoma: clinical cases. Practical Pulmonology. 2018; 2: 42–8 (in Russ.).
- Petrosian AP, Silanteva NK, Usacheva AYU, Zhavoronkov LP. Dynamic computed tomography for differential diagnosis of pulmonary neoplasms. Practical Pulmonology. 2018; 1: 82–90 (in Russ.).



Хронический аспергиллез легких под маской периферического новообразования

Николаева Н.Г., Голимбиевская Т.А., Шадринова О.В., Десятик Е.А., Бехтерева И.А., Бармичева С.А., Борзова Ю.В., Криволапов Ю.А., Ицкович И.Э., Климко Н.Н.

ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, ул. Кирочная, 41, Санкт-Петербург, 191015, Российская Федерация

Николаева Наталия Георгиевна, аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, врач-рентгенолог кабинета компьютерной томографии клиники им. Э.Э. Эйхвальда;

<http://orcid.org/0000-0001-7211-892X>

Голимбиевская Тамара Анатольевна, к. м. н., доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии;

<https://orcid.org/0000-0002-1626-3783>

Шадринова Ольга Витальевна, к. м. н., доцент кафедры клинической микологии, аллергологии и иммунологии;

<https://orcid.org/0000-0002-3272-5263>

Десятик Екатерина Александровна, аллерголог-иммунолог 2-го микологического отделения Научно-исследовательского института медицинской микологии им. П.Н. Кашкина;

<https://orcid.org/0000-0001-7674-3298>

Бехтерева Ирина Анатольевна, д. м. н., профессор, доцент кафедры патологической анатомии, врач-патологоанатом отделения клинической молекулярной морфологии клиники им. Э.Э. Эйхвальда;

<https://orcid.org/0000-0002-5206-3367>

Бармичева Сельма-Александра Сергеевна, студентка 6-го курса лечебного факультета;

<https://orcid.org/0000-0002-4953-0526>

Борзова Юлия Владимировна, к. м. н., ассистент кафедры клинической микологии, аллергологии и иммунологии, заведующая микологической клиникой Научно-исследовательского института медицинской микологии имени П.Н. Кашкина;

<https://orcid.org/0000-0003-1793-8970>

Криволапов Юрий Александрович, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой патологической анатомии, заведующий отделением клинической молекулярной морфологии клиники им. Э.Э. Эйхвальда;

<https://orcid.org/0000-0002-9872-0326>

Ицкович Ирина Эммануиловна, д. м. н., профессор, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии, заведующая рентгеновским отделением клиники им. Э.Э. Эйхвальда;

<https://orcid.org/0000-0001-8352-3955>

Климко Николай Николаевич, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой клинической микологии, аллергологии и иммунологии;

<https://orcid.org/0000-0001-6095-7531>

Резюме

Представлены два случая послеоперационной диагностики хронического аспергиллеза легких, которые предварительно расценивали как злокачественные новообразования. Решающую роль в выявлении хронического аспергиллеза легких играет компьютерная томография, но диагноз следует подтвердить с помощью лабораторных методов. Значение ранней диагностики хронического аспергиллеза легких обусловлено высоким риском осложнений при проведении хирургической операции без использования противогрибковых лекарственных средств.

Ключевые слова: хронический аспергиллез легких; компьютерная томография; дифференциальная диагностика.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Николаева Н.Г., Голимбиевская Т.А., Шадринова О.В., Десятик Е.А., Бехтерева И.А., Бармичева С.А., Борзова Ю.В., Криволапов Ю.А., Ицкович И.Э., Климко Н.Н. Хронический аспергиллез легких под маской периферического новообразования. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(1): 47–56. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-47-56>

Для корреспонденции: Николаева Наталия Георгиевна, E-mail: nikolasha85@list.ru

Статья поступила 01.03.2020

После доработки 19.03.2020

Принята к печати 20.03.2020

Chronic Aspergillosis in the Guise of Peripheral Lung Neoplasia

Nataliya G. Nikolaeva, Tamara A. Golimbiyevskaya, Olga V. Shadrivova, Ekaterina A. Desyatik, Irina A. Bekhtereva, Selma-Aleksandra S. Barmicheva, Yuliya V. Borzova, Yuriy A. Krivolapov, Irina E. Itskovich, Nikolay N. Klimko

*Mechnikov North-Western State Medical University,
ul. Kirochnaya, 41, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation*

Nataliya G. Nikolaeva, Postgraduate Student, Chair of Radiation Diagnostics and Radiotherapy, Radiologist, Eikhvald Clinic;
<http://orcid.org/0000-0001-7211-892X>

Tamara A. Golimbiyevskaya, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Radiation Diagnostics and Radiotherapy;
<https://orcid.org/0000-0002-1626-3783>

Olga V. Shadrivova, Cand. Med. Sc., Assistant Professor, Chair of Clinical Mycology, Allergy and Immunology;
<https://orcid.org/0000-0002-3272-5263>

Ekaterina A. Desyatik, Allergologist-Immunologist, 2nd Mycological Department, Kashkin Research Institute of Medical Mycology;
<https://orcid.org/0000-0001-7674-3298>

Irina A. Bekhtereva, Dr. Med. Sc., Professor, Associate Professor, Chair of Pathological Anatomy, Pathologist, Department of Clinical Molecular Morphology, Eikhvald Clinic;
<https://orcid.org/0000-0002-5206-3367>

Selma-Aleksandra S. Barmicheva, 6-Year Student, Faculty of Medicine;
<https://orcid.org/0000-0002-4953-0526>

Yuliya V. Borzova, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Clinical Mycology, Allergy and Immunology, Head of Mycological Clinic, Kashkin Research Institute of Medical Mycology;
<https://orcid.org/0000-0003-1793-8970>

Yuriy A. Krivolapov, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Pathological Anatomy, Head of Department of Clinical Molecular Morphology, Eikhvald Clinic;
<https://orcid.org/0000-0002-9872-0326>

Irina E. Itskovich, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Radiation Diagnostics and Radiotherapy, Head of Radiology Department, Eikhvald Clinic;
<https://orcid.org/0000-0001-8352-3955>

Nikolay N. Klimko, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Clinical Mycology, Allergy and Immunology;
<https://orcid.org/0000-0001-6095-7531>

Abstract

Two cases of postoperative diagnosis of chronic pulmonary aspergillosis are presented, which were previously regarded as malignant neoplasms. A decisive role in the detection of chronic pulmonary aspergillosis is played by computed tomography, but the diagnosis should be confirmed by laboratory tests. The importance of early diagnosis of chronic pulmonary aspergillosis is associated with high risk of complications during surgery without the use of antifungal drugs.

Keywords: chronic pulmonary aspergillosis; computed tomography; differential diagnosis.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Nikolaeva NG, Golimbiyevskaya TA, Shadrivova OV, Desyatik EA, Bekhtereva IA, Barmicheva SAS, Borzova YuV, Krivolapov YuA, Itskovich IE, Klimko NN. Chronic aspergillosis in the guise of peripheral lung neoplasia. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(1): 47–56 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-47-56>

For corresponding: Nataliya G. Nikolaeva, E-mail: nikolasha85@list.ru

Received March 1, 2020

Revised March 19, 2020

Accepted March 20, 2020

Введение

В последние десятилетия отмечено увеличение числа заболеваний, вызванных грибами рода *Aspergillus*, в том числе хронического аспергиллеза легких (ХАЛ) [1]. Хронический аспергиллез легких возникает преимущественно у пульмонологических пациентов без выраженного иммунодефицита. Согласно экспертным оценкам, в мире

насчитывается около 3 млн больных ХАЛ, из них около 1,2 млн пациентов с ранее перенесенным туберкулезом [2]. Общее число больных ХАЛ в России составляет 52 311 человек [1].

К факторам риска развития хронического аспергиллеза относят перенесенный ранее туберкулез, саркоидоз, оперативные вмешательства на легких, буллезную эмфизему, хроническую

обструктивную болезнь легких (ХОБЛ), бронхоэктазы.

Диагностика ХАЛ затруднительна, нередко его принимают за другие заболевания. Решающую роль в выявлении хронического аспергиллеза легких играет компьютерная томография (КТ), но диагноз следует подтвердить с помощью лабораторных методов. Без специфического лечения примерно половина больных ХАЛ умирает в течение 5 лет. Кроме того, значение ранней диагностики ХАЛ обусловлено высоким риском осложнений при проведении хирургической операции без использования противогрибковых лекарственных средств [1].

Цель статьи – представить КТ-признаки хронического аспергиллеза легких.

Материал и методы

В статье представлены два случая послеоперационной диагностики хронического аспергиллеза легких, которые до операции расценивали как новообразования. В 1-м случае пациенту выполняли КТ легких с внутривенным болюсным контрастированием (Омнипак 350, 100 мл) в 64-спиральном режиме на аппарате Optima 660 (General Electric, США) с толщиной среза 1,25 мм. В послеоперационном периоде КТ проводили на 64-срезовом аппарате Aquillion (Toshiba, Япония) с толщиной среза 0,5 мм с напряжением на трубке 120 кВ. Во 2-м случае КТ выполняли в 128-спиральном режиме на аппарате Optima 660 с толщиной среза 1,25 мм.

Анализ изображений в обоих случаях дополнялся построением мультипланарных реконструкций, проекций максимальной и минимальной интенсивности. Фибробронхоскопию с забором бронхоальвеолярного лаважа (БАЛ) осуществляли

по стандартному протоколу. Лабораторная диагностика ХАЛ включала определение специфического ингибитора G (IgG) *Aspergillus* в сыворотке крови, выявление сходного с *Aspergillus spp.* септированного мицелия в гистологическом постоперационном материале. Фиксацию материала для гистологического исследования осуществляли в 10% нейтральном забуференном формалине. Затем его подвергали стандартной проводке с последующей заливкой в парафин. Из полученных блоков готовили срезы толщиной 2 или 3 мкм, окрашивали гематоксилином и эозином. Для идентификации и уточнения локализации микотических структур в препаратах срезы окрашивали реактивом Шиффа (PAS-реакция) и импрегнировали серебром по Грокотту. Наличие галактоманна в сыворотке крови и БАЛ оценивали методом ELISA *Platelia Aspergillus*, положительным считали коэффициент оптической плотности более 0,5. Диагноз ХАЛ устанавливали по критериям D.W. Denning et al. [2].

Описание случая 1

Пациент М., 50 лет, в октябре 2017 г. поступил в онкологический диспансер в связи с выявленным при диспансеризации на рентгенограмме органов грудной клетки образованием в верхней доле правого легкого. Больной консультирован фтизиатром: данных за туберкулез не получено, диаскинтест отрицательный. При выполнении комплексного обследования (ультразвуковое исследование брюшной полости, фиброгастродуоденоскопия, ирригоскопия) органическая патология исключена. Выполнили КТ органов грудной клетки (рис. 1–3). Заключение: КТ-картина может

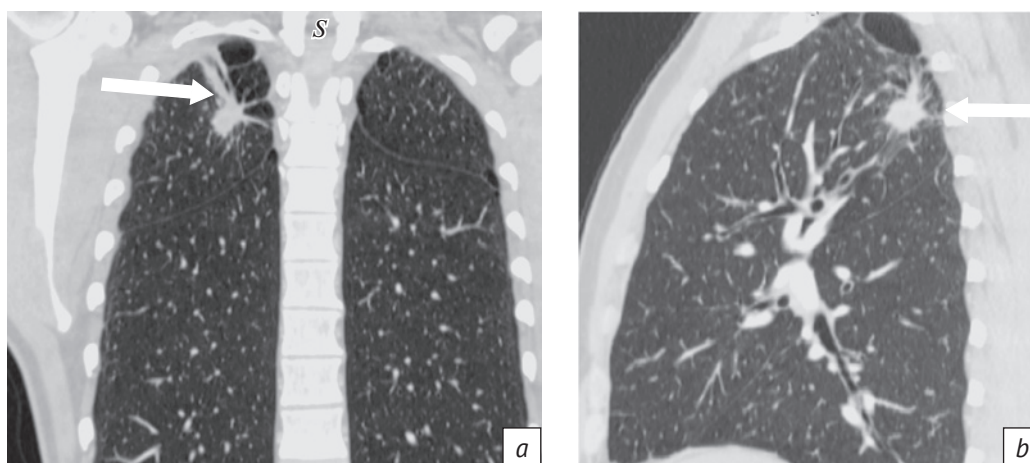


Рис. 1. Компьютерные томограммы грудной клетки в легочном режиме: корональная (а) и сагиттальная (б) проекции. В верхней доле правого легкого визуализируется образование с неровными контурами за счет фиброзных тяжей, направленных в сторону апикальной и паракостальной плевры (стрелки). В окружающей легочной ткани – эмфизематозные буллы

Fig. 1. Computer tomograms of the chest in the pulmonary mode: coronal (a) and sagittal (b) projections. In the upper lobe of the right lung, a formation with uneven contours is visualized due to fibrous cords directed towards the apical and paracostal pleura (arrows). In the surrounding lung tissue there is emphysematous bullae

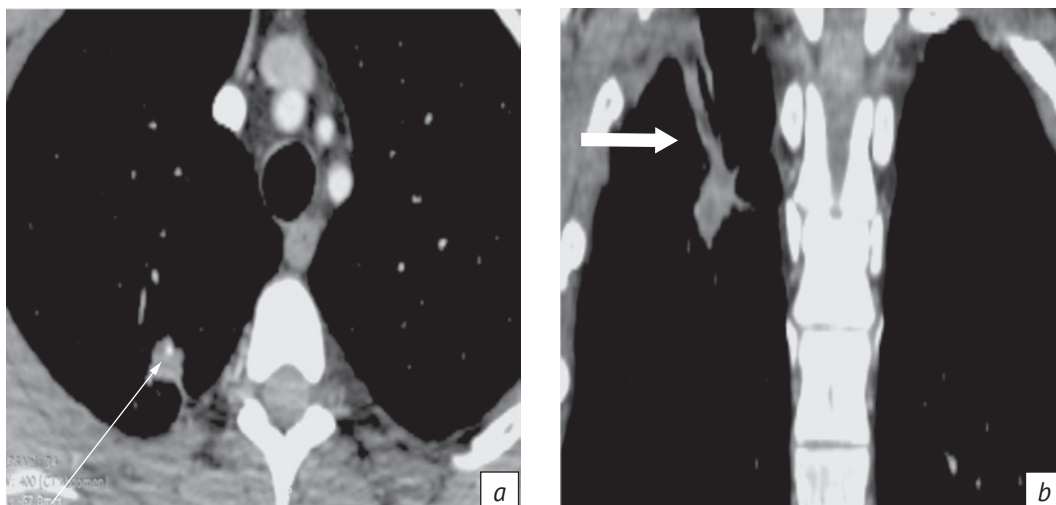


Рис. 2. Компьютерные томограммы грудной клетки в средостенном режиме с внутривенным контрастированием: аксиальная (а) и корональная проекции (b). В структуре патологического образования определяется точечный участок повышенной плотности +57 HU (тонкая стрелка). Широкий фиброзный тяж и утолщение апикальной плевры воспалительного характера (широкая стрелка)

Fig. 2. Computer tomograms of the chest in mediastinal mode with intravenous contrast axial (a) and coronal (b) projection. In the structure of the pathological formation, a point site of increased density +57 HU is determined (thin arrow). Wide fibrous strand and thickening of the apical pleura of an inflammatory nature (wide arrow)

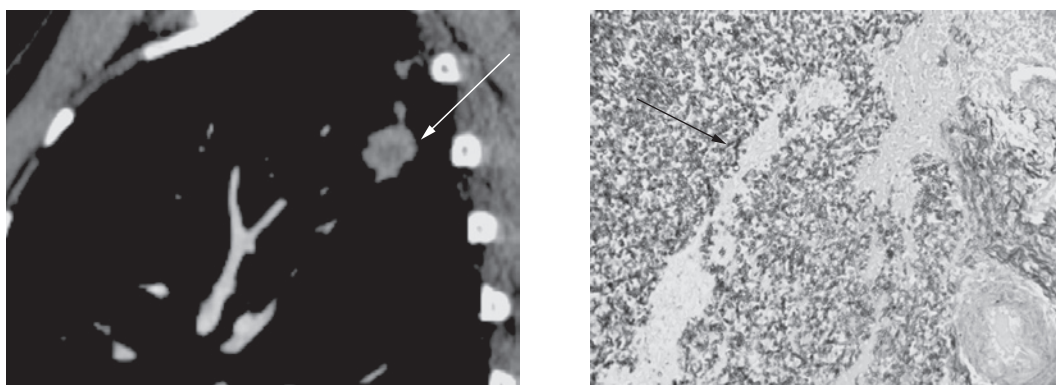


Рис. 3. Компьютерная томограмма в средостенном режиме с внутривенным контрастированием (сагиттальная реконструкция). Гиподенсный участок в центре образования (возможно, формирующаяся полость)

Fig. 3. Computed tomogram in mediastinal mode with intravenous contrast (sagittal reconstruction). Hypodensity plot in the center of the formation (possibly a cavity being formed)

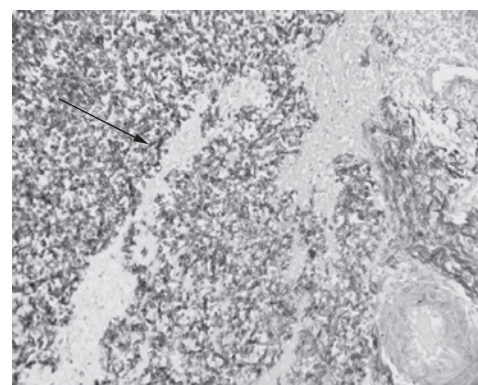


Рис. 4. Хронический легочный аспергиллез. В стенке хронического абсцесса определяются скопления мицелия грибов рода *Aspergillus* (стрелка). Окраска по Грокотту, ув. ×200

Fig. 4. Chronic pulmonary aspergillosis. In the wall of a chronic abscess, accumulations of *Aspergillus* fungi mycelium (arrow) are determined. Grocott stain ×200

соответствовать периферическому образованию верхней доли правого легкого на фоне выраженных признаков ХОБЛ. Пациент был направлен в онкологический диспансер, где в ноябре 2017 г. провели верхнюю лобэктомию справа. При гистологическом исследовании выявили признаки аспергиллеза легкого, данных за онкологический процесс получено не было.

В феврале 2018 г. больной поступил в микологическую клинику СЗГМУ им. И.И. Мечникова. При пересмотре гистологических препаратов (рис. 4) в исследованном материале выявили фрагменты

ткани легкого, в просвете бронхов мелкого калибра – десквамированный респираторный эпителий. Поля грануляционной ткани, множественные эпителиоидно-клеточные гранулемы с единичными гигантскими клетками типа Лангханса и типа клеток инородных тел, зрелая соединительная ткань. Вокруг сосудов отмечено разрастание соединительной ткани. Стенки альвеол утолщены. В просвете альвеол – гомогенные эозинофильные массы, некротические массы, нейтрофильные лейкоциты. Определены фокусы ателектазов, в межальвеолярных перегородках инфильтрация нейтрофильными

лейкоцитами. Обнаружены множественные абсцессы, стенка которых состояла из зрелой соединительной ткани, грануляционной ткани, гнойно-некротического слоя. В полости выявлено большое количество мицелия грибов, ветвящихся под углом 45°, которые окрашивались позитивно по Грокотту и при PAS-реакции (учитывая морфологическое строение мицелия грибов, можно утверждать, что они относятся к роду *Aspergillus*). Также определены многочисленные фокусы, где мицелий грибов лежал в стенке альвеол. Данных за онкологический процесс не получено.

Результаты обследования в послеоперационном периоде: тест на галактотриптан в промывной жидкости бронхов отрицательный (коэффициент оптической плотности 0,10). При микроскопии БАЛ элементы микромицета не обнаружены, при посеве роста микромицетов не получено. На КТ органов грудной клетки от февраля 2018 г. (рис. 5): правое легкое уменьшено в объеме за счет верхней доли. В S4 выявлено уплотнение легочной ткани с видимыми и сближенными просветами бронхов. По медиастинальной плевре цепочка металлических швов.

В течение 1 мес пациент получал итраконазол по 400 мг/сут. На контрольном обследовании в мае 2018 г. при КТ органов грудной клетки (рис. 6) определено состояние после правосторонней верхней лобэктомии (послеоперационные изменения). В результате комплексного обследования клинических, лабораторных и КТ-признаков активности ХАЛ не отмечено.

Описание случая 2

Больная Н., 52 года. Со слов пациентки известно, что более 30 лет назад при плановой флюорографии впервые было выявлено опухолевидное образование левого легкого. Проводили обследование в противотуберкулезном диспансере, данных за туберкулез легких получено не было, изменения расценены как очаг Гона. Спустя несколько лет при контрольном обследовании диагноз был изменен на «гамартрома S8 левого легкого». Ежегодно выполняли КТ органов грудной клетки, в динамике отмечали увеличение размеров образования – на 0,7 мм за 2 года (рис. 7–9). В сентябре 2018 г. была проведена атипичная резекция S8 левого легкого по поводу периферического образования неуточненной природы. При гистологическом исследовании определены признаки аспергиллеза легкого, данных за онкологический процесс получено не было.

В октябре 2018 г. больная поступила в микологическую клинику СЗГМУ им. И.И. Мечникова. По данным КТ органов грудной клетки от октября 2018 г. в области оперативного вмешательства выявлено уплотнение легочной ткани на фоне

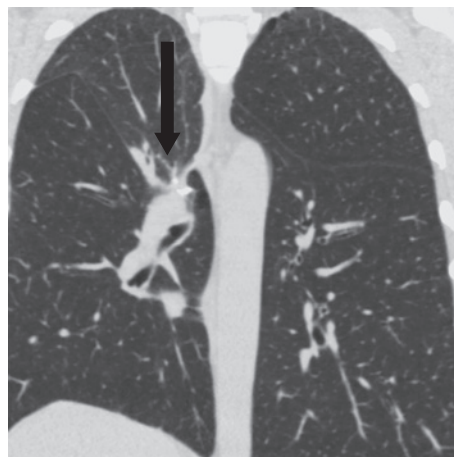


Рис. 5. Компьютерная томограмма от февраля 2018 г., легочное окно, корональная реконструкция. Состояние после верхнедолевой лобэктомии. Парамедиастинально определяется цепочка металлических скрепок, уплотнение легочной ткани с видимыми просветами бронхов в S4. Междолевая плевра вогнута в апикальную сторону. Пневматизация легочной ткани неравномерная

Fig. 5. Computed tomogram of the chest from February 2018, pulmonary window, coronal reconstruction. Condition after upper lobectomy. The paramediastinally determined chain of metal clips, the compaction of the lung tissue with visible bronchial lumens in S4. The interlobar pleura is concave to the apical side. Pneumatization of lung tissue is uneven

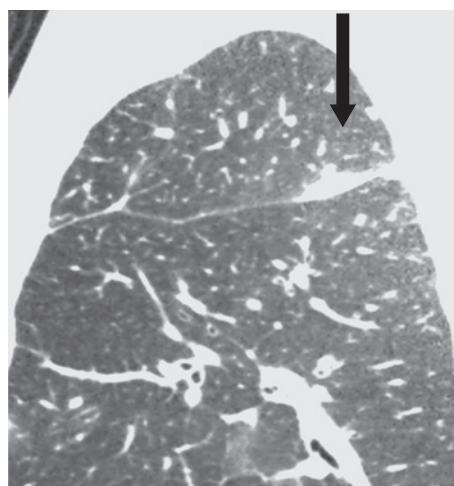


Рис. 6. Компьютерная томограмма грудной клетки от мая 2018 г., легочное окно, сагитальная реконструкция. Уплотнение легочной ткани в задних отделах междолевой плевры (стрелка). Признаков рецидива микотического процесса не выявлено

Fig. 6. Computed tomogram of the chest from May 2018, pulmonary window, sagittal reconstruction. Compaction of lung tissue in the posterior interlobar pleura (arrow). No signs of recurrence of the mycotic process were detected

послеоперационных изменений, левосторонний ограниченный плеврит (рис. 10).

Пациентке выполнили серологические и лабораторные исследования: тест на IgG к *Aspergillus*



Рис. 7. Компьютерная томограмма грудной клетки в легочном режиме от февраля 2016 г., аксиальная проекция. Патологическое образование овальной формы, с четкими наружными контурами и серповидной полоской воздуха в структуре. Небольшие фиброзные тяжи в сторону костальной плевры (стрелка)

Fig. 7. Computed tomogram of the chest in pulmonary mode from February 2016 (a). Pathological formation of an oval shape with clear external contours and a crescent strip of air in the structure. Small fibrous strands in the direction of the costal pleura (arrow)

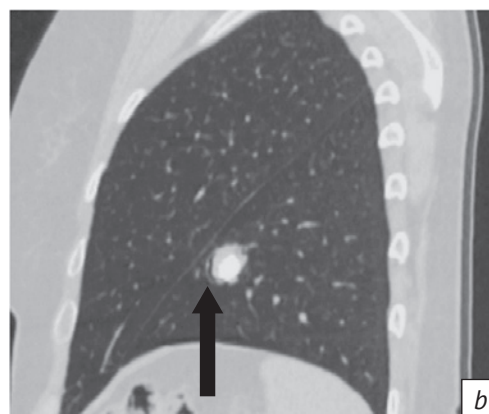
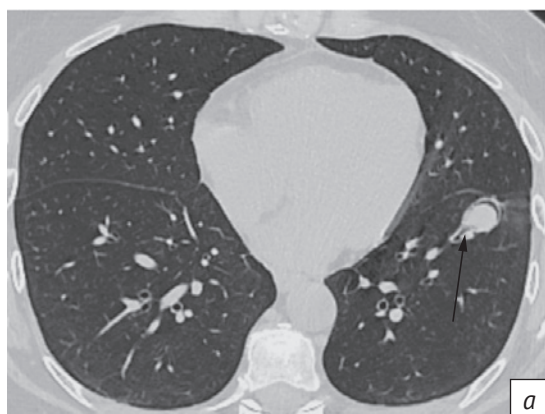


Рис. 8. Компьютерные томограммы грудной клетки от апреля 2018 г.: аксиальная (a) и сагиттальная (b) проекции. Локализация патологического образования внутри субсегментарного бронха (тонкая стрелка). Контур образования местами волнистые (широкая стрелка)

Fig. 8. Computer tomograms of the chest from April 2018. Axial (a) and sagittal (b) reconstruction. Localization of pathological formation inside the subsegmental bronchus (thin arrow). The contours of the formation in places are wavy (wide arrow)



Рис. 9. Компьютерная томограмма грудной клетки (средостенный режим, аксиальная проекция). Массивный участок обызвествления в структуре патологического образования (стрелка). Включения жировой плотности отсутствуют

Fig. 9. Computed tomogram of the chest (mediastinal mode, axial projection). Massive calcification site in the structure of pathological formation (arrow). There are no inclusions of fat density

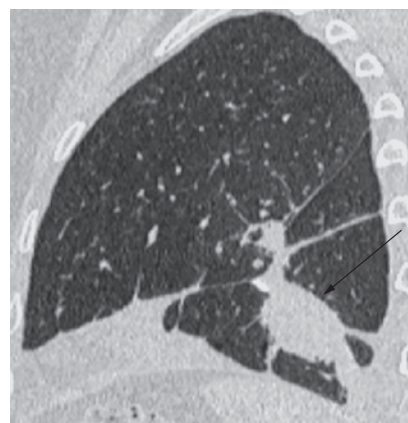


Рис. 10. Компьютерная томограмма грудной клетки от октября 2018 г., легочное окно, сагиттальная проекция. В зоне оперативного вмешательства – осумкованная жидкость (стрелка), цепочка металлических скрепок. Объем нижней доли уменьшен

Fig. 10. Computed tomogram of the chest from October 2018, pulmonary window, sagittal projection. In the area of surgical intervention there is a lacquered fluid (arrow), a chain of metal clips. The volume of the lower lobe is reduced

в сыворотке крови отрицательный, тест на галактоманнан в БАЛ отрицательный, при посеве БАЛ роста микромицетов не получено. При пересмотре гистологического материала визуализируются фрагменты ткани легкого, бронхи мелкого и среднего калибра, выстланные многослойным плоским неороговевающим эпителием (плоскоклеточная метаплазия бронха), в просвете гомогенные эозинофильные массы, некротические массы, большое количество мицелия грибов, ветвящихся под углом 45° (окрашиваются позитивно по Грокотту и при PAS-реакции), проникающих в стенку бронха (учитывая морфологическое строение мицелия грибов, можно утверждать, что они относятся к роду *Aspergillus*). Перибронхиально поля грануляционной ткани, зрелая соединительная ткань. Вокруг сосудов отмечено разрастание соединительной ткани. Стенки альвеол утолщены. В просвете альвеол определяются фокусы ателектазов, в межальвеолярных перегородках инфильтрация нейтрофильными лейкоцитами (рис. 11).

В динамике наблюдалось увеличение объема плеврального выпота, потребовавшее выполнения плевральной пункции. При микроскопии плевральной жидкости: на фоне эритроцитов (до 40–50 в поле зрения) лейкоциты до 10–15 в поле зрения, единичные клетки плоского эпителия без атипии, элементов гриба не обнаружено. При посеве плевральной жидкости роста микроорганизмов не было.

Результат теста на галактоманнан в плевральной жидкости положительный (индекс оптической плотности 0,94). Пациентке проводили антимикотическую терапию вориконазолом по 400 мг/сут в течение 1 мес. На фоне терапии отмечали положительную клиническую и КТ-динамику (рис. 12) – уменьшение размеров уплотнения в S9 левого легкого, значительное уменьшение количества жидкости в левой плевральной полости. Пациентка продолжала терапию вориконазолом по 400 мг/сут в течение еще 1 мес.

Обсуждение

В настоящее время выделяют пять вариантов ХАЛ: нодулярный аспергиллез, аспергиллема, хронический кавернозный аспергиллез, хронический фиброзирующий аспергиллез, а также хронический некротизирующий аспергиллез. Наиболее распространенными формами являются хронический кавернозный аспергиллез и простая одиночная аспергиллема, выявляемая в 25% случаев [1, 3]. На КТ легких аспергиллема представляет собой полостное образование с содержимым, смещающимся при полипозиционном исследовании. Лучевая картина аспергиллемы нередко может иметь сходство с полостной формой периферического рака легкого [4]. Нодулярный аспергиллез – редкая форма ХАЛ, которую при КТ следует

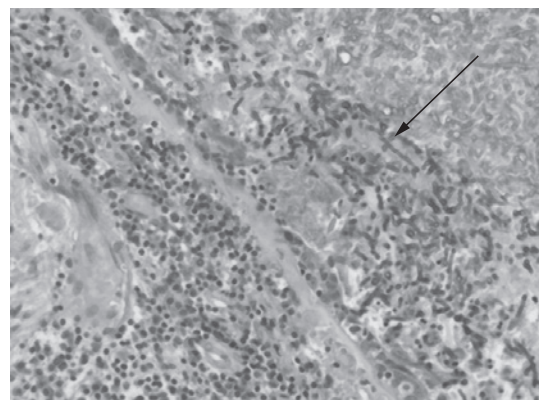


Рис. 11. Хронический легочный аспергиллез. В просвете бронха – скопления мицелия грибов рода *Aspergillus*, инвазия мицелия в стенку бронха (стрелка). Окраска реактивом Шиффа (PAS-реакция), ув. $\times 400$

Fig. 11. Chronic pulmonary aspergillosis. In the lumen of the bronchus there are accumulations of *Aspergillus* fungi micelium, invasion of the mycelium into the bronchus wall (arrow). Schiff reagent staining (PAS reaction) $\times 400$



Рис. 12. Компьютерная томограмма грудной клетки от февраля 2019 г., легочное окно, сагиттальная проекция. Отмечается положительная динамика в виде уменьшения степени выраженности послеоперационных изменений. Признаков рецидива микотического процесса не выявлено

Fig. 12. Computed tomogram of the chest from February 2019, pulmonary window, sagittal projection. Positive dynamics in the form of a decrease in the severity of postoperative changes is noted. No signs of recurrence of the mycotic process were detected

дифференцировать с туберкулемой, карциномой, гамартомой (гамартохондромой), метастатическим поражением, гранулематозом Вегенера, ревматоидными узелками.

В представленных случаях ХАЛ был диагностирован после хирургического удаления пораженных тканей. В 1-м случае сложность диагностики заключалась в отсутствии специфических изменений на КТ легких. Наличие у пациента признаков

ХОБЛ, возраст, мужской пол свидетельствовали о возможности периферического злокачественного образования легкого. Однако при ретроспективном анализе изображений обращает на себя внимание большая распространенность изменений вдоль паракостальной и апикальной плевры. При аденокарциноме реакция плевры, как правило, соответствует размеру опухолевого узла, отмечается деформация и инвазия плевры патологическим образованием. В данном случае выявляли широкие тяжи к плевре без явных признаков ее деформации и инфильтрации, что нехарактерно для карциномы (см. рис. 1, 2). При локализации опухоли вблизи апикальной плевры и ее инвазии у пациентов обычно возникает болевой синдром, который отсутствовал в данном клиническом случае. При ретроспективном анализе структуры инфильтрата определяли точечный участок повышенной плотности (+57 HU), на постконтрастных сканах отмечали накопление рентгеноконтрастного препарата с небольшим градиентом (менее +20 HU) преимущественно по периферии. В центре образования визуализировали участок пониженной плотности (+16+18 HU) – возможно, формирующаяся полость (см. рис. 2, 3). Для аденокарциномы характерно хаотичное накопление рентгеноконтрастного препарата с более высоким градиентом. Субсегментарные бронхи входят в образование, при этом просвет их не обрывается, а прослеживается также в структуре наиболее крупного фиброзного тяжа. Для аденокарциномы типичным является обрыв просвета бронха в образовании. Локализация образования в верхней доле – признак, более характерный для туберкулемы. При этом отсутствовали очаговые изменения в перифокальной зоне, участки обызвествления в структуре образования. Лабораторные исследования не подтвердили данный диагноз.

При анализе КТ-архива (с 2016 по 2018 г.) во 2-м представленном наблюдении (см. рис. 7–9) в S8 левого легкого определяли овальной формы патологическое образование с участком обызвествления и мягкотканым компонентом в структуре. Включений пониженной денситометрической плотности (–100–130 HU), характерных для жировой ткани и являющихся специфичными для гамартомы, не обнаружено. С 2016 г. в образовании визуализируется тонкая полоска воздуха серповидной формы, размеры которой, как и самого образования, в динамике несколько увеличились. К образованию подходит субсегментарный бронх, который связан с ним. В окружающей легочной ткани линейные фиброзные тяжи в сторону паракостальной плевры (см. рис. 7, 8). Гамартома морфологически представляет собой дизонтогенетическое образование доброкачественной природы, чаще локализованное в периферических

отделах легкого. Локализация образования, а также ориентация его длинной оси по направлению к корню легкого являются характерными признаками гамартомы [5]. Однако данные о наличии полости в структуре гамартомы в литературе отсутствуют. Инвазия в стенку бронха, визуализируемая при КТ и подтвержденная при гистологическом исследовании, также не является характерной для гамартомы.

По данным E.G. Muldoon et al. [6], узловые образования в легких без признаков полости наблюдались у 33 человек. Большую часть пациентов (54%) составляли мужчины, наиболее часто (60%) изменения локализовались в верхних долях, одиночные образования отмечены в 36% случаев. Анализ крови на IgG к *Aspergillus* был выполнен у 32 пациентов, при этом значимое повышение уровня специфического IgG отмечали в 4 (12,5%) наблюдениях. Гистологическую верификацию проводили у 13 больных, хронический нодулярный аспергиллез выявлен у 7 (54%) из них. В остальных случаях определено гранулематозное воспаление в сочетании с некрозом. Авторы исследования подчеркивают, что дифференциальная диагностика нодулярного аспергиллеза по клиническим и рентгенологическим данным не всегда возможна. Лабораторные тесты при данной форме аспергиллеза оказались недостаточно специфичными.

С целью окончательной верификации, согласно клиническим рекомендациям Европейского респираторного общества и Европейского общества клинической микробиологии и инфекционных заболеваний, пациентам с одиночным узловым образованием легкого микотической природы при отсутствии противопоказаний должна быть выполнена его резекция с назначением специфической антимикотической терапии в до- и послеоперационном периодах для снижения риска послеоперационных осложнений [2, 3].

В настоящее время можно утверждать, что гистологическое исследование биоптата и послеоперационного материала – стандарт диагностики нодулярной формы ХАЛ. На дооперационном этапе существуют трудности дифференциальной диагностики хронического нодулярного аспергиллеза с другими нозологическими формами периферических легочных образований.

Нередко ХАЛ принимают за онкологический процесс или доброкачественное образование. В таблице приведены основные нозологические формы, составляющие дифференциально-диагностический ряд при обнаружении периферического образования легкого. С учетом выявленных КТ-признаков и клинических данных заключение врача-рентгенолога должно содержать упоминание о возможном ХАЛ. На основании выявленной КТ-семиотики возможно сократить до минимума

Дифференциальные признаки одиночных периферических образований в легких

Differential signs of solitary peripheral pulmonary mass

Одиночное периферическое образование легкого / Solitary peripheral pulmonary mass	Клинические данные / Clinical data	КТ-семиотика / CT-semiotics
Хронический аспергиллез легких (нодулярная форма) / Chronic pulmonary aspergillosis (nodular form)	Частый контакт с плесневыми грибами, бессимптомное течение / Frequent contact with mold fungi, asymptomatic course	Одиночное узловое образование, чаще в верхних долях, не содержит включений кальция, в динамике может появиться полость. Может быть умеренная воспалительная реакция плевры, проходимость бронхов сохранена. Низкий градиент накопления рентгеноконтрастного препарата / Single nodule, more often in the upper lobes, no calcium inclusions, a cavity may appear in dynamics. There may be a moderate inflammatory pleura reaction, bronchial patency is preserved. Low gradient of radiopaque drug accumulation
Аденокарцинома / Adenocarcinoma	Мужской пол, 50–70 лет, длительный стаж курения, ХОБЛ, на ранних стадиях неспецифическая симптоматика (кашель) / Male; 50–70 years old; long smoking experience, COPD; in the early stages, non-specific symptoms (cough)	Периферическое узловое образование с «лучистыми» контурами за счет лимфангита, инвазией плевры и реакцией корня легкого. Определяется симптом проникающего бронха, сужение и обрыв бронха в структуре образования. Интенсивное, хаотичное накопление рентгеноконтрастного препарата в артериальную фазу / Peripheral nodular formation with “radiant” contours due to lymphangitis, pleural invasion and lung root reaction. The symptom of penetrating bronchus, narrowing and breakage of the bronchus in the structure of the formation is determined. Intensive, chaotic accumulation of radiopaque drug in the arterial phase
Гамартома / Hamartoma	3–4-я декада жизни, у мужчин в 2 раза чаще, бессимптомное течение / 3–4th decade of life; in males 2 times more often; asymptomatic course	Плотное округлое или овальное узловое образование с ровными или дольчатыми контурами, локализованное в кортикальных, субкортикальных отделах легкого, в структуре – обызвествления и участки жировой плотности. Включения воздуха нехарактерны. Окружающий легочный рисунок не изменен, нет реакции плевры и изменений корня легкого. Нет прогрессивного роста в динамике / Dense round or oval nodular formation with smooth or lobular contours, localized in the cortical, subcortical parts of the lung, in the structure there are calcifications and areas of fat density. Air inclusions are not typical. The surrounding lung pattern is not changed, there is no pleural reaction and no lung root changes. There is no progressive growth in dynamics
Туберкулема / Tuberculoma	Различные формы туберкулеза в анамнезе, положительный диаскинтест / Various forms of tuberculosis in the anamnesis; positive Diaskintest	Солитарное образование, чаще расположенное в верхних долях, с фестончатыми контурами, на ранних стадиях – однородной структуры, позже возникают более плотные и кальцинированные включения. В окружающей легочной ткани – очаги, участки пневмофиброза, эмфиземы, тяжи в сторону апикальной и паракостальной плевры. При прогрессировании процесса диаметр туберкулемы увеличивается, могут появиться участки деструкции (чаще эксцентричные) /

Одиночное периферическое образование легкого / Solitary peripheral pulmonary mass	Клинические данные / Clinical data	КТ-семиотика / CT-semiotics
Гранулема / Granuloma	4-я декада жизни, одинаково часто у мужчин и у женщин, поражение легких 60–80%, полиорганное поражение (почки, верхние дыхательные пути, околоносовые пазухи), боли в грудной клетке, кровохарканье / 4th decade of life; equally common in males and females; lung damage 60–80%; multiple organ damage (kidneys, upper respiratory tract, paranasal sinuses); chest pain; hemoptysis	Solitary formation, more often located in the upper lobes, with scalloped contours, in the early stages – a homogeneous structure, later there are more dense and calcified inclusions. In the surrounding lung tissue – foci, areas of pneumofibrosis, emphysema, strands in the direction of the apical and paracostal pleura. With the progression of the process, the tuberculoma diameter increases, there may be areas of destruction (often eccentric) Одиночные или множественные инфильтраты в легких, в динамике – распад с образованием полостей / Single or multiple infiltrates in the lungs, in dynamics – decay with the formation of cavities

Примечание. ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких.

Note. COPD – chronic obstructive pulmonary disease.

дифференциально-диагностический ряд у пациентов с одиночным периферическим образованием легкого. Обнаруженные при детальном анализе КТ-изображений особенности ХАЛ

могут способствовать дооперационной диагностике и обуславливать применение противогрибковых лекарственных средств для снижения риска послеоперационных осложнений.

Литература [References]

- Klimko N, Kozlova Y, Khostelidi S, et al. The burden of serious fungal diseases in Russia. *Mycoses*. 2015; 58(Suppl 5): 58–62. <https://doi.org/10.1111/myc.12388>.
- Denning DW, Cadranell J, Beigelman-Aubry C, et al. Chronic pulmonary aspergillosis: rationale and clinical guidelines for diagnosis and management. *Eur Respir J*. 2016; 47(1): 45–68. <https://doi.org/10.1183/13993003.00583-2015>.
- Ullmann AJ, Aguado JM, Arikan-Akdagli S, et al. Diagnosis and management of Aspergillus diseases: executive summary of the 2017 ESCMID-ECMM-ERS guideline. *Clin Microbiol Infect*. 2018; 24(Suppl 1): e1–38. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2018.01.002>.
- Yasuda M, Nagashima A, Haro A, Saitoh G. Aspergilloma mimicking a lung cancer. *Int J Surg Case Rep*. 2013; 4(8): 690–2. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2013.02.028>.
- Васильев Н.В., Самцов Е.Н., Байдала П.Г. Гамартома легких: предмет исследования и наблюдения. *Сибирский онкологический журнал*. 2008; 3: 78–81. [Vasiljev NV, Samtsov EN, Baidala PG. Hamartoma of the lung: study subject and clinical experience. *Siberian Journal of Oncology*. 2008; 3: 78–81 (in Russ.).]
- Muldoon EG, Sharman A, Page I, et al. Aspergillus nodules: another presentation of Chronic Pulmonary Aspergillosis. *BMC Pulm Med*. 2016; 16(1): 123. <https://doi.org/10.1186/s12890-016-0276-3>.



Тактика первичной экстренной лучевой диагностики политравмы

Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А., Стекольников Н.Ю.

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России,
ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Российская Федерация

Шапкин Юрий Григорьевич, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой общей хирургии;
<http://orcid.org/0000-0003-0186-1892>

Селиверстов Павел Андреевич, к. м. н., ассистент кафедры общей хирургии;
<http://orcid.org/0000-0002-3416-0470>

Стекольников Николай Юрьевич, к. м. н., доцент кафедры общей хирургии;
<http://orcid.org/0000-0002-1407-8744>

Резюме

В обзоре рассмотрена проблема выбора оптимального тактического подхода к первичной экстренной лучевой диагностике повреждений при политравме на основе данных о показаниях к применению, преимуществах и недостатках современных методов и протоколов лучевой визуализации. Проведен поиск литературных источников в базах данных MedLine/PubMed и eLibrary, опубликованных в период с 2009 по 2019 г.

Тактика целенаправленной лучевой диагностики политравмы подразумевает выполнение последовательных исследований (ультразвуковых, рентгенографических, компьютерной томографии) областей тела, в которых по механизму травмы и клиническим данным подозреваются повреждения, что ограничивает точность диагностики и увеличивает продолжительность обследования. Первичная мультиспиральная компьютерная томография «всего тела», включающая исследование головы, шеи, груди, живота и таза, снижает долю пропущенных повреждений, сокращает продолжительность обследования и время до начала экстренных хирургических вмешательств, за счет чего может значительно снизить летальность при политравме. Ее применение оправданно у пациентов с тяжелой сочетанной травмой при условии высокого уровня организации неотложной госпитальной помощи. Использование компьютерной томографии «всего тела» значительно увеличивает дозу облучения и экономические затраты, но польза от нее с точки зрения выживаемости пациентов с политравмой может перевесить радиационный риск и экономические потери. Дальнейшее развитие технологий и протоколов мультиспиральной компьютерной томографии способно значительно уменьшить дозу облучения и длительность исследования. Необходимы четкие и обоснованные критерии отбора пациентов, у которых применение компьютерной томографии «всего тела» будет эффективной стратегией лучевой диагностики.

Ключевые слова: обзор; политравма; компьютерная томография «всего тела»; ультразвуковая диагностика; рентгенография; мультиспиральная компьютерная томография.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А., Стекольников Н.Ю. Тактика первичной экстренной лучевой диагностики политравмы. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(1): 57–65. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-57-65>

Для корреспонденции: Селиверстов Павел Андреевич, E-mail: seliwerstov.pl@yandex.ru

Статья поступила 11.03.2020

После доработки 02.06.2020

Принята к печати 03.06.2020

Tactics of Primary Emergency Radiation Diagnosis of Politrauma

Yuriy G. Shapkin, Pavel A. Seliverstov, Nikolay Yu. Stekolnikov

Razumovskiy Saratov State Medical University,
ul. Bolshaya Kazachya, 112, Saratov, 410012, Russian Federation

Yuriy G. Shapkin, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of General Surgery;
<http://orcid.org/0000-0003-0186-1892>

Pavel A. Seliverstov, Cand. Med. Sc., Assistant Professor, Chair of General Surgery;
<http://orcid.org/0000-0002-3416-0470>

Nikolay Yu. Stekolnikov, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of General Surgery;
<http://orcid.org/0000-0002-1407-8744>

Abstract

The review considers the problem of choosing the optimal tactical approach to primary emergency radiation diagnosis of injuries during polytrauma based on data on indications for use, advantages and disadvantages of modern methods and protocols of radiation imaging. Literary sources were searched in the MedLine/ PubMed and eLibrary databases published from 2009 to 2019.

The tactics of selective radiation diagnosis of polytrauma involves performing sequential studies (sonography, X-ray, computed tomography) of body areas in which damage is suspected by the mechanism of injury and clinical data, which limits the accuracy of the diagnosis and increases the duration of the examination. Primary multi-helical "whole-body" computed tomography including head, neck, chest, abdomen and pelvis examination, reduces the percentage of missed injuries, the duration of the examination and the time before emergency surgery, which can significantly reduce mortality in polytrauma. Its use is justified in patients with severe combined trauma if a high level of emergency hospital care organization is provided. Using "whole-body" computed tomography significantly increases the dose and economic costs, but the benefits of it for the survival of patients with polytrauma can outweigh the radiation risk and economic losses. Further development of technologies and protocols for multispiral computed tomography can significantly reduce the dose of radiation and the duration of the study. Clear and well-founded criteria for the selection of patients are needed for whom the use of "whole-body" computed tomography will be an effective strategy for radiation diagnosis.

Keywords: review; polytrauma; "whole-body" computed tomography; sonography; X-ray; multislice computed tomography.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Shapkin YuG, Seliverstov PA, Stekolnikov NYu. Tactics of primary emergency radiation diagnosis of polytrauma. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(1): 57–65 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-57-65>

For corresponding: Pavel A. Seliverstov, E-mail: seliwerstov.pl@yandex.ru

Received March 11, 2020

Revised June 2, 2020

Accepted June 3, 2020

Введение

Летальность при политравме, под которой понимается тяжелая сочетанная травма с оценкой повреждений по шкале ISS (Injury Severity Scale) 16 баллов и более, остается высокой и составляет 15–28% даже в ведущих клиниках [1–3]. Исход политравмы напрямую зависит от максимально быстрой и точной экстренной диагностики повреждений. Лучевые методы диагностики являются приоритетными при политравме, но тактика их применения составляет предмет дискуссий.

В настоящее время существуют два основных тактических подхода к первичной лучевой диагностике политравмы. Традиционная тактика построена на выполнении рентгенологических и ультразвуковых исследований областей тела, в которых подозреваются наличие повреждений. С развитием технологий мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) стала возможна альтернативная программа, включающая компьютерную томографию «всего тела» ("whole-body" computed tomography, WBCT). В последние годы роль и клиническое значение этих подходов при тяжелой

травме существенно пересмотрены и продолжают уточняться. Это находит отражение в клинических рекомендациях, основанных на принципах доказательной медицины и изложенных в таких руководствах, как Advanced Trauma Life Support® (ATLS) (2018 г.) [4], руководствах Немецкого общества травматологов (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, DGU) S3 (2017 г.) [3] и Национального института здоровья и клинического совершенствования Великобритании (National Institute for Health and Care Excellence, NICE) NG39 (2016 г.) [5].

Тактика целенаправленной лучевой диагностики

Тактика целенаправленной лучевой диагностики повреждений при политравме по принципам ATLS подразумевает последовательное выполнение исследований конкретных областей тела параллельно с осуществлением лечебных мероприятий. Основной задачей диагностики на первом этапе является быстрое выявление таких жизнеопасных состояний, как внутреннее кровотечение,

тампонада сердца, пневмоторакс, сдавление головного мозга. Окончательная диагностика повреждений, не угрожающих жизни, выполняется вторым этапом, по завершении манипуляций и операций реанимационной направленности. У пострадавших с нестабильной гемодинамикой, когда систолическое артериальное давление (САД) не может быть выше 90–100 мм рт. ст., рекомендуется выполнить экстренное обследование груди, живота и таза с целью выявления источников внутреннего кровотечения. Для этого в качестве методов первичной лучевой диагностики используется рентгенография органов грудной клетки и таза в передне-задней проекции, а также ультразвуковое исследование по протоколу, разработанному для травмы (Focused Assessment with Sonography for Trauma, FAST). У пациентов со стабильной гемодинамикой проводится рентгенография и/или КТ тех областей, в которых подозреваются повреждения [3–5]. Методом выбора является МСКТ, отличающаяся наибольшей точностью (97–99%) и быстротой сканирования. Выполнять первичную КТ у нестабильных пациентов протокол ATLS запрещает из-за опасности задержки экстренных оперативных вмешательств, хотя эта рекомендация все больше ставится под сомнение в связи с совершенствованием МСКТ. Так, по данным С.А. Ordoñez et al. (2016 г.), первичная МСКТ у гемодинамически нестабильных больных с политравмой не влияла на летальность, в 54% случаев позволила избежать операций, а у 46% пациентов была полезна для выбора метода хирургического лечения [6].

FAST нацелен на выявление жидкости в полости перикарда (гемоперикарда) и в местах наиболее вероятного ее скопления в брюшной полости (гемоперитонеума). Исследование проводится в перикардиальной области и в трех областях живота: правом верхнем квадранте (гепаторенальный карман Моррисона), левом верхнем квадранте (периспленальное пространство), надлонной области (Дугласов карман). Расширенный FAST (extended FAST, eFAST) дополнительно включает исследование плевральных полостей в 6–9-м межреберных промежутках по передним подмышечным линиям для выявления гемоторакса и 2–3-м межреберных промежутках по среднеключичным линиям для выявления пневмоторакса. FAST/eFAST выполняется в течение 1–2 мин, определяет признаки гемоперикарда с чувствительностью 90–95% [4] и превосходит рентгенографию в точности диагностики пневмоторакса и гемоторакса [5]. В связи с этим ультразвуковое исследование предлагается использовать в качестве первичного метода диагностики повреждений груди у нестабильных пациентов [7, 8]. Специфичность FAST/eFAST в выявлении пневмоторакса, гемоторакса и свободной

внутрибрюшной жидкости достигает 96–98,6%, но чувствительность метода невысока и составляет 37–84,5% [5, 7]. То есть FAST/eFAST позволяет быстро обнаружить клинически значимый пневмоторакс и гемоторакс, а также наличие жидкости в брюшной полости, но отрицательный результат исследования не является достаточным, чтобы их исключить. Точность FAST/eFAST снижается при наличии ожирения, подкожной эмфиземы, сгустков крови и спаек в полостях, пневмомедиастинума, пневмоперитонеума, пневматоза кишечника, асцита. Чувствительность FAST к выявлению свободной внутрибрюшной жидкости значительно уменьшается с увеличением тяжести травмы и составляет 86,4% при травме с тяжестью по шкале ISS менее 14 баллов и 65% при травме с оценкой по шкале ISS более 25 баллов [9].

Чувствительность рентгенографии органов грудной клетки к обнаружению клинически важных повреждений значимо уступает КТ (54–61%) [8]. По данным N. Moussavi et al. (2018 г.), КТ груди в 24,3% случаев высокоэнергетической травмы выявила повреждения, не диагностированные при рентгенографии и не заподозренные клинически. Две трети этих повреждений потребовали дренирования плевральной полости, что сократило длительность стационарного лечения, но не повлияло на исход [10]. В национальном исследовании использования экстренной рентгенографии (National Emergency X-Radiography Use Study, NEXUS) Калифорнийского университета предложены правила для определения показаний к рентгенографии органов грудной клетки и КТ груди при закрытой травме. Наличие двух и более критериев разработанных правил свидетельствует о высокой (95–99%) вероятности выявления клинически значимых повреждений. Правило для рентгенографии органов грудной клетки включает следующие критерии: возраст старше 60 лет, высокоэнергетический механизм травмы (падение с высоты более 3 м или автоавария на скорости более 50 км/ч), опьянение, угнетение сознания, жалобы пациента на боль в груди, болезненность при пальпации груди, наличие повреждений в других областях тела. Правило, нацеленное на выявление тяжелых повреждений груди при КТ, включает следующие критерии: признаки повреждений груди при рентгенографии, наличие сочетанных повреждений, болезненность при пальпации в области груди и грудного отдела позвоночника. Добавление к этому правилу критерия механизма травмы позволяет определить показания к КТ для диагностики как серьезных, так и незначительных повреждений груди [11].

МСКТ живота с контрастированием рекомендуется выполнять всем пациентам с симптомами травмы живота или когда клиническое

исследование живота затруднено [3–5]. К прогностическим факторам выявления повреждений при КТ живота и таза относят: падение с высоты 3 м и более, жалобы на боль в животе, болезненность при пальпации в области реберного края груди, живота или таза, наличие перитонеальных симптомов, обнаружение повреждений при рентгенографии органов грудной клетки или таза, положительный результат FAST [12], САД ниже 90 мм рт. ст., гематокрит менее 30%, гематурия более 25 эритроцитов в поле зрения, оценка по шкале Glasgow Coma Scale (GCS) менее 14 баллов, перелом бедренной кости [13]. У пациентов с нестабильной гемодинамикой, у которых выявлена свободная жидкость в брюшной полости при FAST/eFAST, рекомендуется проведение неотложной лапаротомии [3]. Но при политравме наличие признаков гемоперитонеума в сочетании с нестабильной гемодинамикой не всегда свидетельствует о продолжающемся внутрибрюшном кровотечении и гипотензия может быть связана с шоком и кровотечением из других источников. По данным M.R. Cook et al. (2015 г.), выполнение КТ живота и таза у больных с САД 90 мм рт. ст. и ниже, у которых была обнаружена внутрибрюшная жидкость при FAST, привело к уменьшению частоты экстренных лапаротомий с 93% до 22% и увеличению частоты ангиографических эмболизаций с 2% до 22% [14].

Первичная рентгенография таза актуальна для пациентов с нестабильной гемодинамикой с целью исключения переломов тазовых костей, которые могут быть основным источником кровотечения. Ее рутинное выполнение у стабильных больных с отсутствием клинических признаков повреждений таза признано неоправданным [3, 4, 7]. МСКТ таза с контрастированием значимо превосходит по точности рентгенографию [8], позволяет выявить признаки внутритазового кровотечения и определить показания к ангиографической эмболизации [4]. По данным J.S. Juern et al. (2017 г.), МСКТ обнаружила контрастную экстравазацию у 15% пострадавших с закрытой травмой таза, из них 40% прошли ангиографию и 23% – ангиоэмболизацию [15].

МСКТ является основным методом первичной диагностики повреждений головы и рекомендуется всем больным с оценкой по шкале GCS 12 баллов и менее [4]. Показания к КТ головы у травмированных с оценкой по шкале GCS 13–15 баллов предлагается определять с помощью различных правил (Канадское правило, критерии Нового Орлеана, правило NICE и др.). Наиболее значимыми факторами риска выявления повреждений головного мозга при КТ определены следующие: потеря сознания более чем на 5 мин, оценка по шкале GCS менее 15 баллов через 2 ч после травмы, любой клинический признак перелома основания

череп, рвота более 2 раз, возраст старше 65 лет, очаговый неврологический дефицит, использование антикоагулянтов [16]. МСКТ головы также рекомендована пациентам, у которых выявлена ретроградная амнезия на период более 30 мин, дефицит кратковременной памяти, опьянение, коагулопатия, высокоэнергетический механизм травмы (например, сбитый автомобилем пешеход, выбрасывание из автомобиля, падение с высоты более 1 м) [4]. В связи с тем что политравма обычно имеет высокоэнергетический механизм, DGU считает необходимым проводить МСКТ головы всем пострадавшим [3].

Исследование шейного отдела позвоночника при политравме может быть отложено до стабилизации пациента, поскольку иммобилизация шейным воротником не препятствует проведению реанимационных мероприятий и хирургических вмешательств на других областях тела. Показания к рентгенографии шейного отдела позвоночника рекомендуется определять на основе Канадского правила и правила NEXUS для позвоночника [4], которые включают следующие критерии: жалобы на боль в шее или болезненность в области шейного отдела позвоночника при пальпации и осевой нагрузке, алкогольное опьянение, оценка по шкале GCS 14 баллов и менее, любая очаговая неврологическая симптоматика, высокоэнергетический механизм травмы (автоавария на скорости более 100 км/ч, опрокидывание автомобиля, выбрасывание пострадавшего из автомобиля, столкновение транспортных средств, падение с высоты более 1 м), любое тяжелое отвлекающее повреждение [4, 17]. Показания к рентгенографии грудного и поясничного отделов позвоночника по существу такие же, как и для шейного отдела. МСКТ позвоночника значимо превосходит по точности рентгенографию [8], вследствие чего ее рекомендуется по возможности выполнять как первичное исследование по тем же показаниям [4]. При политравме ввиду высокого риска повреждений позвоночника целесообразно исследовать все его отделы [3]. В исследовании M. Takami et al. (2014 г.) КТ всего позвоночника у пациентов с высокоэнергетической травмой выявила 37,5% переломов шейных позвонков и 14% переломов грудных и поясничных позвонков, не заподозренных при клиническом обследовании или не диагностированных при рентгенографии [18].

Магнитно-резонансная томография головы и позвоночника не относится к первичным неотложным методам диагностики при политравме и рекомендуется только у пациентов с неврологической симптоматикой и отсутствием патологии при МСКТ [3, 4].

Лучевая диагностика повреждений конечностей выполняется после выявления всех угрожающих

жизни повреждений. Выбор области и метода исследования определяется данными клинического обследования и локализацией повреждения [3, 4].

Таким образом, тактика целенаправленной лучевой диагностики повреждений при политравме подразумевает этапное выполнение доступных и недорогих ультразвуковых и рентгенографических исследований, которые дают низкую дозу облучения и могут быстро выполняться в реанимационном зале, не задерживая проведение неотложных вмешательств. Однако точность данных методов диагностики по сравнению с КТ низкая. Показания к КТ и выбор области исследования основываются на механизме травмы и данных клинического обследования. Между тем информация о механизме травмы субъективна и имеет малую чувствительность в качестве маркера повреждений. Клиническое обследование пациентов с политравмой затруднено, особенно при угнетении сознания и наличии нескольких отвлекающих тяжелых повреждений. У таких пострадавших существует высокий риск просто не включить в исследование область тела, в которой имеются клинически скрытые повреждения.

Компьютерная томография «всего тела»

В настоящее время 2/3 травмацентров первого уровня Германии и Швейцарии регулярно используют у пациентов с политравмой WBCT как метод первичной визуализации либо выполняют ее после FAST [3, 19]. Доля больных с политравмой, перенесших WBCT, увеличилась до 60% в Японии [20] и до 84% в Великобритании и Германии [5, 21]. DGU и NICE настоятельно рекомендуют использовать при политравме WBCT в качестве первичного метода лучевой диагностики [3, 5]. Метод находит все большее признание и распространение и в России [8].

Унифицированных протоколов WBCT для политравмы нет. Исследование обычно включает МСКТ головы и шеи без контрастирования, а также груди, живота и таза с контрастированием. Обсуждается включение в протоколы WBCT КТ-ангиографии головы и шеи для выявления относительно редко встречающихся при политравме (6,5% случаев), но опасных повреждений сонных и позвоночных артерий [22]. NICE рекомендует провести перед выполнением WBCT линейное рентгеновское сканирование от головы до стоп для диагностики повреждений конечностей [5]. Время сканирования при разных протоколах WBCT составляет 2,8–10 мин [23].

WBCT при политравме имеет высокую чувствительность (95–98%) и низкий уровень пропущенных повреждений (6,3%) [24]. По данным L. Shannon et al. (2015 г.), в 4% случаев политравмы WBCT позволила обнаружить повреждения,

которые не были клинически заподозрены и маскировались травмами других областей тела. Две трети этих повреждений были серьезными (ушибы головного мозга и легких, пневмоторакс, повреждения шейного отдела позвоночника) [25]. Использование WBCT у пациентов с политравмой привело к увеличению частоты выявления повреждений головы, груди и позвоночника с тяжестью по шкале AIS (Abbreviated Injury Scale) 2 балла и более на 12–18% в каждой из этих областей и снижению частоты неотложных операций на 14% [21].

Многочисленные исследования показали, что применение при политравме первичной WBCT вместо тактики этапной лучевой визуализации по принципам ATLS значительно уменьшает время обследования [2, 26] и продолжительность пребывания пациентов в отделении неотложной помощи (на 30–60 мин) [20, 27–29]. Благодаря сокращению времени от поступления до выполнения экстренных вмешательств достигнуто снижение общей летальности в 1,5–2 раза и летальности от кровопотери на 66,7% [1, 2]. Несколько метаанализов подтверждают, что общая и суточная летальность была значительно ниже среди тяжело травмированных, у которых выполнялась первичная WBCT, а не целенаправленные последовательные рентгенологические и ультразвуковые исследования отдельных областей тела [27, 29, 30]. В других исследованиях значимой разницы в летальности между группами выявлено не было [21, 28, 31, 32]. Тем не менее применение первичной WBCT ассоциировалось со снижением 30-дневной летальности после коррекции групп по показателям шкал GCS и ISS [32]. Первичная WBCT была полезна именно для наиболее тяжело травмированных пациентов с нарушением дыхания, кровообращения и угнетением сознания [20] и определена независимым предиктором выживаемости пострадавших с шоком средней и тяжелой степени (САД ниже 90 мм рт. ст.) [33]. Выполнение WBCT до экстренной операции или ангиоэмболизации по поводу внутреннего кровотечения оказало положительное влияние на исход только в группе больных с вероятностью выживания по шкале TRISS (Trauma and Injury Severity Score) менее 50% [34].

Первичная WBCT у тяжело травмированных с нестабильной гемодинамикой представляется безопасным и эффективным методом диагностики при условии высокого уровня организации работы экстренных служб и наличии соответствующей госпитальной инфраструктуры [3, 33]. Кабинет КТ рекомендуется расположить в реанимационном зале или максимально близко к нему и оснастить средствами мониторинга и жизнеобеспечения [3, 5]. Наиболее оптимальным вариантом является выполнение WBCT, хирургических операций и интервенционных радиологических вмешательств

в одном реанимационном зале [1]. Установлено, что увеличение расстояния от компьютерного томографа до отделения неотложной помощи более чем на 50 м оказывает значимое негативное влияние на выживание пациентов с политравмой [35].

Показания к WBCT у взрослых больных с тяжелой травмой четко не определены. Предлагаются различные критерии, основанные на выявлении высокоэнергетического механизма травмы (катастрофа, авария), нарушений параметров кровообращения, дыхания и сознания (САД 100 мм рт. ст. и ниже, частота сердечных сокращений 120 в минуту и более, частота дыхательных движений 30 и более или 10 и менее в минуту, оценка по шкале GCS 13 баллов и менее), шока, сопутствующей патологии, при подозрении на наличие множественных тяжелых повреждений (груди, живота, таза, позвоночника, спинного мозга, длинных костей), необходимости госпитализации в травмацентр первого уровня [2, 3, 24, 36]. С учетом данных критериев строятся алгоритмы принятия решения о необходимости выполнения WBCT (табл. 1 и 2) [37, 38].

Доза облучения при применении WBCT в зависимости от протокола исследования составляет 17,2–49,7 мЗв [22, 37, 39] и значимо (в 1,5–2 раза) выше, чем при выполнении целенаправленных рентгенологических исследований отдельных областей тела [25]. Позиционирование рук пациента над головой снижает дозу облучения при

WBCT в 1,8 раза, но увеличивает длительность сканирования на 3–7 мин, поэтому рекомендуется для пациентов со стабильной гемодинамикой. Исследование в положении рук вдоль тела занимает наименьшее время, но дает наибольшую дозу облучения, поэтому рекомендуется у больных с нестабильной гемодинамикой [22]. Итеративная реконструкция изображений уменьшала дозу облучения на 10–34% [39] без значимого снижения качества изображения. Доза облучения при выполнении однофазной WBCT с двойным болюсным введением контраста на 43,5% меньше, чем при двухфазном сканировании [40].

Заключение

Первичная лучевая диагностика повреждений при политравме должна быть максимально быстрой, точной и безопасной для пациента. Приоритетными являются методы исследования, которые позволяют получить окончательный результат и не задерживают выполнение неотложных лечебных мероприятий.

Тактика целенаправленной лучевой диагностики политравмы подразумевает проведение последовательных исследований (ультразвуковых, рентгенографических, КТ) областей тела, в которых по механизму травмы и клиническим данным подозреваются повреждения, что ограничивает точность диагностики и увеличивает продолжительность обследования.

Таблица 1

Алгоритм определения показаний к компьютерной томографии «всего тела» у травмированных

Table 1

Algorithm for determining the indications for the “whole body” computed tomography in injured patients

Критерий / Criteria	Баллы / Score
Повреждения в двух и более областях / Damage in two or more areas	+2
Нестабильность гемодинамики* / Hemodynamic instability*	+2
Дыхательная недостаточность** / Respiratory failure**	+3
Оценка по Glasgow Coma Scale < 14 баллов / Glasgow Coma Scale score < 14	+3
Падение с высоты > 5 м / Falling from a height > 5 m	+3
Пассажир автотранспортного средства / Passenger of a motor vehicle	+1
Велосипедист или пешеход / Cyclist or pedestrian	+3

* Систолическое артериальное давление < 100 мм рт. ст. или частота сердечных сокращений выше 100 в минуту.

** Частота дыхательных движений > 24 в минуту или pO_2 крови < 93%.

Примечание. При сумме баллов более 3 рекомендуется проводить компьютерную томографию «всего тела», при сумме баллов 3 и менее – компьютерную томографию областей тела, в которых подозреваются повреждения. Компьютерная томография «всего тела» показана всем пациентам без сознания или с признаками повреждения спинного мозга [37].

* Systolic blood pressure < 100 mm Hg or heart rate above 100 per minute.

** Respiratory rate > 24 per minute or blood pO_2 < 93%.

Note. If the total score is more than 3, it is recommended to perform the WBCT, if the total score is 3 or less – computed tomography of the body areas where damage is suspected. WBCT is indicated for all patients who are unconscious or have signs of spinal cord injury [37].

Алгоритм оценки потенциальной выгоды от компьютерной томографии «всего тела» для выживания травмированных

Table 2

Algorithm for assessing the potential benefits of the “whole body” computed tomography (WBCT) for the survival of the injured

Критерий / Criteria	Баллы / Score
Интубация на месте происшествия / Intubation at the scene of the accident	+8
Подозрение на наличие повреждений в трех и более областях / Suspicion of damage in three or more areas	+8
Высокоэнергетический механизм травмы (автоавария, падение с высоты ≥ 3 м) / High-energy mechanism of injury (car accident, falling from a height ≥ 3 m)	+7
Доставка авиационным транспортом / Delivery by air transport	+5
Оценка по Glasgow Coma Scale ≤ 14 баллов / Glasgow Coma Scale score ≤ 14	+3
Подозрение на наличие повреждений в двух областях / Suspicion of damage in two areas	+3
Шок / Shock	+2
Мужской пол / Male gender	+2
Проникающее ранение / Penetrating wound	-7
Падение с высоты < 3 м / Falling from a height < 3 m	-7
Возраст < 70 лет / Age < 70 years	-1
Подозрение на наличие повреждений в одной области / Suspicion of damage in one area	-1

Примечание. Польза от WBCT при сумме баллов ≤ 0 отсутствует, 0–3 балла – сомнительная, 4–16 баллов – достоверная, 17–35 баллов – высокая [38].

Note. There is no benefit from WBCT when the total score is less than 0, 0–3 score – dubious benefit, 4–16 score – reliable benefit, 17–35 score – high benefit [38].

Первичная WBCT стала важной и неотъемлемой частью неотложной диагностики при политравме. Она позволяет снизить долю пропущенных повреждений, сократить продолжительность обследования и время до начала экстренных хирургических вмешательств, за счет чего способна существенно снизить летальность при политравме. Ее использование оправданно и эффективно у больных с нарушениями дыхания, кровообращения и сознания при условии высокого уровня организации неотложной госпитальной помощи.

Применение WBCT значительно увеличивает дозу облучения и экономические затраты, но польза от нее для выживаемости пациентов с политравмой может перевесить радиационный риск и экономические потери. С дальнейшим развитием технологий и протоколов WBCT доза облучения и длительность исследования могут существенно сократиться.

Необходимы четкие и обоснованные критерии отбора пациентов, у которых использование метода WBCT будет эффективной стратегией лучевой диагностики.

Литература [References]

- Kinoshita T, Yamakawa K, Matsuda H, et al. The survival benefit of a novel trauma workflow that includes immediate whole-body computed tomography, surgery, and interventional radiology, all in one trauma resuscitation room: a retrospective historical control study. *Ann Surg.* 2019; 269(2): 370–6. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002527>.
- Treskes K, Saltzherr TP, Edwards MJ, et al. Emergency bleeding control interventions after immediate total-body ct scans in trauma patients. *World J Surg.* 2019; 43(2): 490–6. <https://doi.org/10.1007/s00268-018-4818-0>.
- S3 – Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung. AWMF Register-Nr. 012/019. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie; 2016. Available at: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019L_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2017-08.pdf (accessed February 5, 2021).
- American College of Surgeons. Advanced trauma life support. 10th edition. Chicago: American College of Surgeons, Committee on Trauma; 2018. Available at: <https://viaaerearcp.files.wordpress.com/2018/02/atls-2018.pdf> (accessed February 5, 2021).
- National Clinical Guideline Centre. Major trauma: assessment and initial management. Guideline NG39. NICE; 2016. Available at: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng39/evidence/full-guideline-2308122833> (accessed February 5, 2021).

6. Ordoñez CA, Herrera-Escobar JP, Parra MW, et al. Computed tomography in hemodynamically unstable severely injured blunt and penetrating trauma patients. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016; 80(4): 597–603. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000975>.
7. Zieleskiewicz L, Fresco R, Duclos G, et al. Integrating extended focused assessment with sonography for trauma (eFAST) in the initial assessment of severe trauma: impact on the management of 756 patients. *Injury.* 2018; 49(10): 1774–80. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.07.002>.
8. Доровских Г.Н. Сравнительный анализ чувствительности и специфичности различных методов лучевой диагностики при политравме. *Бюллетень ВЧЦ СО РАМН.* 2014; 4(98): 24–8.
[Dorovskikh GN. Comparative analysis of sensitivity and specificity of various methods of X-ray diagnostics at polytrauma. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2014; 4(98): 24–8 (in Russ.).]
9. Becker A, Lin G, McKenney MG, et al. Is the FAST exam reliable in severely injured patients? *Injury.* 2010; 41(5): 479–83. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2009.10.054>.
10. Moussavi N, Ghani H, Davoodabadi A, et al. Routine versus selective chest and abdominopelvic CT-scan in conscious blunt trauma patients: a randomized controlled study. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2018; 44(1): 9–14. <https://doi.org/10.1007/s00068-017-0842-2>.
11. Rodriguez RM, Hendey GW, Mower WR. Selective chest imaging for blunt trauma patients: the national emergency X-ray utilization studies (NEXUS-chest algorithm). *Am J Emerg Med.* 2017; 35(1): 164–70. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.10.066>.
12. Lee JY, Cho DH, Lee JG, et al. A nomogram predicting the need for abdominal and pelvic computed tomography in blunt trauma patients: a retrospective cohort study. *Int J Surg.* 2017; 47: 127–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2017.09.063>.
13. Corwin MT, Sheen L, Kuramoto A, et al. Utilization of a clinical prediction rule for abdominal-pelvic CT scans in patients with blunt abdominal trauma. *Emerg Radiol.* 2014; 21(6): 571–6. <https://doi.org/10.1007/s10140-014-1233-1>.
14. Cook R, Holcomb JB, Rahbar MH, et al. An abdominal computed tomography may be safe in selected hypotensive trauma patients with positive focused assessment with sonography in trauma examination. *Am J Surg.* 2015; 209(5): 834–40. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2015.01.005>.
15. Juern JS, Milia D, Codner P, et al. Clinical significance of computed tomography contrast extravasation in blunt trauma patients with a pelvic fracture. *J Trauma Acute Care Surg.* 2017; 82(1): 138–40. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001305>.
16. Sadegh R, Karimialavijeh E, Shirani F, et al. Head CT scan in Iranian minor head injury patients: evaluating current decision rules. *Emerg Radiol.* 2016; 23(1): 9–16. <https://doi.org/10.1007/s10140-015-1349-y>.
17. Inagaki T, Kimura A, Makishi G, et al. Development of a new clinical decision rule for cervical CT to detect cervical spine injury in patients with head or neck trauma. *Emerg Med J.* 2018; 35(10): 614–8. <https://doi.org/10.1136/emermed-2017-206930>.
18. Takami M, Nohda K, Sakanaka J, et al. Usefulness of full spine computed tomography in cases of high-energy trauma: a prospective study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014; 24(Suppl 1): S167–71. <https://doi.org/10.1007/s00590-013-1268-0>.
19. Hinzpeter R, Boehm T, Boll D, et al. Imaging algorithms and CT protocols in trauma patients: survey of Swiss emergency centers. *Eur Radiol.* 2017; 27(5): 1922–8. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4574-1>.
20. Tsutsumi Y, Fukuma S, Tsuchiya A, et al. Whole-body computed tomography during initial management and mortality among adult severe blunt trauma patients: a nationwide cohort study. *World J Surg.* 2018; 42(12): 3939–46. <https://doi.org/10.1007/s00268-018-4732-5>.
21. Palm HG, Kulla M, Wettberg M, et al. Changes in trauma management following the implementation of the whole-body computed tomography: a retrospective multi-centre study based on the trauma registry of the German Trauma Society (TraumaRegister DGU®). *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2018; 44(5): 759–66. <https://doi.org/10.1007/s00068-017-0870-y>.
22. Schicho A, Luerken L, Meier R, et al. Incidence of traumatic carotid and vertebral artery dissections: results of cervical vessel computed tomography angiogram as a mandatory scan component in severely injured patients. *Ther Clin Risk Manag.* 2018; 14: 173–8. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S148176>.
23. Reske SU, Braunschweig R, Reske AW, et al. Whole-body CT in multiple trauma patients: clinically adapted usage of differently weighted CT protocols. *Rofo.* 2018; 190(12): 1141–51. <https://doi.org/10.1055/a-0643-4553>.
24. Stengel D, Ottersbach C, Matthes G, et al. Accuracy of single-pass whole-body computed tomography for detection of injuries in patients with major blunt trauma. *CMAJ.* 2012; 184(8): 869–76. <https://doi.org/10.1503/cmaj.111420>.
25. Shannon L, Peachey T, Skipper N, et al. Comparison of clinically suspected injuries with injuries detected at whole-body CT in suspected multi-trauma victims. *Clin Radiol.* 2015; 70(11): 1205–11. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2015.06.084>.
26. Gordic S, Alkadhi H, Hodel S, et al. Whole-body CT-based imaging algorithm for multiple trauma patients: radiation dose and time to diagnosis. *Br J Radiol.* 2015; 88(1047): 20140616. <https://doi.org/10.1259/bjr.20140616>.
27. Chidambaram S, Goh EL, Khan MA. A meta-analysis of the efficacy of whole-body computed tomography imaging in the management of trauma and injury. *Injury.* 2017; 48(8): 1784–93. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.06.003>.
28. Healy DA, Hegarty A, Feeley I, et al. Systematic review and meta-analysis of routine total body CT compared with selective CT in trauma patients. *Emerg Med J.* 2014; 31(2): 101–8. <https://doi.org/10.1136/emermed-2012-201892>.
29. Jiang L, Ma Y, Jiang S, et al. Comparison of whole-body computed tomography vs selective radiological imaging on outcomes in major trauma patients: a meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2014; 22: 54. <https://doi.org/10.1186/s13049-014-0054-2>.
30. Caputo ND, Stahmer C, Lim G, Shah K. Whole-body computed tomographic scanning leads to better survival as opposed to selective scanning in trauma patients: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg.* 2014; 77(4): 534–9. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000414>.

31. Lang P, Kulla M, Kerwagen F, et al. The role of whole-body computed tomography in the diagnosis of thoracic injuries in severely injured patients – a retrospective multi-centre study based on the trauma registry of the German trauma society (Trauma Register DGU®). *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2017; 25(1): 82.
<https://doi.org/10.1186/s13049-017-0427-4>.
32. Sierink JC, Saltzherr TP, Beenen LF, et al. A case-matched series of immediate total-body CT scanning versus the standard radiological work-up in trauma patients. *World J Surg*. 2014; 38(4): 795–802.
<https://doi.org/10.1007/s00268-013-2310-4>.
33. Huber-Wagner S, Biberthaler P, Häberle S, et al. Whole-body CT in haemodynamically unstable severely injured patients – a retrospective, multicentre study. *PLoS One*. 2013; 8(7): e68880.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068880>.
34. Wada D, Nakamori Y, Yamakawa K, et al. Impact on survival of whole-body computed tomography before emergency bleeding control in patients with severe blunt trauma. *Crit Care*. 2013; 17(4): R178.
<https://doi.org/10.1186/cc12861>.
35. Huber-Wagner S, Mand C, Ruchholtz S, et al. Effect of the localisation of the CT scanner during trauma resuscitation on survival – a retrospective, multicentre study. *Injury*. 2014; 45(Suppl 3): S76–82.
<https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.08.022>.
36. Sammy IA, Chatha H, Bouamra O, et al. The use of whole-body computed tomography in major trauma: variations in practice in UK trauma hospitals. *Emerg Med J*. 2017; 34(10): 647–52.
<https://doi.org/10.1136/emermed-2016-206167>.
37. Davies RM, Scrimshire AB, Sweetman L, et al. A decision tool for whole-body CT in major trauma that safely reduces unnecessary scanning and associated radiation risks: an initial exploratory analysis. *Injury*. 2016; 47(1): 43–9.
<https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.08.036>.
38. Huber-Wagner S, Croenlein M, Huber S, et al. Whole-body CT Score – Kriterien zur Durchführung einer Ganzkörper-Computertomographie bei potentiell schwerverletzten Patienten. *Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2015)*. Berlin, 20–23.10.2015. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2015. DocWI30-1009.
<https://doi.org/10.3205/15dkou173>.
39. Geyer LL, Körner M, Harrieder A, et al. Dose reduction in 64-row whole-body CT in multiple trauma: an optimized CT protocol with iterative image reconstruction on a gemstone-based scintillator. *Br J Radiol*. 2016; 89(1061): 20160003.
<https://doi.org/10.1259/bjr.20160003>.
40. Leung V, Sastry A, Woo TD, Jones HR. Implementation of a split-bolus single-pass CT protocol at a UK major trauma centre to reduce excess radiation dose in trauma pan-CT. *Clin Radiol*. 2015; 70(10): 1110–5.
<https://doi.org/10.1016/j.crad.2015.05.014>.



Радиационно-индуцированная эректильная дисфункция у больных раком предстательной железы: современный взгляд на патогенез

Новиков Р.В.^{1, 2}, Новиков С.Н.¹, Протошак В.В.³, Джалилов И.Б.², Литинский С.С.¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, ул. Ленинградская, 68, пос. Песочный, Санкт-Петербург, 197758, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны России, ул. Академика Лебедева, 6, Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация

Новиков Роман Владимирович, к. м. н., ст. науч. сотр. научного отделения радиационной онкологии и ядерной медицины ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России; радиационный онколог онкологического отделения клиники высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»;
<http://orcid.org/0000-0003-1873-1293>

Новиков Сергей Николаевич, д. м. н., заведующий отделением радиотерапии, заведующий научным отделением радиационной онкологии и ядерной медицины ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-7185-1967>

Протошак Владимир Владимирович, д. м. н., профессор, начальник кафедры урологии ФГБОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны России

Джалилов Имран Биерутович, заведующий онкологическим отделением клиники высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Литинский Сергей Сергеевич, врач-рентгенолог отделения радиотерапии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России

Резюме

Истинные причины развития половых нарушений после лучевого лечения рака предстательной железы, среди которых центральную роль занимает эректильная дисфункция, до сих пор окончательно не выяснены. Число пациентов, которым в качестве радикальной терапии выполняются различные варианты лучевого воздействия, неуклонно растет, что делает рассматриваемый вопрос весьма актуальным. В обзоре представлены современные данные по наиболее изученным вероятным механизмам снижения статуса эректильной функции после лучевой терапии рака простаты.

Ключевые слова: рак предстательной железы; лучевая терапия; эректильная дисфункция; обзор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Новиков Р.В., Новиков С.Н., Протошак В.В., Джалилов И.Б., Литинский С.С. Радиационно-индуцированная эректильная дисфункция у больных раком предстательной железы: современный взгляд на патогенез. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(1): 66–74. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-66-74>

Для корреспонденции: Новиков Роман Владимирович, E-mail: novikov-spb@mail.ru

Статья поступила 29.05.2020

После доработки 10.06.2020

Принята к печати 11.06.2020

Radiation-Induced Erectile Dysfunction in Prostate Cancer Patients: Up-to-Date View on Pathogenesis

Roman V. Novikov^{1, 2}, Sergey N. Novikov¹, Vladimir V. Protoshchak³, Imran B. Dzhalilov², Sergey S. Litinskiy¹

¹ Petrov National Medical Research Center for Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation, ul. Leningradskaya, 68, poselok Pesochnyy, Saint-Petersburg, 197758, Russian Federation

² Saint-Petersburg State University, Universitetskaya naberezhnaya, 7/9, Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation

³ Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of the Russian Federation, ul. Akademika Lebedeva, 6, Saint Petersburg, 194044, Russian Federation

Roman V. Novikov, Cand. Med. Sc., Senior Researcher, Scientific Department of Radiation Oncology and Nuclear Medicine, Petrov National Medical Research Center for Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation; Radiation Oncologist, Oncology Department, Pirogov High-Tech Medical Clinic, Saint-Petersburg State University; <http://orcid.org/0000-0003-1873-1293>

Sergey N. Novikov, Dr. Med. Sc., Head of Radiotherapy Department, Head of Scientific Department of Radiation Oncology and Nuclear Medicine, Petrov National Medical Research Center for Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation; <http://orcid.org/0000-0002-7185-1967>

Vladimir V. Protoshchak, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Urology, Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of the Russian Federation

Imran B. Dzhililov, Head of Oncology Department, Pirogov High-Tech Medical Clinic, Saint-Petersburg State University

Sergey S. Litinskiy, Radiologist, Radiotherapy Department, Petrov National Medical Research Center for Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation

Abstract

The true causes of sexual disorders after radiation treatment of prostate cancer, among which the central role is occupied by erectile dysfunction, are still not fully clarified. The number of patients who undergo various radiation-exposure options as a radical therapy is steadily increasing, which makes the issue very relevant. This literature review provides up-to-date data on the most studied probable mechanisms of the erectile function status decline after radiation therapy for prostate cancer.

Keywords: prostate cancer; radiotherapy; erectile dysfunction; review.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Novikov RV, Novikov SN, Protoshchak VV, Dzhililov IB, Litinskiy SS. Radiation-induced erectile dysfunction in prostate cancer patients: up-to-date view on pathogenesis. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(1): 66–74 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-1-66-74>

For corresponding: Roman V. Novikov, E-mail: novikov-spb@mail.ru

Received May 29, 2020

Revised June 10, 2020

Accepted June 11, 2020

Введение

Радиационно-индуцированная эректильная дисфункция (РИЭД) является одним из наиболее частых осложнений лучевого лечения рака предстательной железы (РПЖ). Развиваясь в период от 3 до 5 лет после лучевой терапии (ЛТ) приблизительно в 50% случаев, она существенно снижает качество жизни пациентов. Сохранность эректильной функции (ЭФ) на приемлемом уровне рассматривается как неотъемлемая часть комплексной оценки результатов радикального лечения РПЖ.

В радиационной онкологии применяется концепция Quadrella, разработанная на основе изучения исходов лечения больных РПЖ при помощи брахитерапии (БТ) источниками низкой мощности дозы и включающая в себя, помимо прочих, показатель удовлетворенности половой жизнью [1]. По своей сути этот подход очень похож на такие понятия, как Trifecta и Pentafecta, широко используемые при оценке результатов радикальной простатэктомии (РПЭ).

Проведенные радиобиологические исследования, на которых основаны современные представления о дозе и режимах ее фракционирования, необходимых для обеспечения гарантированного локального контроля над РПЖ, наряду с техническими достижениями в вопросах технологии облучения позволили существенно повысить эффективность лучевого лечения РПЖ. Очевидно, что

пришло время для разработки методик ЛТ, направленных на максимальное сохранение ЭФ у больных РПЖ, что особенно важно при достижении превосходных онкологических результатов лечения. Без понимания механизмов лучевого повреждения структур, ответственных за поддержание достаточной для полового удовлетворения ригидности полового члена, и их роли в развитии РИЭД улучшение функциональных результатов ЛТ фактически невозможно.

Эпидемиология радиационно-индуцированной эректильной дисфункции

В соответствии с определением, данным участниками 4-го Международного совещания по сексуальной медицине, эректильная дисфункция (ЭД) – это постоянная или периодическая неспособность достигать и/или поддерживать эрекцию полового члена, достаточную для сексуального удовлетворения [2]. В связи с тем что в основе развития РИЭД лежит типовой патологический процесс радиационного повреждения тканей и по своей сути она является ятрогенией, наиболее обоснованна ее классификация в соответствии с критериями Common Terminology Criteria for Adverse Events (CTCAE) (version 5.0; 2017). При таком подходе различают три степени РИЭД: 1-я – не требующая коррекции, 2-я – требующая медикаментозной или вакуум-коррекции, 3-я (самая

тяжелая) – требующая хирургической коррекции (протезирования полового члена).

Анализ результатов лучевого лечения РПЖ, опубликованный в 2017 г. и включивший работы за предшествующие 10 лет, показал, что частота сохранения ЭФ на приемлемом уровне находилась в интервале от 22% до 70% при дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) и от 20% до 81% при БТ (монорежим или в сочетании с ДЛТ) [3]. Столь большой разброс в представленных данных, по мнению авторов, обусловлен различной трактовкой ЭД и отсутствием стандартного подхода в оценке исходного уровня ЭФ, что имеет определяющее методологическое значение. Метаанализ T.W. Gaither et al. основан на данных исследований, проведенных в период с 2000 по 2016 г. [4]. В него включены 105 публикаций с описанием исходного уровня ЭФ: 17 057 пациентам (65%) выполнялась БТ, 8166 (31%) – ДЛТ и 1046 (4%) – сочетание БТ и ДЛТ. Суммарно, независимо от вида ЛТ, признаки РИЭД через 1 год после окончания терапии отмечены у 34% (95% ДИ 0,29–0,39), через 2 года – у 39% (95% ДИ 0,33–0,44), через 3 года – у 44% (95% ДИ 0,34–0,53), через 5,5 лет наблюдения – у 57% (95% ДИ 0,53–0,61).

Возраст пациента является важным предиктором РИЭД [5]. В связи с тем что проведение БТ требует анестезиологического пособия, этот метод лечения предлагается более молодым мужчинам. По данным обзора R.C. Wortel et al., различия в медианах возраста лежат в интервале от 1 до 9 лет в пользу пациентов групп дистанционного облучения [3].

Сопутствующая патология также имеет непосредственное отношение к ЭФ, существенно снижая вероятность ее сохранения после лучевого лечения. Основную роль здесь играют такие состояния, как сахарный диабет и заболевания сердечно-сосудистой системы [6]. В исследовании Y. Wang et al. среди 732 пациентов РИЭД отмечена у 40–46% при отсутствии сопутствующей сосудистой патологии, а при ее наличии – у 71–76% [7].

Проведению ЛТ у больных РПЖ групп высокого и крайне высокого риска должна сопутствовать андрогенная депривационная терапия (АДТ). Повышая эффективность лучевого лечения за счет блокады систем репарации ДНК опухолевых клеток, АДТ в ближайшем постлучевом периоде оказывает существенное негативное влияние на ЭФ [8]. По данным C.H. Son et al., эта тенденция прослеживается на протяжении первых 2 лет после окончания лечения, а потом показатели РИЭД у пациентов с АДТ и без нее фактически не отличаются [9].

В последнее время в клиническую практику внедрены новые технологии облучения: брахитерапия с высокой мощностью дозы (БТ-ВМД), модулированная по интенсивности (Intensity-Modulated

Radiotherapy, IMRT) и объему (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) ДЛТ, стереотаксическая лучевая терапия (СТЛТ). Они продемонстрировали повышение эффективности лечения при снижении уровня лучевой токсичности со стороны органов желудочно-кишечного тракта и нижних отделов мочевыводящих путей по сравнению с конвенциональной ЛТ [10]. Однако преимущества в сохранении ЭФ не столь очевидны. Так, в исследовании T. Kushnir et al. сравнение стандартной 3D-конформной ДЛТ и IMRT (VMAT) по частоте развития РИЭД не показало значимых различий [8].

При конформной 3D-ДЛТ и IMRT в одинаковых суммарных очаговых дозах (СОД) (79,2 Гр) в работе D.W. Bruner et al. также не выявлено значимых различий: количество нарушений 1-й, 2-й и 3-й ст. составили 11,4%, 10,5%, 23,7% и 16,5%, 14,6%, 20,1% соответственно ($p = 0,19$) [11]. O. Marina et al. в группе из 384 пациентов (медиана наблюдения 2 (0,5–6,1) года) проанализировали уровни токсичности IMRT с визуальным контролем (СОД 75,6 Гр) и БТ-ВМД (СОД 38 Гр за четыре фракции) [12]. У пациентов, имевших ЭД 1-й ст. до лечения, число нарушений 2 ст. и более к исходу 3-го года после IMRT составило 47%, после БТ-ВМД – 34% ($p = 0,79$). Частота развития ЭД 3-й ст. в обеих группах – 15% ($p = 0,59$).

M. Loi et al. (2019 г.) выполнили обзор работ, посвященных оценке сохранности ЭФ после СТЛТ РПЖ [13]. В анализ был включен 1221 пациент из 12 исследований, полностью удовлетворяющих критериям включения: наличие исходного уровня ЭФ и отсутствие в анамнезе АДТ. Было показано, что к 5-му году наблюдения ЭД развивается приблизительно у 55% исходно потенциальных мужчин. Это позволило авторам сделать вывод, что при стандартной методике СТЛТ сохранность ЭФ значимо не отличается от других вариантов лучевого лечения. Отсутствие существенного влияния режима фракционирования ДЛТ на частоту РИЭД также подтверждено в недавно опубликованном рандомизированном исследовании по сравнению конвенционального (разовая очаговая доза (РОД) 1,8–2 Гр) и ультрагипофракционирования (РОД 6,1 Гр) [14].

Механизмы развития радиационно-индуцированной эректильной дисфункции

В основе нормальной эрекции лежат три механизма, нарушение любого из которых ведет к ЭД: нейронально обусловленное повышение артериального притока к половому члену, релаксация кавернозных гладкомышечных структур и рестрикция венозного оттока [15]. Существующие на данный момент представления о вероятных причинах развития РИЭД были суммированы J. Mahmood et al. [16] (см. рис.).



Вероятные механизмы развития радиационно-индуцированной эректильной дисфункции [16].

ВПА – внутренняя половая артерия; nNOS – neuronal nitric oxid synthase (нейрональная синтаза оксида азота)

Probable mechanisms of radiation-induced erectile dysfunction. (A) Vascular damage: fibrotic changes in blood vessels resulting in less blood flow in the erection chamber. (B) Neuronal damage: inflammation and neuronal nitric oxid synthase reduction in cavernous nerve. (C) Smooth muscle atrophy: the corpus cavernosa undergoes atrophy similar to other muscles when they go unused [16]

Индуктируемый облучением оксидативный стресс ведет к гибели гладкомышечных элементов, фиброзу кавернозных тел и эндотелиальной дисфункции [17].

Исследования, посвященные изучению РИЭД, условно можно разделить на три группы: описательные (сравнение исходных и последующих уровней ЭФ), дозиметрические (оценка корреляции величин лучевой нагрузки на критические структуры и уровня ЭФ) и механистические (поиск и оценка вероятных патогенетических механизмов РИЭД). Традиционно выделяют четыре основные анатомические структуры, напрямую связанные с РИЭД: ножки кавернозных тел (НКТ), внутренняя половая артерия (ВПА), луковица полового члена (ЛПЧ) и сосудисто-нервные пучки (СНП). Удельный вес роли каждого из них в развитии РИЭД до сих пор неясен.

Ножки кавернозных тел. НКТ – проксимальная часть кавернозных тел, дистальной границей которых является уровень отчетливой взаимной дивергенции в сагиттальной плоскости. Этот ориентир используется в радиационной онкологии при оконтуривании НКТ в качестве критических органов [14, 18].

G.J. van der Wielen et al. осуществили обзор проведенных в 2001–2007 гг. исследований, оценивающих величины радиационной нагрузки на

различные анатомические структуры [19]. В целом ряде работ, посвященных как брахитерапии, так и ДЛТ РПЖ, корреляции частоты РИЭД и вовлеченности НКТ в объем облучения выявлено не было [20–22]. Аналогичные результаты опубликованы M. Chasserau et al., которые изучили связь индивидуальной половой анатомии пациентов с сохранностью ЭФ после БТ-НМД [23]. Из всех критических органов только величина дозной нагрузки на ЛПЧ имела связь с 3-летним уровнем ЭД ($D_{10\%} > 51$ Гр; $p = 0,005$). В исследовании M. Thor et al. клинические проявления половых нарушений у исходно сексуально активных 328 пациентов были разделены на три группы: ЭД, нарушения оргазма и болевой синдром. Лучевое лечение было представлено ДЛТ со стандартным режимом фракционирования до СОД 70 Гр [24]. Все три группы имели статистически значимую корреляцию с рядом дозиметрических переменных: ЭД – с $D_{\max}$ (максимальная доза) комплекса НКТ + ЛПЧ ($p = 0,001–0,03$), нарушения оргазма – с D_{mean} (средняя доза) НКТ ($p = 0,03$) и ЛПЧ ($p = 0,02$); боль – с D_{mean} комплекса НКТ + ЛПЧ ($p = 0,02–0,03$). Авторы сделали вывод, что для прогнозирования и предотвращения нарушений в сексуальной сфере более целесообразно оценивать лучевую нагрузку на комплекс критических структур.

Вероятное объяснение патогенеза РИЭД, обусловленного облучением НКТ, представлено в исследовании J. Mulhall et al. [25]. В него вошли 16 пациентов с признаками РИЭД (медиана манифестации – 11 мес после окончания ЛТ), которые были обследованы посредством динамической инфузионной кавернозографии (метрии). У всех 11 больных имелись признаки артериальной недостаточности, а у 85% – веноокклюзивная дисфункция (ВОД). У 80% наблюдаемых диагностирована венозная утечка с преимущественной локализацией в области НКТ. Исследователи приходят к выводу, что в основе РИЭД лежит существенное нарушение гемодинамики полового члена, имеющее смешанный артериовенозный характер. При этом в качестве причины ВОД рассматривается снижение окклюзионных свойств белочной оболочки кавернозных тел вследствие фиброзных постлучевых изменений. Оценка роли венозной утечки в патогенезе РИЭД затрудняется необходимостью применения достаточно инвазивных диагностических приемов – кавернозометрии (графии), позволяющей, в отличие от фармакодоплерографии, точно выявить ее локализацию и степень [26]. Определенные ожидания в сфере изучения неблагоприятного воздействия ионизирующего излучения на структуры кавернозных тел связаны с внедрением в практику нового метода соноэластографии – эластографии сдвиговой волной [27, 28].

Внутренняя половая артерия. Этой анатомической структуре отводится особая роль в изучении вероятного генеза РИЭД. ВПА, являющаяся конечной ветвью внутренней подвздошной артерии, представляет собой основной источник кровоснабжения эректильной ткани полового члена.

Первые работы, указывающие на перфузионные нарушения кавернозных тел в качестве основной причины РИЭД, были опубликованы еще в 80–90-х годах прошлого столетия [29, 30]. Эти представления подтверждены рядом экспериментальных работ на животных. Так, G.J. van der Wielen et al. продемонстрировали существенные фиброзные изменения стенок ВПА и снижение числа гладкомышечных клеток кавернозных тел у лабораторных крыс, подвергнутых облучению в режиме 7,4 Гр в виде пяти ежедневных фракций (наиболее распространенная современная схема СТЛТ) [31]. В исследовании M.W. Nolan et al. на собаках предпринята попытка определения ведущей патогенетической роли лучевого повреждения ВПА или полового нерва в развитии РИЭД [32]. Авторы разделили животных на три группы в зависимости от облучаемых объемов: воздействие на предстательную железу, ЛПЧ и СНП. Во всех случаях использовалось пятифракционное облучение с подведением СОД 50, 40 или 30 Гр. Оценка перфузионных нарушений проводилась на основании фармакодупплерографии. Ультразвуковое исследование на фоне введения вазоактивного препарата (папаверин) показало значимое снижение показателя времени систолического подъема во всех группах, свидетельствующее о функциональных нарушениях регуляции тонуса сосудистой стенки. Патоморфологический анализ выявил склеротическую облитерацию сосудов среднего диаметра и окклюзионный тромбоз. В артериях большего диаметра на фоне выраженного васкулита проходимость сохранялась. Наибольшую выраженность эти изменения приобретали через 6 мес после лучевого лечения.

Э.А. Повелица и др. провели сравнительный анализ причин половых нарушений у пациентов с РПЖ после РПЭ и конформной ДЛТ [33]. Функциональный и анатомический статус артериального русла полового члена определяли посредством фармакодупплерографии и ангиографии (динамическая компьютерная контрастная ангиография или динамическая магнитно-резонансная ангиография). Показатели пиковой систолической скорости у здоровых мужчин контрольной группы в бассейне ВПА в покое находились в диапазоне от 20,2 до 21,5 см/с, а при фармакологической стимуляции достигали значений 64,2 см/с. После ДЛТ регистрировалось существенное снижение пиковой систолической

скорости: в покое – 8–14 см/с, на фоне введения простагландина E1 – не более 20,1 см/с. Стенозы ВПА носили мультифокальный характер, были протяженными и двусторонними. Чаще стеноокклюзивные нарушения локализовались на уровне седалищного бугра и имели протяженность от 2 до 25 мм. Авторы делают вывод, что ДЛТ РПЖ сопровождается значительным поражением ВПА, приводящим к критическим перфузионным нарушениям полового члена.

Эндотелиальная дисфункция – превалирующий патогенетический вариант нарушения работы артерий различного диаметра при лучевой терапии РПЖ [17]. Выделяют несколько типов ответа эндотелиальных клеток на облучение в зависимости от величины подведенной дозы и тканевой специфичности органа. В основе острых лучевых реакций (повреждений) преимущественно лежит апоптоз, отдаленных (хронических) – ускоренное старение клеток. При стандартном фракционировании (РОД 1,8–2,0 Гр) приблизительно 90% эндотелиальных клеток подвергаются гибели в виде митотической смерти, а при величине РОД, равной или превышающей 10 Гр, начинают превалировать различные механизмы апоптоза (p53- и сфингомиелин-керамид-медируемые). На фоне оксидативного стресса, запущенного радиационным воздействием, протекает целый ряд биологических процессов: преждевременное старение эндотелия, клеточная адгезия, радиационно-индуцированная коагулопатия, ингибирование ангиогенеза, а также метаболические и иммунологические нарушения [17]. Описанные процессы наблюдаются не только в стенках артерий, но и в эндотелиальной выстилке трабекул эректильной ткани кавернозных тел.

Ведущая патогенетическая роль повреждения сосудистых структур в развитии РИЭД была подтверждена в рандомизированном исследовании II фазы, в котором оценивались исходы длительного наблюдения за пациентами после стандартной и сосудосохраняющей ДЛТ РПЖ [34]. Опубликованные результаты свидетельствуют о сохранности ЭФ на приемлемом уровне приблизительно в 90% случаев на протяжении 5 лет после лучевого лечения. Эти данные подтверждены в другом проспективном исследовании [35].

Луковица полового члена. ЛПЧ – расширение проксимальной части губчатого тела, охватывающее мочеиспускательный канал. В отличие от кавернозных тел, обеспечивающих необходимую для совершения полового акта ригидность, основной функцией губчатого тела является сохранение проходимости мочеиспускательного канала. В состоянии полной туминисценции максимальное давление в губчатом теле не превышает 1/3 значения давления в кавернозных телах [15].

Таким образом, непосредственная роль ЛПЧ в ЭФ неочевидна. Вместе с тем именно эту анатомическую структуру на протяжении многих лет считали основным критическим органом для постлучевой ЭД. Впервые суррогатная роль ЛПЧ определена J.P. Mulhall и P.M. Yonover [36]: центральное положение и тесный контакт с другими анатомическими образованиями, связанными с ЭФ (НКТ, дистальный отдел ВПА, СНП), делает ее референсной структурой, позволяющей получить представления о величине дозой нагрузки при лучевом лечении РПЖ.

В радиационной онкологии чрезвычайно важно корректное определение границ критических органов в ходе предлучевой подготовки, так как это позволяет оценивать истинные дозообъемные параметры лечебного плана. Существует несколько вариантов описания границ ЛПЧ. Специалисты Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) при оконтуривании нормальных тканей мужского таза относят к ЛПЧ дистальную часть губчатого тела, прилежащую к мочеполювой диафрагме [37]. M. Roach 3rd et al. определяют ЛПЧ как наиболее дистальный отдел губчатого тела, располагающийся непосредственно под предстательной железой [38]. В рандомизированном исследовании ISRCTN47772397 дистальная граница ЛПЧ определяется плоскостью, проходящей через нижнюю точку седалищной бугристости [39]. В работе Р.В. Новикова и др., посвященной анатомо-топографическому обоснованию сосудосохраняющей ЛТ РПЖ, граница ЛПЧ совпадает с границами НКТ (уровень начала их отчетливой конвергенции в сагиттальной плоскости) [18]. Отсутствие стандартных критериев проявляется значительной вариабельностью в определении объема этой критической структуры, а следовательно, и значительной погрешностью в последующих дозиметрических расчетах. Так, по данным ряда работ, средние значения объема ЛПЧ составили $3,5 \pm 1,8 \text{ см}^3$ (ЛПЧ определена как проксимальная утолщенная часть губчатого тела) [40], $7,12 \pm 2,91 \text{ см}^3$ [18] и $18,0 \pm 9,0 \text{ см}^3$ [41]. Представляется наиболее оправданным использование в качестве точки отсчета уровня конвергенции НКТ.

Анализ опубликованных данных дает неоднозначные результаты относительно корреляции лучевой нагрузки на ЛПЧ и частоты развития РИЭД. В обзоре M. Roach 3rd et al. такая связь отсутствует в 3 из 10 исследований [38]. Проведенные расчеты позволили авторам определить максимально допустимые границы значений величины СОД, при которых вероятность сохранить потенцию достаточно высока: D_{95} (доза, подводимая к 95% объема ЛПЧ) менее 50 Гр. По данным A. Magli et al., приемлемый уровень лучевой нагрузки на область ЛПЧ при проведении 3D-конформной ДЛТ РПЖ

с целью предотвращения РИЭД по такому показателю, как D_{mean} , лежит в интервале 40–45 Гр [42]. J. Murray et al. на основании анализа отдаленных результатов самого большого в мире рандомизированного исследования по сравнению стандартного и гипофракционного (РОД 3 Гр) режима облучения (СННП) определили новую величину критически значимой лучевой нагрузки на ЛПЧ [43]. Использование технологии IGRT (Image Guided RadioTherapy – визуальный контроль проведения ЛТ) позволило существенно снизить значение D_{mean} : с 25 Гр (стандартное проведение ДЛТ) до 11 Гр (IGRT) ($p < 0,0001$). Расчеты показали, что у потенциальных пациентов D_{mean} была близка к 20 Гр, которые и были определены в качестве оптимального констрейнта. Аналогичные данные получены в другом рандомизированном исследовании по сравнению результатов лучевого лечения РПЖ посредством стандартного и ультрагипофракционирования [14].

Сосудисто-нервный пучок. Иннервация полового члена осуществляется посредством симпатической и парасимпатической нервных систем, чьи эффекты на гладкомышечные элементы эректильной ткани имеют противоположный характер [15]. Активация парасимпатических нервных путей стимулирует приток крови в кавернозные тела, а симпатических – обеспечивает детумесценцию. Парасимпатические (S2–S4) и симпатические (Th10–L2) нервные волокна далее через *nn. pelvis splanchnici* попадают в нижнее гипогастральное сплетение (*nn. erigentes*) и, наконец, в простатическое сплетение. M.K. Ramirez-Fort et al., в отличие от большинства исследователей, рассматривают именно простатическое сплетение, а не идущие далее в составе СНП кавернозные нервы (*nn. cavernosi*) в качестве основного критического органа в развитии РИЭД [44]. Соматосенсорная иннервация полового члена обеспечивается за счет ветвей *n. pudendus*, который берет свое начало на уровне S2–S4. Ход этого нерва совпадает с топографией ВПА.

Первыми, кто указал на вероятную патогенетическую роль РИЭД чрезмерной лучевой нагрузки на область СНП при брахитерапии РПЖ, были S.J. DiBiase et al., сделавшие этот эмпирический вывод без адекватных расчетов [45]. Последующий анализ дозиметрических планов в различных группах пациентов, перенесших низкомоментную брахитерапию (2000–2004 гг.), не продемонстрировал значимой зависимости [19]. Схожие результаты получены и в более современных исследованиях [23, 46]. Поиск опубликованных на сегодняшний день работ говорит о том, что не существует клинических данных, однозначно подтверждающих роль лучевого повреждения нервных структур в развитии РИЭД. Причин этому может

быть несколько: во-первых, сложности с адекватной визуализацией СНП и, как следствие, оконтуриванием в качестве критической структуры для расчета дозной нагрузки [47]; во-вторых, фактическое отсутствие методов объективной оценки радиационно-индуцированных нарушений проводимости в повседневной практике. Определение латентного времени бульбокавернозного рефлекса, вызванных соматосенсорных половых потенциалов и симпатических кожных ответов в рамках нейрофизиологического обследования у пациентов с ЭД не вошло в стандартные клинические рекомендации и оставались методиками эксперимента [48].

Особенности проведения пенильной реабилитации больных РПЖ после различных вариантов радикального лечения также могут указывать на вероятную роль повреждения кавернозных нервов в постлучевом снижении статуса ЭФ. Хорошо известно, что двустороннее пересечение СНП в ходе РПЭ делает фактически бесполезной медикаментозную коррекцию развившейся ЭД [49]. В обзоре W. Doherty et al., включившем 19 работ, опубликованных с 1999 по 2015 г., несмотря на отсутствие четких выводов относительно роли и практических аспектов пенильной реабилитации, указано, что она улучшает показатели ЭФ примерно у 50% больных после ЛТ [50]. В проспективном рандомизированном исследовании M.J. Zelefsky et al. на группе из 279 пациентов изучена эффективность назначения силденафила цитрата на протяжении 24 мес после окончания ЛТ [51]. Рассматривая в качестве основного патогенетического механизма нарушение артериального кровоснабжения кавернозной ткани, авторы выявили значимое улучшение как общего статуса ЭФ, так и отдельных его показателей в случае медикаментозной коррекции по сравнению с плацебо. Приведенные данные свидетельствуют в пользу того, что подведение рекомендованных 70–90 Гр при конвенциональном режиме фракционирования либо эквивалентных им доз посредством СТЛТ или брахитерапии не оказывает критически значимого повреждения СНП у большинства пациентов.

Экспериментальные исследования на животных (крысы и собаки) в большей степени, чем клинические, указывают на ключевую роль повреждения нервных путей в развитии РИЭД [32, 52–54]. Применение количественной полимерно-цепной реакции, а также иммуногистохимии и трансмиссионной электронной микроскопии позволяют выявить ультраструктурные

нарушения в ткани кавернозных нервов, развивающиеся в различные периоды после окончания лучевого воздействия. Нейрофизиологические методики демонстрируют значимое снижение проводимости нервного импульса как в кавернозных, так и в половых нервах. Принимая во внимание результаты этих работ, необходимо помнить, что полная их интерполяция на человека возможна с той оговоркой, что несоответствие размеров и анатомии животных приводит к значительным погрешностям в оценке пространственного изодозного распределения [16].

Для поиска ответа на вопрос о роли лучевого воздействия на область СНП и разработки оригинальной методики по сохранению потенции после СТЛТ в 2018 г. инициировано проведение контролируемого рандомизированного исследования II фазы POTEN-C. Пациенты (120 человек) рандомизированы в две группы: со снижением лучевой нагрузки на эректильные сосудисто-нервные структуры и со стандартной СТЛТ. Предварительные клинические результаты планируется опубликовать в 2022 г., окончательные – в 2024 г. В настоящее время представлен сравнительный анализ полученных величин дозной нагрузки при планировании СТЛТ РПЖ в исследуемых группах [55].

Заключение

Анализ представленных в данном обзоре материалов позволяет сформулировать несколько важных выводов:

1. РИЭД – часто встречающееся осложнение лучевого лечения РПЖ, частота развития которого достигает 50–55% к исходу 5-го года наблюдения и существенно не зависит от методики ЛТ и режима фракционирования дозы.

2. В качестве основных критических структур РИЭД рассматриваются ВПА, ЛПЧ, НКТ и СНП. Удельный вес повреждения этих структур (основной патогенетический механизм) в постлучевом снижении статуса ЭФ на сегодняшний день точно не установлен.

3. На преимущественно сосудистый генез РИЭД, в основе которого лежит повреждение ВПА, ЛПЧ и НКТ, указывают как клинические, так и экспериментальные данные, полученные в ходе рандомизированных исследований.

4. Поражение кавернозных нервов как основная причина РИЭД в настоящее время подтверждено только рядом экспериментальных исследований на животных.

Литература [References]

1. Tétreault-Laflamme A, Zilli T, Meissner A, et al. The Quadrella: a novel approach to analyzing optimal outcomes after permanent seed prostate brachytherapy. *Radiother Oncol.* 2014; 111(1): 110–3. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2014.01.017>.
2. McCabe MP, Sharlip ID, Atalla E, et al. Definitions of sexual dysfunctions in women and men: a consensus statement from the Fourth International Consultation on Sexual Medicine 2015. *J Sex Med.* 2016; 13(2): 135–43. <https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2015.12.019>.
3. Wortel RC, Incrocci L, Mulhall JP. Reporting erectile function outcomes after radiation therapy for prostate cancer: challenges in data interpretation. *J Sex Med.* 2017; 14(10): 1260–9. <https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2017.08.005>.
4. Gaither TW, Awad MA, Osterberg EC, et al. The natural history of erectile dysfunction after prostatic radiotherapy: a systematic review and meta-analysis. *J Sex Med.* 2017; 14(9): 1071–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2017.07.010>.
5. Olsson CE, Alsadius D, Pettersson N, et al. Patient-reported sexual toxicity after radiation therapy in long-term prostate cancer survivors. *Br J Cancer.* 2015; 113(5): 802–8. <https://doi.org/10.1038/bjc.2015.275>.
6. Bazinet A, Zorn KC, Taussky D, et al. Favorable preservation of erectile function after prostate brachytherapy for localized prostate cancer. *Brachytherapy.* 2020; 19(2): 222–7. <https://doi.org/10.1016/j.brachy.2019.11.003>.
7. Wang Y, Liu T, Rossi PJ, et al. Influence of vascular comorbidities and race on erectile dysfunction after prostate cancer radiotherapy. *J Sex Med.* 2013; 10(8): 2108–14. <https://doi.org/10.1111/jsm.12215>.
8. Kushnir T, Gofrit ON, Elkayam R, et al. Impact of androgen deprivation therapy on sexual and hormonal function in patients receiving radiation therapy for prostate cancer. *Isr Med Assoc J.* 2016; 18(1): 49–53.
9. Son CH, Chennupati SK, Kunnavakkam R, Liauw SL. The impact of hormonal therapy on sexual quality of life in men receiving intensity modulated radiation therapy for prostate cancer. *Pract Radiat Oncol.* 2015; 5(3): e223–8. <https://doi.org/10.1016/j.prro.2014.10.003>.
10. Kamran SC, D'Amico AV. Radiation therapy for prostate cancer. *Hematol Oncol Clin North Am.* 2020; 34(1): 45–69. <https://doi.org/10.1016/j.hoc.2019.08.017>.
11. Bruner DW, Hunt D, Michalski JM, et al. Preliminary patient-reported outcomes analysis of 3-dimensional radiation therapy versus intensity-modulated radiation therapy on the high-dose arm of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) 0126 prostate cancer trial. *Cancer.* 2015; 121(14): 2422–30. <https://doi.org/10.1002/cncr.29362>.
12. Marina O, Warner J, Ye H, et al. An age-corrected matched-pair study of erectile function in patients treated with dose-escalated adaptive image-guided intensity-modulated radiation therapy vs. high-dose-rate brachytherapy for prostate cancer. *Brachytherapy.* 2014; 13(2): 163–8. <https://doi.org/10.1016/j.brachy.2013.10.006>.
13. Loi M, Wortel RC, Francolini G, Incrocci L. Sexual function in patients treated with stereotactic radiotherapy for prostate cancer: a systematic review of the current evidence. *J Sex Med.* 2019; 16(9): 1409–20. <https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2019.05.019>.
14. Rasmusson E, Gunnlaugsson A, Wieslander E, et al. Erectile dysfunction and absorbed dose to penile base structures in a randomized trial comparing ultrahypofractionated and conventionally fractionated radiation therapy for prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2020; 107(1): 143–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.01.022>.
15. Dean RC, Lue TF. Physiology of penile erection and pathophysiology of erectile dysfunction. *Urol Clin North Am.* 2005; 32(4): 379–95. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2005.08.007>.
16. Mahmood J, Shamah AA, Creed TM, et al. Radiation-induced erectile dysfunction: recent advances and future directions. *Adv Radiat Oncol.* 2016; 1(3): 161–9. <https://doi.org/10.1016/j.adro.2016.05.003>.
17. Venkatesulu BP, Mahadevan LS, Aliru ML, et al. Radiation-induced endothelial vascular injury: a review of possible mechanisms. *JACC Basic Transl Sci.* 2018; 3(4): 563–72. <https://doi.org/10.1016/j.jacbt.2018.01.014>.
18. Новиков Р.В., Пономарева О.И., Летинский С.С., Новиков С.Н. Анатомо-топографическое обоснование «сосудосохраняющей» лучевой терапии рака предстательной железы. *Экспериментальная и клиническая урология.* 2020; 2: 84–91. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2020-12-2-84-91>. [Novikov RV, Ponomareva OI, Litinskiy SS, Novikov SN. Anatomical and topographical justification of “vessel-spare” radiation therapy of prostate cancer. *Experimental & Clinical Urology.* 2020; 2: 84–91 (in Russ.). <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2020-12-2-84-91>.]
19. van der Wielen GJ, Mulhall JP, Incrocci L. Erectile dysfunction after radiotherapy for prostate cancer and radiation dose to the penile structures: a critical review. *Radiother Oncol.* 2007; 84(2): 107–13. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2007.07.018>.
20. Merrick GS, Butler WM, Wallner KE, et al. The importance of radiation doses to the penile bulb vs. crura in the development of postbrachytherapy erectile dysfunction. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2002; 54(4): 1055–62. [https://doi.org/10.1016/S0360-3016\(02\)03031-6](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(02)03031-6).
21. Selek U, Cheung R, Lii M, et al. Erectile dysfunction and radiation dose to penile base structures: a lack of correlation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004; 59(4): 1039–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2003.12.028>.
22. Wright JL, Newhouse JH, Laguna JL, et al. Localization of neurovascular bundles on pelvic ct and evaluation of radiation dose to structures putatively involved in erectile dysfunction after prostate brachytherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004; 59(2): 426–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2003.11.022>.
23. Chasseray M, Dissaux G, Bourbonne V, et al. Dose to the penile bulb and individual patient anatomy are predictive of erectile dysfunction in men treated with ¹²⁵I low dose rate brachytherapy for localized prostate cancer. *Acta Oncol.* 2019; 58(7): 1029–35. <https://doi.org/10.1080/0284186X.2019.1574981>.
24. Thor M, Olsson CE, Oh JH, et al. Radiation dose to the penile structures and patient-reported sexual dysfunction in long-term prostate cancer survivors. *J Sex Med.* 2015; 12(12): 2388–97. <https://doi.org/10.1111/jsm.13031>.
25. Mulhall J, Ahmed A, Parker M, Mohideen N. The hemodynamics of erectile dysfunction following external beam radiation for prostate cancer. *J Sex Med.* 2005; 2(3): 432–7. <https://doi.org/10.1111/j.1743-6109.2005.20362.x>.
26. Herwig R. Erectile dysfunction and caverno-venous leak disease. *J Transl Sci.* 2018; 4(1): 3–5. <https://doi.org/10.15761/JTS.1000205>.
27. Cui A, Xu L, Mu J, et al. The role of shear wave elastography on evaluation of the rigidity changes of corpus cavernosum penis in venogenic erectile dysfunction. *Eur J Radiol.* 2018; 103: 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.03.025>.

28. Lee JY, Jung DC, Lee S, et al. Stiffness of the central corpus cavernosum on shear-wave elastography is inversely correlated with the penile rigidity score in patients with erectile dysfunction. *World J Mens Health*. 2021; 39(1): 123–30. <https://doi.org/10.5534/wjmh.190094>.
29. Goldstein I, Feldman MI, Deckers PJ, et al. Radiation-associated impotence. a clinical study of its mechanism. *JAMA*. 1984; 251(7): 903–10. <https://doi.org/10.1001/jama.251.7.903>.
30. Zelefsky MJ, Eid JF. Elucidating the etiology of erectile dysfunction after definitive therapy for prostatic cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1998; 40(1): 129–33. [https://doi.org/10.1016/S0360-3016\(97\)00554-3](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(97)00554-3).
31. van der Wielen GJ, Vermeij M, de Jong BW, et al. Changes in the penile arteries of the rat after fractionated irradiation of the prostate: a pilot study. *J Sex Med*. 2009; 6(7): 1908–13. <https://doi.org/10.1111/j.1743-6109.2009.01272.x>.
32. Nolan MW, Marolf AJ, Ehrhart EJ, et al. Pudendal nerve and internal pudendal artery damage may contribute to radiation-induced erectile dysfunction. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2015; 91(4): 796–806. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2014.12.025>.
33. Повелица Э.А., Залуцкий И.В., Доста Н.И. и др. Анализ причин половых нарушений у больных раком предстательной железы после хирургического и комплексного лечения. *Вопросы онкологии*. 2017; 63(6): 933–41. [Povelitsa EA, Zalutsky IV, Dosta NI, et al. Analysis of the causes of sexual disorders in patients with prostate cancer after surgical and complex treatment. *Problems in Oncology*. 2017; 63(6): 933–41 (in Russ.).]
34. Spratt DE, Lee JY, Dess RT, et al. Vessel-sparing radiotherapy for localized prostate cancer to preserve erectile function: a single-arm phase 2 trial. *Eur Urol*. 2017; 72(4): 617–24. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2017.02.007>.
35. Samlali H, Udrescu C, Lapiere A, et al. Prospective evaluation of a specific technique of sexual function preservation in external beam radiotherapy for prostate cancer. *Br J Radiol*. 2017; 90(1078): 20160877. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160877>.
36. Mulhall JP, Yonover PM. Correlation of radiation dose and impotence risk after three-dimensional conformal radiotherapy for prostate cancer. *Urology*. 2001; 58(5): 828. [https://doi.org/10.1016/S0090-4295\(01\)01415-7](https://doi.org/10.1016/S0090-4295(01)01415-7).
37. Gay HA, Barthold HJ, O'Meara E, et al. Pelvic normal tissue contouring guidelines for radiation therapy: a radiation therapy oncology group consensus panel atlas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012; 83(3): 353–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2012.01.023>.
38. Roach M 3rd, Nam J, Gagliardi G, et al. Radiation dose-volume effects and the penile bulb. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010; 76(3): 130–4. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.04.094>.
39. Mangar SA, Sydes MR, Tucker HL, et al. Evaluating the relationship between erectile dysfunction and dose received by the penile bulb: using data from a randomised controlled trial of conformal radiotherapy in prostate cancer (MRC RT01, ISRCTN47772397). *Radiother Oncol*. 2006; 80(3): 355–62. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2006.07.037>.
40. Tøndel H, Lund JÅ, Lydersen S, et al. Dose to penile bulb is not associated with erectile dysfunction 18 months post radiotherapy: a secondary analysis of a randomized trial. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2018; 29(13): 50–6. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2018.09.006>.
41. Böckelmann F, Hammon M, Lettmaier S, et al. Penile bulb sparing in prostate cancer radiotherapy: dose analysis of an in-house MRI system to improve contouring. *Strahlenther Onkol*. 2019; 195(2): 153–63. <https://doi.org/10.1007/s00066-018-1377-0>.
42. Magli A, Giangreco M, Crespi M, et al. Erectile dysfunction after prostate three-dimensional conformal radiation therapy. Correlation with the dose to the penile bulb. *Strahlenther Onkol*. 2012; 188(11): 997–1002. <https://doi.org/10.1007/s00066-012-0227-8>.
43. Murray J, Gulliford S, Griffin C, et al. Evaluation of erectile potency and radiation dose to the penile bulb using image guided radiotherapy in the CHHiP Trial. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2020; 21(1): 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2019.12.006>.
44. DiBiase SJ, Wallner K, Tralins K, Sutlief S. Brachytherapy radiation doses to the neurovascular bundles. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2000; 46(5): 1301–7. [https://doi.org/10.1016/S0360-3016\(99\)00551-9](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(99)00551-9).
45. Ramirez-Fort MK, Rogers MJ, Santiago R, et al. Prostatic irradiation-induced sexual dysfunction: a review and multidisciplinary guide to management in the radical radiotherapy era (Part I defining the organ at risk for sexual toxicities). *Rep Pract Oncol Radiother*. 2020; 25(3): 367–75. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2020.03.007>.
46. Solan AN, Cesaretti JA, Stone NN, Stock RG. There is no correlation between erectile dysfunction and dose to penile bulb and neurovascular bundles following real-time low-dose-rate prostate brachytherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2009; 73(5): 1468–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2008.06.1946>.
47. Roach D, Holloway LC, Jameson MG, et al. Multi-observer contouring of male pelvic anatomy: highly variable agreement across conventional and emerging structures of interest. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2019; 63(2): 264–71. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12844>.
48. Giuliano F, Rowland DL. Standard operating procedures for neurophysiologic assessment of male sexual dysfunction. *J Sex Med*. 2013; 10(5): 1205–11. <https://doi.org/10.1111/jsm.12164>.
49. Clavell-Hernandez J, Ermeç B, Kadioğlu A, Wang R. Perplexity of penile rehabilitation following radical prostatectomy. *Turk J Urol*. 2019; 45(2): 77–82. <https://doi.org/10.5152/tud.2019.18488>.
50. Doherty W, Bridge P. A systematic review of the role of penile rehabilitation in prostate cancer patients receiving radiotherapy and androgen deprivation therapy. *J Med Imaging Radiat Sci*. 2019; 50(1): 171–8. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2018.09.004>.
51. Zelefsky MJ, Shasha D, Branco RD, et al. Prophylactic sildenafil citrate improves select aspects of sexual function in men treated with radiotherapy for prostate cancer. *J Urol*. 2014; 192(3): 868–74. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2014.02.097>.
52. Kimura M, Yan H, Rabbani Z, et al. Radiation-induced erectile dysfunction using prostate-confined modern radiotherapy in a rat model. *J Sex Med*. 2011; 8(8): 2215–26. <https://doi.org/10.1111/j.1743-6109.2011.02351.x>.
53. Mahmood J, Connors CQ, Alexander AA, et al. Cavernous nerve injury by radiation therapy may potentiate erectile dysfunction in rats. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2017; 99(3): 680–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2017.06.2449>.
54. Ashcraft KA, Hannan JL, Eichenbaum G, et al. Clarifying the relative impacts of vascular and nerve injury that culminate in erectile dysfunction in a pilot study using a rat model of prostate irradiation and a thrombopoietin mimetic. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2019; 103(5): 1212–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2018.11.064>.
55. Leiker AJ, Rezaeian NH, Laine AM, et al. Prostate cancer neurovascular element sparing with stereotactic ablative radiation therapy (SABR): a pilot dosimetric study for the POTEN-C Trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2018; 102(3): e125. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2018.07.335>.

MEDRAD® Spectris Solaris EP

Автоматическая инъекционная система для МРТ

ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВЕДЕНИЯ ГСКС ПО СРАВНЕНИЮ С РУЧНЫМ^{1,2}:

- Ввод ГСКС с необходимой скоростью с незначительными отклонениями от целевых значений
- Более предсказуемое время поступления болюса в зону интереса
- Более быстрое переключение на введение проталкивающего болюса физиологического раствора
- Достаточно одного оператора

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ИНЪЕКТОР MEDRAD® Spectris Solaris EP:

- Предназначен для использования со всеми МР-сканерами с напряженностью магнитного поля до 3Т включительно
- Цветной сенсорный экран, позволяющий задавать многофазные протоколы и наблюдать за процессом введения
- Увеличенный объем шприц-колбы для физиологического раствора до 115 мл для повышения безопасности исследования

Сервисная служба BAYER

- Консультативная поддержка пользователей
- Гарантийное и постгарантийное обслуживание
- Широкий выбор программ технического обслуживания

Контактный телефон технической поддержки:
+7 (915) 025 44 55



1. Endrikat J et al. Invest Radiol. 2018 Jan;53(1); 2. Gost J et al. Magn Reson Insights. 2017 Apr 20;10:1178623X17705894. doi: 10.1177/1178623X17705894; 2. Endrikat J, Barbati R, Scarpa M, Jost G, Arthur E Ned Uber 3rd. Accuracy and repeatability of automated injector versus manual administration of an MRI contrast agent — results of a laboratory study. Invest Radiol 2018 Jan;53(1):1-5. doi: 10.1097/RLI.0000000000000403.
Сокращения: МРТ – магнитно-резонансная томография, ГСКС – гадолинийсодержащие, МР – магнитно-резонансные, Т – Тесла

PP-M-SPE-RU-0003-1



АО «БАЙЕР» 107113, Москва, 3-я Рыбинская ул., дом 18, строение 2
Тел.: +7 (495) 231 12 00
www.bayer.ru



Макроциклический Кларискан Гадотеровая кислота



Гадотеровая кислота + Опыт GE Healthcare = Макроциклический Кларискан

Доказанная диагностическая эффективность¹

По результатам 51 клинического исследования с участием 2867 пациентов и 9 пострегистрационных наблюдательных исследований².

Безопасность

Наиболее высокий показатель термодинамической и кинетической стабильности среди всех ГСК^{2,3}.

Широкий спектр показаний

MPT головного и спинного мозга, окружающих тканей (с 0 лет); MPT всего тела (с 6 месяцев); МР-ангиография при поражениях и стенозах не коронарных артерий (с 18 лет)⁴.

Все этапы производства осуществляются GE⁵

В РФ зарегистрирован с 2020 г.⁵

Опыт применения в мире — 3 года⁶

КРАТКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО МЕДИЦИНСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА КЛАРИСКАН. Регистрационный номер: ЛП-006111 от 21.02.2020. МНН: гадотеровая кислота. **Лекарственная форма:** раствор для внутривенного введения. **Показания к применению:** предназначен только для диагностических целей. Кларискан — это КС, используемое для повышения контрастности при проведении МРТ с целью улучшения визуализации/повышения четкости границ на изображении. Взрослые и дети (в возрасте 0–18 лет): заболевания головного мозга, спинного мозга и окружающих тканей, МРТ всего тела. Не рекомендуется использовать препарат для проведения МРТ всего тела у детей младше 6 мес. Только взрослые: поражения или стенозы не коронарных артерий (требующие проведения МР-ангиографии). **Противопоказания:** гиперчувствительность к гадотеровой кислоте, меглюмину, любому вспомогательному веществу препарата или любым другим лекарственным препаратам, содержащим гадолиний. Не рекомендуется для проведения ангиографии у детей до 18 лет, в связи с недостаточными данными об эффективности и безопасности. **С осторожностью:** у пациентов с БА, аллергией, реакциями гиперчувствительности на контрастные препараты в анамнезе; принимающих β -адреноблокаторы (в т. ч., с БА), т. к. они могут быть рефрактерными к стандартной терапии реакций гиперчувствительности β -агонистами; с тяжелыми ССЗ; с тяжелой степенью почечной недостаточности (СКФ < 30 мл/мин/1,73 м²) и пациентов в периоперационный период пересадки печени только после тщательной оценки соотношения риск/польза и в случае того, если информация, полученная при проведении МРТ с контрастным усилением, имеет решающее диагностическое значение и недоступна при проведении МРТ без контрастирования; у пожилых пациентов, в частности у пациентов 65 лет и старше; при заболеваниях ЦНС, сопровождающихся снижением порога судорожной готовности. **Побочное действие:** нежелательные побочные реакции, связанные с использованием гадотеровой кислоты, обычно легкой или умеренной интенсивности и носят преходящий характер. Чаще всего наблюдались ощущение тепла, холода и/или боль в месте инъекции. В ходе проведения клинических исследований наблюдались головная боль и парестезии (очень часто: > 1/10), частыми реакциями были тошнота, рвота и кожные реакции, такие как эритематозная сыпь и зуд (часто: > 1/100 и < 1/10). Для ознакомления с полной версией данного раздела смотрите полную версию инструкции по медицинскому применению. **Держатель регистрационного удостоверения/производитель:** ДжиИ Хэлскеа АС, Норвегия. **Отпускается по рецепту врача.**

ССЫЛКИ. 1. Maravilla K.R. et al. AJNR Am J Neuroradiology 2017. 2. Guerbet LLC, Advisory Committee Briefing Document, 14th February 2013. 3. Tweedle M.F. et al. Applied Radiology (Suppl.): 1–11 2014. 4. Инструкция по медицинскому применению препарата Кларискан, Февраль 2020 г. 5. По данным государственного реестра лекарственных средств 2020 года. 6. По данным компании GE Healthcare 2020.

ООО «ДжиИ Хэлскеа Фарма»

123317 г. Москва, Пресненская наб., 10
Тел.: (495) 411 9806, факс: (495) 739 6932

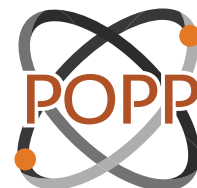
gehealthcare.ru

ПРИМЕЧАНИЯ. Информация для работников здравоохранения. Перед назначением препарата ознакомьтесь с полной версией инструкции по медицинскому применению. ГСК — гадолиний-содержащий препарат; МРТ — магнитно-резонансная томография; МНН — международное непатентованное или группировочное наименование; КС — контрастное средство; БА — бронхиальная астма; ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания; СКФ — скорость клубочковой фильтрации; ЦНС — центральная нервная система.

© Компания General Electric, 2020. На правах рекламы. JB00055RU

КОНГРЕСС РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА РЕНТГЕНОЛОГОВ И РАДИОЛОГОВ

8-10/11/2021



НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНГРЕССА

- Общая рентгенодиагностика, компьютерная и магнитно-резонансная томография
- Современные методики ранней диагностики онкологических заболеваний
- Радиотерапия
- Ультразвуковая диагностика
- Радиология и гибридные технологии визуализации
- Медицинская физика, радиационная безопасность контроль
- Информационные технологии, телемедицина
- Организация лучевой диагностики

ВАЖНЫЕ ДАТЫ

Прием докладов – до 15 июня 2021

Прием тезисов – до 1 августа 2021

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ

+7 (812) 677 31 56

welcome@congress-ph.ru

www.congress-ph.ru

РОССИЙСКОЕ ОБЩЕСТВО

РЕНТГЕНОЛОГОВ И РАДИОЛОГОВ

+7 (495) 942 40 20

russian-radiology.ru

Осуществите идеальный переход в диагностической визуализации: от аналоговых технологий к цифровым.



A2DIGIX

**A2DIGIX помогает повысить
качество медицинского обслуживания.**

Существует идеальное решение для плавного перехода от аналоговой медицинской визуализации к цифровой. Позвольте представить вам программу A2DIGIX компании AGFA.

Эта простая в реализации программа объединяет подобранный и доступный набор высококачественных решений для цифровой визуализации: от самого простого решения компьютерной радиологии (CR) начального уровня до полностью цифровой рентгенографии (DR).

Зачем осуществлять переход?

- **Оптимизированный производственный процесс** повышает эффективность даже для самых простых решений компьютерной рентгенологии (CR) начального уровня.
- **Превосходное качество изображений**, благодаря алгоритму обработки изображений MUSICA компании AGFA.
- **Экономически эффективная система печати цифровых изображений** (без химической обработки снимков).
- **Оптимальная совокупная стоимость владения** и повышенная производительность.



Для дополнительной информации
посетите наш веб-сайт или

свяжитесь с нами:

<https://medimg.agfa.com/cis/A2DIGIX>

sales.russia@agfa.com

тел. +7(495)212-2683

AGFA

