

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

Вестник
Journal

рентгенологии
of Radiology

и радиологии
and Nuclear Medicine

Том
Vol.

105, №1, 2024

Вестник рентгенологии и радиологии

Рецензируемый научно-практический журнал

Том 105, № 1, 2024

Journal of Radiology and Nuclear Medicine

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Vol. 105, No. 1, 2024

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 3.1.25. «Лучевая диагностика (медицинские науки)». 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:	81601 – в каталоге «Урал-Пресс»

Подписку на печатный экземпляр журнала можно оформить на сайте www.ural-press.ru

Полная электронная версия статей журнала размещается на сайтах: <https://www.elibrary.ru>, <https://www.iprbooks.ru>,
<https://rucont.ru>, <https://www.ebsco.com>, <https://cyberleninka.ru>

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

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 3.1.25. "Radiation Diagnostics (medical sciences)". Registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Registration certificate PI No. FS77-71544, 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, Verkhoyanskaya 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:	81601 – in the Ural-Press catalog

You can subscribe to a printed copy of the journal on the website <https://www.ural-press.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>, <https://cyberleninka.ru>

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

**Блажнова Е.М., Балтер Р.Б., Иванова Т.В., Пугачева Т.А., Ибрагимова А.Р.,
Целкович Л.С., Оганисян А.Т.**

Перспективы применения 3D-моделирования и биомаркеров в дифференциальной
диагностике эндометриоидных кист яичников 6

Гаврилов П.В., Суворова С.С., Смольникова У.А., Ушков А.Д.

Гамартома легкого: моноцентровый аналитический обзор 142 случаев 13

**Нуднов Н.В., Коробов А.В., Скачков А.А., Кульнева Т.В., Шерстобоев В.В., Титова Л.А.,
Русаков А.С., Тумко В.В., Сарбаев Р.С., Успенская Н.А., Андриенко Е.А., Иванников М.Е.**

Оценка качества работы искусственного интеллекта в выявлении дегенеративных
заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника 20

Черниченко Н.В., Лагуева И.Д., Сусарев И.О., Джигкаева М.М., Чхиквадзе В.Д.

КТ-навигация как залог успеха бронхобиопсии при периферических образованиях
в легких 29

Клинические случаи

Ребрикова В.А., Иванников М.Е., Егорова Е.В., Нуднов Н.В.

Редкий клинический случай аденокарциномы ухахуса: особенности диагностической
картины по данным лучевых методов обследования 37

Original research

Elena M. Blazhnova, Regina B. Balter, Tatiana V. Ivanova, Tatiana A. Pugacheva, Alina R. Ibragimova, Lyudmila S. Tselkovich, Anna T. Oganisyan Prospects for Using 3D Modeling and Biomarkers in Differential Diagnosis of Endometrioid Ovarian Cysts	6
Pavel V. Gavrilov, Svetlana S. Suvorova, Uliana A. Smolnikova, Alexey D. Ushkov Pulmonary Hamartoma: a Single-Center Analysis of 142 Cases	13
Nikolay B. Nudnov, Andrey V. Korobov, Artur A. Skachkov, Taisia V. Kulneva, Vladislav V. Sherstoboev, Lilia A. Titova, Andrey S. Rusakov, Vladislav V. Tumko, Ruslan S. Sarbaev, Natalia A. Uspenskaya, Elizaveta A. Andrienko, Mikhail E. Ivannikov Evaluation of Artificial Intelligence Effectiveness in Detection of Lumbosacral Spine Degenerative Diseases	20
Natalia V. Chernichenko, Irina D. Lagkueva, Ilya O. Susarev, Marina M. Dzhigkaeva, Vladimir D. Chkhikvadze CT Navigation is the Key to Successful Bronchobiopsy for Peripheral Pulmonary Nodules	29

Case reports

Vera A. Rebrikova, Mikhail E. Ivannikov, Ekaterina V. Egorova, Nikolay V. Nudnov A Rare Clinical Case of Urachal Adenocarcinoma: Diagnostic Picture Peculiarities According to Radiological Data	37
--	----



Перспективы применения 3D-моделирования и биомаркеров в дифференциальной диагностике эндометриоидных кист яичников

Блажнова Е.М.^{1,2}, Балтер Р.Б.¹, Иванова Т.В.¹, Пугачева Т.А.¹, Ибрагимова А.Р.¹, Целкович Л.С.¹, Оганисян А.Т.¹

¹ ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Чапаевская, 99, Самара, 443099, Российская Федерация

² ООО «РЖД-Медицина», ул. Агibalова, 12, Самара 443041, Российская Федерация

Блажнова Елена Михайловна, соискатель кафедры ультразвуковой диагностики Института профессионального образования ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, врач ультразвуковой диагностики ООО «РЖД-Медицина»

Балтер Регина Борисовна, д. м. н., профессор, заведующая кафедрой ультразвуковой диагностики Института профессионального образования ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0001-6724-0066>

Иванова Татьяна Владимировна, к. м. н., доцент кафедры ультразвуковой диагностики Института профессионального образования ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; <https://orcid.org/0000-0002-6153-7456>

Пугачева Татьяна Александровна, к. м. н., врач ультразвуковой диагностики ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России

Ибрагимова Алина Ришатовна, к. м. н., доцент кафедры ультразвуковой диагностики Института профессионального образования ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России

Целкович Людмила Савельевна, д. м. н., профессор кафедры ультразвуковой диагностики Института профессионального образования ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России

Оганисян Анна Тиграновна, врач ультразвуковой диагностики ФБГОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; <https://orcid.org/0000-0002-5495-4315>

Резюме

Актуальность. Яичниковые гетеротопии достаточно удачно диагностируются с помощью ультразвуковых исследований (УЗИ). Учитывая высокий риск распространения заболевания, а также репродуктивные последствия (бесплодие, развитие спаечного процесса в малом тазу, синдром хронической тазовой боли, дисменорея), ранняя дифференциальная диагностика эндометриоидных кист и, соответственно, раннее начало лечения приобретают особую значимость.

Цель: объединить ультразвуковые критерии с использованием 3D-визуализации и содержание биомаркеров для верификации эндометриоидных кист яичника I–II стадий.

Материал и методы. У 59 бесплодных женщин с эндометриоидными кистами яичников в динамике менструального цикла выполнены УЗИ на аппаратах Acuson S2000 (Siemens, Германия) и Voluson E8 (General Electric, США) с возможностью проведения доплерометрии и трехмерной реконструкции изображения тканей. Также в лабораториях «Инвитро», «Гемотест», «Наука» (г. Самара, Россия) определяли биомаркеры: интерлейкины (interleukin) IL-1 β , IL-6, раковый антиген 125 (cancer antigen 125, CA-125), секреторный белок 4 эпидидимиса человека (human epididymis protein 4, HE4) и индекс риска рака яичников (Risk of Ovarian Malignancy Algorithm, ROMA). В группу контроля вошли 195 фертильных женщин репродуктивного возраста. У пациенток с эндометриоидными кистами диагноз впоследствии был подтвержден морфологически.

Результаты. Небольшие одно- и двусторонние кисты яичников, соответствующие I–II стадиям эндометриоза по обновленной классификации Американского общества по борьбе с бесплодием (revised American Fertility Society classification, rAFS), были четко дифференцированы у 56 (94,9%) пациенток, у 3 (5,4%) из них результат УЗИ был сомнителен. В 48 (81,4%) наблюдениях поражение было односторонним, в 11 (18,6%) – двусторонним. Структура кистозных образований во всех случаях была гипоехогенной, неоднородной, в 36 (61,0%) случаях – мелкокачественной, без кровотока.

Заключение. Эндометриомы яичников в «серой шкале» представляют собой округлые образования пониженной эхогенности с мелкодисперсной взвесью, ровным четким контуром, не спаянные с окружающими

тканями, аваскулярные, меняющие размер в зависимости от фазы менструального цикла. Яичниковое образование может иметь капсулу с локусными сигналами при доплерометрии. Чувствительность УЗИ в «серой шкале» при наличии эндометриоидной кисты составляет 94,6%.

Ключевые слова: эндометриоидная киста яичников; ультразвуковое исследование; 3D-визуализация; биомаркеры; интерлейкины.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Блажнова Е.М., Балтер Р.Б., Иванова Т.В., Пугачева Т.А., Ибрагимова А.Р., Целкович Л.С., Оганесян А.Т. Перспективы применения 3D-моделирования и биомаркеров в дифференциальной диагностике эндометриоидных кист яичников. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(1): 6–12. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-6-12>

Для корреспонденции: Блажнова Елена Михайловна, E-mail: vyazemskyaleksey@yandex.ru

Статья поступила 03.02.2024

После доработки 05.02.2024

Принята к печати 06.02.2024

Prospects for Using 3D Modeling and Biomarkers in Differential Diagnosis of Endometrioid Ovarian Cysts

Elena M. Blazhnova^{1, 2}, Regina B. Balter¹, Tatiana V. Ivanova¹, Tatiana A. Pugacheva¹, Alina R. Ibragimova¹, Lyudmila S. Tselkovich¹, Anna T. Oganisyan¹

¹ Samara State Medical University,
ul. Chapaevskaya, 99, Samara, 443099, Russian Federation

² Russian Railways-Medicine LLC,
ul. Agibalova, 12, Samara 443041, Russian Federation

Elena M. Blazhnova, Applicant, Chair of Ultrasound Diagnostics, Institute of Professional Education, Samara State Medical University; Ultrasound Diagnostician, Russian Railways-Medicine LLC

Regina B. Balter, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Ultrasound Diagnostics, Institute of Professional Education, Samara State Medical University;
<http://orcid.org/0000-0001-6724-0066>

Tatiana V. Ivanova, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Ultrasound Diagnostics, Institute of Professional Education, Samara State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0002-6153-7456>

Tatiana A. Pugacheva, Cand. Med. Sc., Ultrasound Diagnostician, Samara State Medical University

Alina R. Ibragimova, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Ultrasound Diagnostics, Institute of Professional Education, Samara State Medical University

Lyudmila S. Tselkovich, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Ultrasound Diagnostics, Institute of Professional Education, Samara State Medical University

Anna T. Oganisyan, Ultrasound Diagnostician, Samara State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0002-4492-3480>

Abstract

Background. Ovarian heterotopias are quite successfully diagnosed with ultrasound examinations. Considering the high risk of spread of the disease, as well as reproductive consequences (infertility, pelvic adhesive processes, chronic pelvic pain syndrome, dysmenorrhea), early differential diagnosis of endometrioid cysts and, accordingly, early initiation of treatment are of particular importance.

Objective: to combine ultrasound criteria using 3D visualization and the content of biomarkers to verify stage 1–2 endometrioid ovarian cysts.

Material and methods. In 59 infertile women with endometrioid ovarian cysts, in the dynamics of the menstrual cycle, ultrasound examinations were performed using Acuson S2000 (Siemens, Germany) and Voluson E8 (General Electric, USA) with the possibility of Doppler measurements and three-dimensional reconstruction of tissue images. Also, in laboratories “Invitro”, “Hemotest”, “Nauka” (Samara, Russia) the biomarkers were determined: interleukins IL-1 β , IL-6, cancer antigen 125 (CA-125), human epididymis protein 4 (HE4) and the index by Risk of Ovarian Malignancy Algorithm (ROMA). The control group included 195 fertile women of reproductive age. In patients with endometrioid cysts, the diagnosis was subsequently confirmed morphologically.

Results. Small unilateral and bilateral ovarian cysts corresponding to stage 1–2 endometriosis by revised American Fertility Society classification (rAFS) were clearly differentiated in 56 (94.9%) patients, in 3 (5.4%) of them the ultrasound result was questionable. In 48 (81.4%) women the lesion was unilateral and

in 11 (18.6%) it was bilateral. The structure of cystic formations in all cases was hypoechoic, heterogeneous, in 36 (61.0%) cases it was finely cellular, without blood flow.

Conclusion. Ovarian endometriomas in "gray scale" are round formations of reduced echogenicity and fine suspension, with an even, clear contour, not fused with the surrounding tissues, avascular, changing size depending on menstrual cycle phase. An ovarian mass may have a capsule with locus signals on Doppler. The sensitivity of ultrasound examination in "gray scale" in the presence of an endometrioid cyst is 94.6%.

Keywords: endometrioid ovarian cyst; ultrasound examination; 3D visualization; biomarkers; interleukins.

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

For citation: Blazhnova EM, Balter RB, Ivanova TV, Pugacheva TA, Ibragimova AR, Tselkovich LS, Oganisyan AT. Prospects for using 3D modeling and biomarkers in differential diagnosis of endometrioid ovarian cysts. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(1): 6–12 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-6-12>

For corresponding: Elena M. Blazhnova, E-mail: vyazemskyaleksey@yandex.ru

Received February 3, 2024

Revised February 5, 2024

Accepted February 6, 2024

Введение / Introduction

Эндометриоз считается одним из наиболее распространенных патологий женской репродуктивной системы [1, 2]. Особое место в структуре эндометриозных локализаций занимают кисты яичников. Яичниковые гетеротопии достаточно удачно диагностируются сонографическими исследованиями. В то же время кисты малых размеров (1–15 баллов по обновленной классификации Американского общества по борьбе с бесплодием (revised American Fertility Society classification, rAFS)) сложно дифференцировать от других новообразований яичников, что нередко приводит к отсрочке назначения лечения [3–5].

Учитывая высокий риск распространения заболевания, а также репродуктивные последствия (бесплодие, развитие спаечного процесса в малом тазу, синдром хронической тазовой боли, дисменорея), ранняя дифференциальная диагностика эндометриозных кист и, соответственно, раннее начало лечения приобретают особую значимость [6, 7]. Современные средства диагностики постоянно совершенствуются, появившиеся возможности 3D-визуализации органов репродуктивной системы позволяют неинвазивно верифицировать патологию на начальном этапе развития [8]. Вспомогательным методом, подтверждающим правильность диагностики эндометриозной кисты, могут служить измерения биомаркеров, часть которых (например, СА-125) традиционно используется в онкологии [9, 10]. Учитывая вышеизложенное, актуален поиск оптимальных критериев неинвазивной диагностики эндометриозных кист.

Цель – объединить ультразвуковые критерии с использованием 3D-визуализации и содержание биомаркеров для верификации эндометриозных кист яичника I–II стадий.

Материал и методы / Material and methods

У 59 бесплодных женщин с эндометриозными кистами яичников в динамике менструального цикла выполнены ультразвуковые исследования

(УЗИ) на аппаратах Acuson S2000 (Siemens, Германия) и Voluson E8 (General Electric, США) с возможностью проведения доплерометрии и трехмерной реконструкции изображения тканей. Также в лабораториях «Инвитро», «Гемотест», «Наука» (г. Самара, Россия) определяли биомаркеры: интерлейкины (interleukin) IL-1 β , IL-6, раковый антиген 125 (cancer antigen 125, CA-125), секреторный белок 4 эпидидимиса человека (human epididymis protein 4, HE4) и индекс риска рака яичников (Risk of Ovarian Malignancy Algorithm, ROMA). В группу контроля вошли 195 фертильных женщин репродуктивного возраста. У пациенток с эндометриозными кистами диагноз впоследствии был подтвержден морфологически.

Для статистической обработки результатов использовали приложение Statistica 12.6 в системе Windows 7 (Microsoft, США). Полученные показатели описывали с использованием среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Значимость статистических различий определяли с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок, а также критерия согласия χ^2 Пирсона (критический уровень значимости различий $p < 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для анализа возможностей дифференциальной диагностики эндометриом помимо оценки размера яичника и опухолевого образования проводили оценку в «серой шкале», исследование доплерометрических показателей и 3D-визуализацию.

Небольшие одно- и двусторонние кисты яичников, соответствующие I–II стадиям эндометриоза по rAFS, были четко дифференцированы у 56 (94,9%) пациенток, у 3 (5,4%) из них результат УЗИ был сомнителен. В 48 (81,4%) наблюдениях поражение было односторонним, в 11 (18,6%) – двусторонним. Структура кистозных образований во всех случаях была гипоехогенной, неоднородной, в 36 (61,0%) случаях – мелкокачистой, без

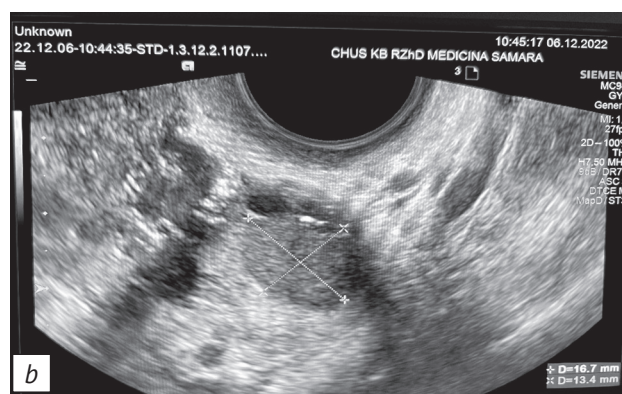
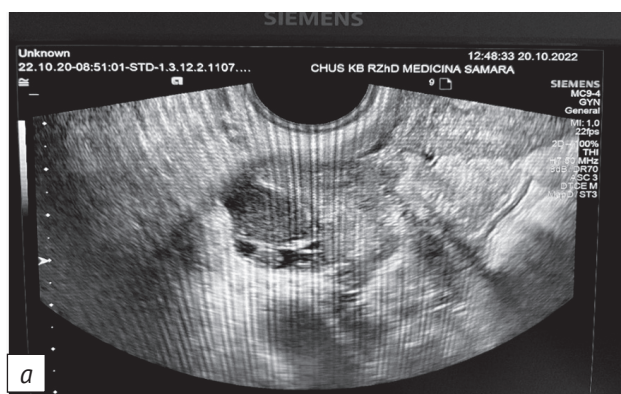
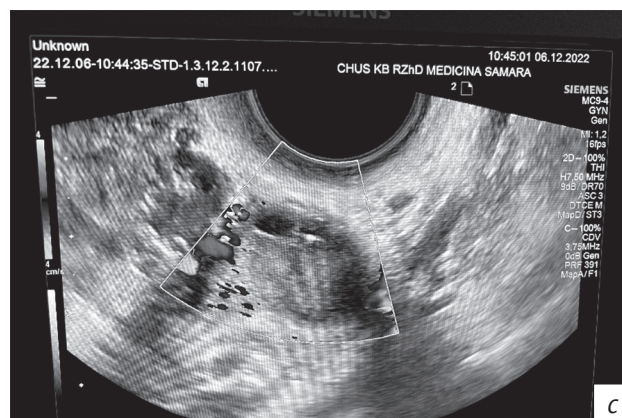


Рис. 1. Пациентка А., 28 лет, длительность бесплодия 3 года (трансвагинальное исследование, «серая шкала»):

a – объемное образование в структуре правого яичника, при исследовании болезненное, пониженной эхогенности, с мелкодисперсной взвесью, имеется капсула; *b* – объемное образование в области правого яичника размерами 16×13 мм, внутренняя структура представлена характерной несмещающейся взвесью; *c* – объемное образование в области правого яичника при цветовом доплеровском картировании аваскулярно

Fig. 1. Patient A., 28 years old, 3-year infertility (transvaginal examination, “gray scale”):

a – volumetric mass in right ovarian structure, painful during the study, reduced echogenicity, with a fine suspension, there is a capsule; *b* – a volumetric mass in right ovarian area, 16×13 mm in size, the internal structure is represented by a characteristic non-displaced suspension; *c* – volumetric mass in right ovarian area during color Doppler mapping is avascular



кровотока. У 17 (28,8%) пациенток в капсуле регистрировался локусный кровоток (рис. 1).

Диагноз «эндометриома яичника» устанавливался на основании наличия образования, существующего в динамике менструального цикла, капсулы с пристеночными образованиями и характерного эхосигнала содержимого – неоднородной взвеси или картины матового стекла. У 52 (88,1%) женщин отмечалась болезненность при давлении ультразвуковым датчиком.

Отметим, что размеры кистозных образований колебались от 15×12×21 до 22×25×30 мм, объем – от 3,7 до 16,5 см³.

У части женщин с эндометриомами во время УЗИ регистрировался кровоток в виде единичных локусов в капсуле (рис. 2).

Для подтверждения УЗИ-заключения и дифференциальной диагностики с другими новообразованиями проведено определение биомаркеров в динамике менструального цикла (см. табл.).

Отметим, что как в начале менструального цикла, так и на 21–23-й дни цикла содержание биомаркеров в основной группе было статистически значимо выше, чем в контрольной. На 3–5-й дни цикла содержание CA-125 у пациенток с эндометриомами

составило 58,9±2,2 Ед/мл, на 21–23-й день цикла – 55,1±1,9 Ед/мл.

Средний уровень IL-6 в основной группе составил 14,8±1,2 пг/мл, в то время как в группе контроля – только 6,6±0,6 пг/мл ($p < 0,001$). Еще более существенная разница была получена в сравнении IL-1β: в основной группе на 3–5-й дни цикла его содержание было 16,5±1,4 пг/мл, в группе контроля – 4,7±0,8 пг/мл ($p < 0,001$).

Анализируя динамику изменения биомаркеров ко второй фазе менструального цикла, мы отметили снижение уровней интерлейкинов в обеих группах практически в 2 раза, при том что значимых изменений CA-125 и HE4 не регистрировалось. Несмотря на уменьшение содержания интерлейкинов к 21–23-му дням менструального цикла, в основной группе их показатели были статистически значимо выше, чем в контроле. Уровень IL-6 в основной группе составил 8,7±0,8 пг/мл, в то время как в группе контроля – только 2,1±0,7 пг/мл ($p < 0,001$), а IL-1β – 7,3±0,9 и 2,8±0,4 пг/мл соответственно ($p < 0,001$).

Отметим, что критически значимого повышения CA-125 и HE4 ни у одной женщины с эндометриозом не наблюдалось. На наш взгляд,

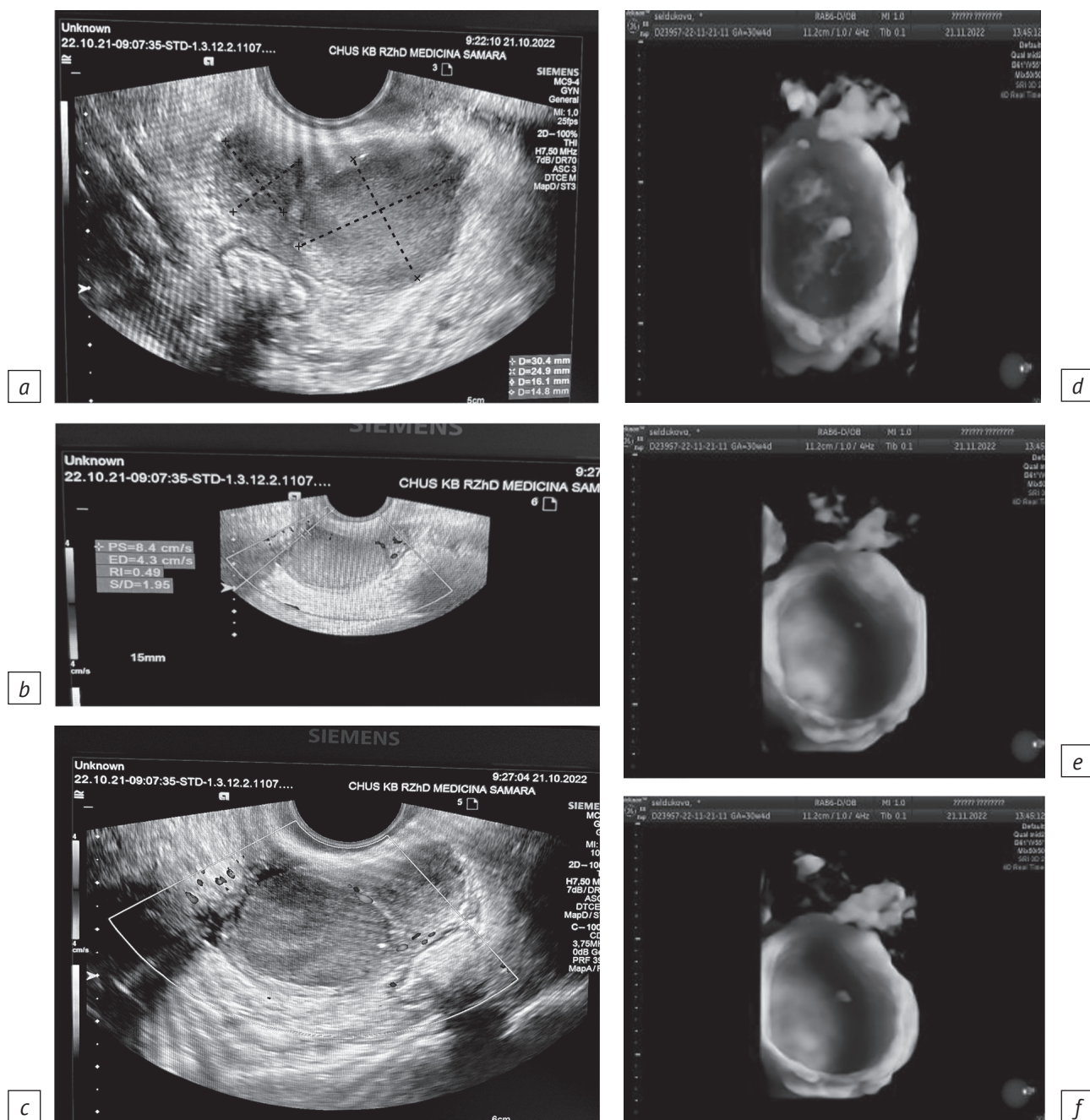


Рис. 2. Пациентка Ю., 31 год, длительность бесплодия 4 года (трансвагинальное исследование, «серая шкала»):

a – две эндометриоидные кисты правого яичника размерами 30×24 и 16×14 мм; *b* – две эндометриоидные кисты правого яичника (доплерометрия); *c* – при проведении цветового доплеровского картирования регистрируется кровоток в виде единичных локусов по капсуле образований (пиковая систолическая скорость 8,4 см/с, индекс резистентности 0,49); *d-f* – на 3D-реконструкции отчетливо видны стенки капсулы и ее содержимое

Fig. 2. Patient Yu., 31 years old, 4-year infertility (transvaginal examination, "gray scale"):

a – two right ovarian endometrioid cysts 30×24 and 16×14 mm in size; *b* – two right ovarian endometrioid cysts (dopplerometry); *c* – during color Doppler mapping, blood flow is recorded in the form of single loci along the capsule of formations (peak systolic velocity is 8.4 cm/s, resistance index is 0.49); *d-f* – the capsule walls and contents are clearly visible in 3D reconstruction

указанные параметры лучше рассматривать не как диагностические критерии эндометриоза, а как показатели отсутствия процессов малигнизации эндометриоидного очага. Что же каса-

ется эндометриоза, то в диагностическом плане более информативно определение противовоспалительных интерлейкинов, в частности IL-1 β и IL-6.

Среднее содержание биохимических маркеров у женщин сравниваемых групп
The average content of biochemical markers in women of the compared groups

Биомаркер / Biomarker	Группа / Group		p
	Эндометриомы яичника / Ovarian endometriosis (n=59)	Контрольная / Control (n=195)	
3–5-й дни цикла / Cycle days 3–5			
IL-6, пг/мл // IL-6, pg/ml	14,8±1,2	6,6±0,6	<0,001
IL-1β, пг/мл // IL-1β, pg/ml	16,5±1,4	4,7±0,8	<0,001
CA-125, Ед/мл / CA-125, units/ml	58,9±2,2	5,1±0,4	<0,001
HE4, пмоль/л // HE4, pmol/l	21,9±1,5	20,1±2,8	0,570
ROMA,%	1,21±0,9	0,85±0,2	0,690
21–23-й дни цикла / Cycle days21–23			
IL-6, пг/мл // IL-6, pg/ml	8,7±0,8	2,1±0,7	<0,001
IL-1β, пг/мл // IL-1β, pg/ml	7,3±0,9	2,8±0,4	<0,001
CA-125, Ед/мл / CA-125, units/ml	55,1±1,9	4,8±0,7	<0,001
HE4, пмоль/л // HE4, pmol/l	22,3±1,2	18,4±1,5	0,040
ROMA, %	1,26±0,3	0,69±0,3	0,180

Примечание. IL (interleukin) – интерлейкин; CA-125 (cancer antigen 125) – раковый антиген 125; HE4 (human epididymis protein 4) – секреторный белок 4 эпидидимиса человека; ROMA (Risk of Ovarian Malignancy Algorithm) – алгоритм расчета риска рака яичников.

Note. IL – interleukin; CA-125 – cancer antigen 125; HE4 – human epididymis protein 4; ROMA – Risk of Ovarian Malignancy Algorithm.

Заключение / Conclusion

Эндометриозы яичников в «серой шкале» представляют собой округлые образования пониженной эхогенности, с мелкодисперсной взвесью, не спаянные с окружающими тканями, аваскулярные, меняющие размер в зависимости от фазы менструального цикла. Яичниковое образование может иметь капсулу с локусными сигналами при доплерометрии. Чувствительность УЗИ в «серой шкале» при наличии эндометриозной кисты составляет 94,6%.

Выбор биомаркеров при наличии малых форм эндометриоза основан на их биологических свойствах: IL-1β и IL-6 стимулируют иммунный воспалительный ответ, а CA-125 и HE4 необходимы для проведения дифференциальной диагностики малигнизации выявленных опухолей яичников. Исследование биомаркеров целесообразно проводить на 3–5-й и 21–23-й дни менструального цикла, что связано с физиологией репродуктивной системы и патогенезом эндометриоза.

Литература

- Сельков С.А., Ярмолинская М.И. Эндометриоз как патология регуляторных механизмов. Журнал акушерства и женских болезней. 2017; 66(2): 9–13.
<https://doi.org/10.17816/JOWD6629-13>.
- Zondervan KT, Becker CM, Missmer SA. Endometriosis. N Engl J Med. 2020; 382(13): 1244–56.
<https://doi.org/10.1056/NEJMra1810764>.
- Буланов М.Н., Сорокина Ю.В., Буланова М.М., Горта Р.Н. Ультразвуковая диагностика пограничных опухолей яичников: обзор литературы и собственные данные. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2020; 3: 40–64.
<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-3-40-64>.
- Русина Е.И., Ярмолинская М.И., Иванова А.О. Современные подходы при лучевой диагностике эндометриоза. Журнал акушерства и женских болезней. 2020; 69(2): 59–72.
<https://doi.org/10.17816/JOWD69259-72>.
- Taylor HS, Kotlyar AM, Flores VA. Endometriosis is a chronic systemic disease: clinical challenges and novel innovations. Lancet. 2021; 397(10276): 839–52.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00389-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00389-5).
- Адамян Л.В., Гарданова Ж.Р., Яроцкая Е.Л. и др. Особенности болевого синдрома, психоэмоционального состояния и качества жизни женщин с наружным генитальным эндометриозом. Проблемы репродукции. 2016; 22(3): 77–83.
<https://doi.org/10.17116/repro201622377-83>.

7. Бугеренко К.А., Ларин К.В., Щербакова Л.Н. и др. Причины снижения овариального резерва при эндометриозных кистах яичников. Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. 2018; 17(4): 25–30.
<https://doi.org/10.20953/1726-1678-2018-4-25-30>.
8. Озерская И.А. Эхография в гинекологии. М.: Видар-М; 2020: 704 с.
9. Межлумова Н.А., Бобров М.Ю., Адамян Л.В. Биомаркеры эндометриоза: проблемы и возможности ранней диагностики рецидивов заболевания (обзор литературы). Проблемы репродукции. 2018; 24(6): 139–48.
<https://doi.org/10.17116/repro201824061139>.
10. Муфтайдинова Ш.К., Буралкина Н.А., Файзуллин Л.З. Эндометриоз и рак. Акушерство и гинекология. 2021; 3: 12–7.
<https://doi.org/10.18565/aig.2021.3.12-17>.

References

1. Selkov SA, Yarmolinskaya MI. Endometriosis as a pathology of regulatory mechanisms. Journal of Obstetrics and Women's Diseases. 2017; 66(2): 9–13 (in Russ).
<https://doi.org/10.17816/JOWD6629-13>.
2. Zondervan KT, Becker CM, Missmer SA. Endometriosis. N Engl J Med. 2020; 382(13): 1244–56.
<https://doi.org/10.1056/NEJMra1810764>.
3. Bulanov MN, Sorokina YuV, Bulanova MM, Gorta RN. Ultrasound findings in patients with borderline ovarian tumors: literature review and own research data. Ultrasound & Functional Diagnostics. 2020; 3: 40–64 (in Russ).
<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-3-40-64>.
4. Rusina EI, Yarmolinskaya MI, Ivanova AO. Modern methods for radiological diagnosis of endometriosis. Journal of Obstetrics and Women's Diseases. 2020; 69(2): 59–72 (in Russ).
<https://doi.org/10.17816/JOWD69259-72>.
5. Taylor HS, Kotlyar AM, Flores VA. Endometriosis is a chronic systemic disease: clinical challenges and novel innovations. Lancet. 2021; 397(10276): 839–52.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00389-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00389-5).
6. Adamyan LV, Gardanova ZhR, Iarotskaia EL, et al. The characteristics of pain syndrome and the women's psycho-emotional status as well as life quality in women with external genital endometriosis. Russian Journal of Human Reproduction. 2016; 22(3): 77–83 (in Russ).
<https://doi.org/10.17116/repro201622377-83>.
7. Bугеренко КА, Ларин КВ, Щербакова ЛН, et al. Causes of ovarian reserve reduction in endometrioid ovarian cysts. Gynecology, Obstetrics and Perinatology. 2018; 17(4): 25–30 (in Russ). <https://doi.org/10.20953/1726-1678-2018-4-25-30>.
8. Ozerskaya IA. Echography in gynecology. Moscow: Vidar-M; 2020: 704 pp (in Russ).
9. Mezhlumova NA, Bobrov MYu, Adamyan LV. Biomarkers of endometriosis: problems and possibilities of early detection of disease recurrence (a review). Russian Journal of Human Reproduction. 2018; 24(6): 139–48 (in Russ).
<https://doi.org/10.17116/repro201824061139>.
10. Muftaydinova ShK, Buralkina NA, Faizullin LZ. Endometriosis and cancer. Akusherstvo i Ginekologiya / Obstetrics and Gynecology. 2021; 3: 12–7 (in Russ).
<https://doi.org/10.18565/aig.2021.3.12-17>.



Гамартома легкого: моноцентровый аналитический обзор 142 случаев

Гаврилов П.В., Суворова С.С., Смольникова У.А., Ушков А.Д.

ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, Лиговский пр-т, 2-4, Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Гаврилов Павел Владимирович, к. м. н., вед. науч. сотр., врач-рентгенолог ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0003-3251-4084>

Суворова Светлана Станиславовна, ординатор ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0009-0006-3220-9716>

Смольникова Ульяна Алексеевна, к. м. н., науч. сотр. ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0001-9568-3577>

Ушков Алексей Дмитриевич, врач-рентгенолог ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-9405-8048>

Резюме

Актуальность. Среди одиночных образований в легких, не требующих активного хирургического лечения, особое место занимает гамартома: неоднородность структуры за счет включений жировой плотности и кальцинатов представляет возможность для выделения патогномоничных скиалогических признаков. Однако их отсутствие в совокупности с компьютерно-томографической (КТ) картиной, присущей в том числе и злокачественным новообразованиям, может стать причиной проведения биопсий и оперативных вмешательств, необязательных по результатам гистологического исследования.

Цель: провести когортный ретроспективный анализ КТ-семиотики легочных гамартом.

Материал и методы. Выполнен анализ 142 случаев гамартом легкого, выявленных на базе ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России за период с 2013 по 2023 гг., подтвержденных гистологически или с периодом наблюдения более 600 дней, без эндобронхиального расположения и других очагов/образований в легких, без оценки контрастного усиления.

Результаты. Описаны результаты статистического анализа данных пациентов с гамартомой легкого с распределением по полу и возрасту. Установлена частота встречаемости таких скиалогических признаков гамартом, как тип образования, особенности контура, изменения в окружающей легочной ткани, наибольший диаметр, плотность, тип кальцинации, с примерами на КТ-снимках. Рассмотрены локализации гамартом относительно легкого, его долей и сегментов. Выделены и проиллюстрированы четыре кластера гамартом в зависимости от сочетания макроскопического жира и участков обызвествления в структуре. Также представлено распределение гамартом из каждого кластера по размеру в заданных диапазонах.

Заключение. Гамартмы легких представляют собой образования солидного типа без предпочтительной локализации по сегментам легких, которые могут быть выявлены в любом возрасте. В значительной доле случаев (43,7%) гамартмы не имели каких-либо структурных особенностей, позволяющих по данным КТ убедительно их классифицировать как доброкачественные образования и избежать хирургической резекции. Только в 12% случаев наблюдались структурные изменения, считающиеся высокопатогномичными для их классификации как доброкачественных образований.

Ключевые слова: компьютерная томография; гамартома легкого; одиночное образование легкого; жиросодержащее образование легкого.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гаврилов П.В., Суворова С.С., Смольникова У.А., Ушков А.Д. Гамартома легкого: моноцентровый аналитический обзор 142 случаев. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(1): 13–9. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-13-19>

Для корреспонденции: Гаврилов Павел Владимирович, E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Статья поступила 03.02.2024

После доработки 06.02.2024

Принята к печати 07.02.2024

Pulmonary Hamartoma: a Single-Center Analysis of 142 Cases

Pavel V. Gavrilov, Svetlana S. Suvorova, Uliana A. Smolnikova, Alexey D. Ushkov

*Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology,
Ligovsky prospekt, 2-4, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation*

Pavel V. Gavrilov, Cand. Med. Sc., Leading Researcher, Radiologist, Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology;
<http://orcid.org/0000-0003-3251-4084>

Svetlana S. Suvorova, Resident Physician, Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology;
<http://orcid.org/0009-0006-3220-9716>

Uliana A. Smolnikova, Cand. Med. Sc., Researcher, Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology;
<http://orcid.org/0000-0001-9568-3577>

Alexey D. Ushkov, Radiologist, Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology;
<http://orcid.org/0000-0002-9405-8048>

Abstract

Background. Gamartoma occupies a special place among solitary lung masses not requiring active surgical tactics: structural heterogeneity due to inclusions of fat density and calcinates presents an opportunity to identify pathognomonic computed tomographic (CT) signs. However, their absence in conjunction with CT picture inherent in malignant neoplasms can cause biopsies and surgical interventions that are not necessary according to the results of histologic examination.

Objective: to perform a cohort retrospective analysis of pulmonary hamartoma CT semiotics.

Material and methods. We analyzed 142 cases of lung hamartomas detected at the Saint Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology from 2013 to 2023, confirmed histologically or with a follow-up period of more than 600 days, without endobronchial location and other foci/formations in the lungs, without contrast enhancement evaluation.

Results. The results of data statistical analysis of patients with pulmonary hamartoma with distribution by gender and age were described. The occurrence rate was established for such hamartoma CT features as mass type, contour features, changes in the surrounding lung tissue, the largest diameter, density, calcination type with examples on CT images. Localizations of hamartomas in relation to the lung, its lobes and segments were considered. Four hamartoma clusters depending on fat and calcination combination in the structure were identified and illustrated. The size distribution of hamartomas from each cluster within the given ranges was also presented.

Conclusion. Lung hamartomas are solid-type masses without preferential localization in lung segments, with the possibility of detection at any age. In a significant proportion of cases (43.7%) hamartomas did not have any structural features, which allow, according to CT data, to convincingly classify them as benign masses and avoid surgical resection. Only in 12% of cases hamartomas had structural changes considered highly pathognomonic for their classification as benign masses.

Keywords: computed tomography; pulmonary hamartoma; solitary pulmonary nodule; fat containing pulmonary nodule.

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

For citation: Gavrilov PV, Suvorova SS, Smolnikova UA, Ushkov AD. Pulmonary hamartoma: a single-center analysis of 142 cases. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(1): 13–9 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-13-19>

For corresponding: Pavel V. Gavrilov, E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Received February 3, 2024

Revised February 6, 2024

Accepted February 7, 2024

Введение / Introduction

Легочная гамартома представляет собой медленно растущее доброкачественное новообразование, состоящее из мезенхимальных компонентов (соединительная ткань, хрящ, жир или гладкомышечная ткань) и респираторного эпителия [1]. Это наиболее распространенный вид доброкачественной опухоли легкого, который составляет пример-

но 6–8% первичных новообразований легких и 75% всех доброкачественных поражений легких [2].

Согласно разным источникам, манифестация гамартоты легкого в среднем приходится на возрастной диапазон 50–60 лет, при этом распределение пациентов по полу различно [3–5].

Ограниченное число гистологических комбинаций определяет скиалогическую картину гамар-

томы исходя из компьютерно-томографической (КТ) плотности представленных тканей в структуре [6]. Так, комбинация из участков жировой плотности и кальциевых отложений по типу «попкорн» является патогномоничной для гамартомы [7].

В зависимости от варианта презентации гамартомы можно выделить дифференциальный диагностический ряд, в котором количество патологий и частота их встречаемости влияют на степень вероятности диагноза [8]. В частности, при отсутствии в структуре гамартомы жировых включений и кальцинатов в диагностический поиск включается и злокачественный процесс [9].

Несколько крупных исследований не обнаружили никаких доказательств злокачественной трансформации гамартом [10, 11]. Эти данные ставят под сомнение выполнение резекционно-го вмешательства как единственно верной тактики при выявлении гамартомы легкого. По результатам метаанализа Н. Elsayed et al. сделали вывод, что при надежной верификации гамартомы наблюдение является более предпочтительной тактикой, чем хирургическая резекция. Остается вопрос, достаточно ли выявления патогномоничной картины при КТ или нужна миниинвазивная биопсия [10].

Наибольшие трудности представляет дифференциальная диагностика гамартом и карциноидов легких. При рассмотрении морфологических особенностей КТ следует учитывать, что гамартомы могут имитировать карциноиды, особенно если нет ни макроскопического жира, ни кальцинатов в структуре, что приводит к ненужным операциям и потенциальным осложнениям. И наоборот, карциноиды могут также содержать кальцинаты в различных пропорциях. Дифференциация карциноидов и гамартом имеет клиническое значение, поскольку локализованные формы карциноидов требуют хирургической резекции, тогда как при гамартоме она не нужна [12]. В связи с этим остается актуальной проблема надежной классификации патологических образований легких, имеющих признаки гамартомы.

Цель – провести когортный ретроспективный анализ КТ-семиотики легочных гамартом.

Материал и методы / Material and methods

На базе ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России проведен ретроспективный клинко-рентгенологический анализ данных пациентов с диагнозом «гамартома легкого», поставленным при проведении КТ-исследования в период с 2013 по 2023 гг.

Критериями включения в исследование стали гистологическая верификация гамартомы или период наблюдения пациента с легочной гамарто-

мой более 600 дней. Эндобронхиальная гамартома и сочетание гамартомы с другими очагами/образованиями в легких были исключены в ходе отбора когорты.

КТ-исследования с контрастным усилением не были включены в исследование, в связи с чем накопление гамартомой контрастного препарата не оценивалось.

Результаты / Results

Медиана возраста пациентов с впервые выявленной гамартомой легкого составила 57 лет (диапазон 15–82 года). В когорте преобладали женщины – 91 (64,1%), мужчин было 51 (35,9%). В 4 (2,8%) случаях гамартома была диагностирована у детей, остальные 138 (97,2%) пациентов являлись взрослыми.

Все 142 случая гамартомы легкого были представлены образованием солидного типа, преимущественно с четким ($n = 136$; 95,8%) и волнистым ($n = 83$; 58,5%) контуром. В окружающей легочной ткани редко наблюдались изменения ($n = 9$; 6,3%), из них помимо паренхиматозных тяжей у 1 пациента был выявлен сегментарный ателектаз.

Наибольший диаметр гамартомы, измеренный на аксиальных срезах, варьировал от 6 до 57 мм, средний размер составил 14,3 мм. В таблице 1 представлены гамартомы в зависимости от размера в заданных диапазонах.

Таблица 1

Распределение гамартом легкого по размерам ($n = 142$)

Table 1

Distribution of lung hamartomas by size ($n = 142$)

Наибольший диаметр, мм / The largest diameter, mm	Количество, n (%) / Number, %
<10	25 (17,6)
10–19	94 (66,2)
20–29	19 (13,4)
>30	4 (2,8)

Практически в равной степени гамартома наблюдалась в правом ($n = 77$; 54,2%) и левом ($n = 65$; 45,8%) легких, аналогичное распределение отмечалось в отношении верхних ($n = 64$; 45,1%) и нижних ($n = 66$; 46,5%) долей легких, реже гамартома встречалась в средней доле ($n = 12$; 8,5%). Данные по локализации в сегментах легких приведены в таблице 2.

Плотность гамартомы в среднем принимала значение +16,4 HU (диапазон от –66 до +396 HU). В ходе кластерного анализа гамартом по наличию жировых включений и участков обызвествления методом k -средних было выделено четыре

Таблица 2

Распределение гамартом легкого по локализации (n = 142), n (%)

Table 2

Distribution of lung hamartomas by localization (n = 142), n (%)

Легкое / Lung	Сегмент / Segment										Всего / Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Правое / Right	10 (13,0)	11 (14,2)	9 (11,7)	3 (3,9)	9 (11,7)	13 (16,9)	1 (1,3)	9 (11,7)	5 (6,5)	7 (9,1)	77 (100,0)
Левое / Left	20 (30,7)		5 (7,7)	7 (10,7)	2 (3,1)	12 (18,5)	–	8 (12,3)	4 (6,2)	7 (10,8)	65 (100,0)

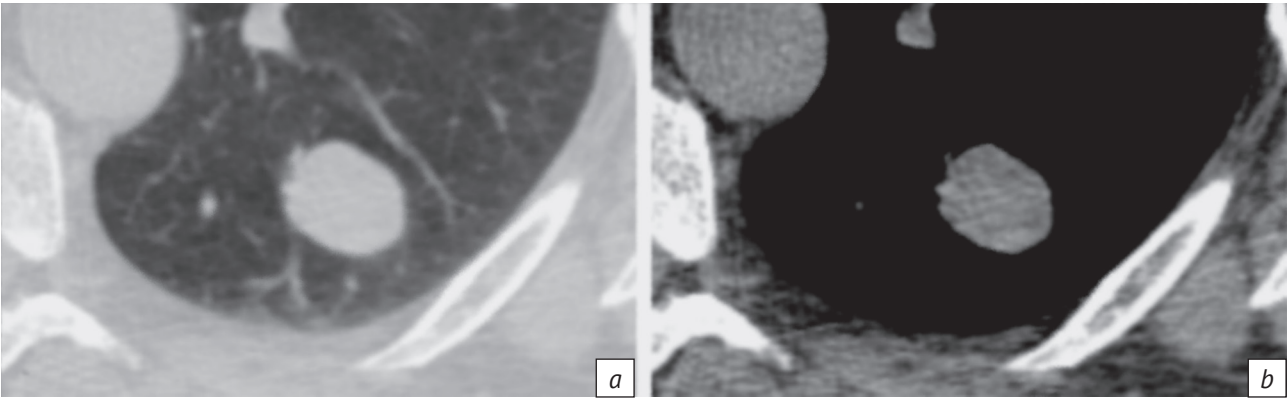


Рис. 1. КТ легких в аксиальной плоскости. Кластер 1 – гамартомы без жировых включений и кальцинации: *a* – легочное окно; *b* – мягкотканное окно

Fig. 1. Lung CT scan, axial plane. Cluster 1 – hamartomas without fatty inclusions and calcination: *a* – pulmonary window; *b* – soft tissue window

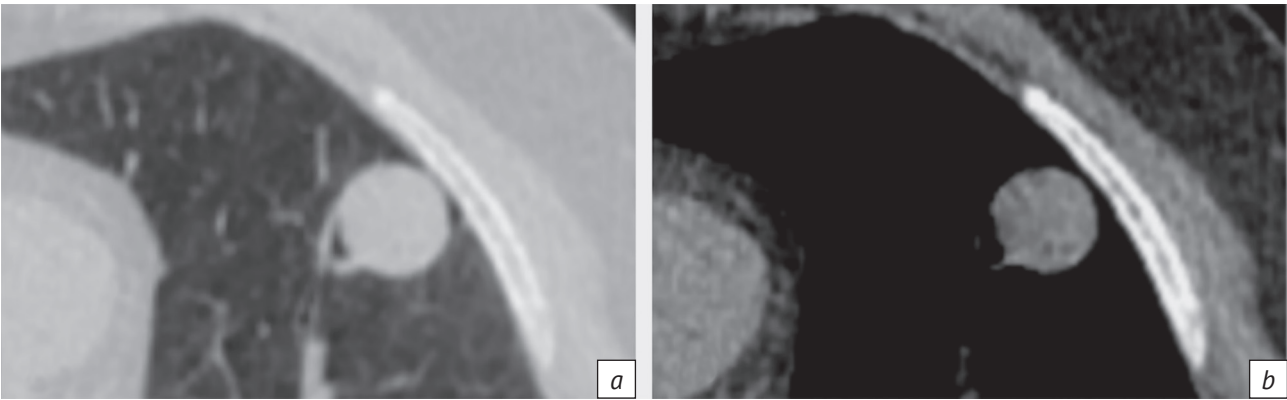


Рис. 2. КТ легких в аксиальной плоскости. Кластер 2 – гамартомы с жировыми включениями без участков обызвествления: *a* – легочное окно; *b* – мягкотканное окно

Fig. 2. Lung CT scan, axial plane. Cluster 2 – hamartomas with fatty inclusions without calcination sites: *a* – pulmonary window; *b* – soft tissue window

кластера (рис. 1–4), из которых наиболее многочисленными стали гамартомы без макроскопического жира плотностью менее –40 НУ и кальцинации (табл. 3).

Распределение наибольшего диаметра гамартом в каждом кластере практически не отличалось от общего в когорте – наибольшее количество гамартом было размерами от 10 до 19 мм (табл. 4).

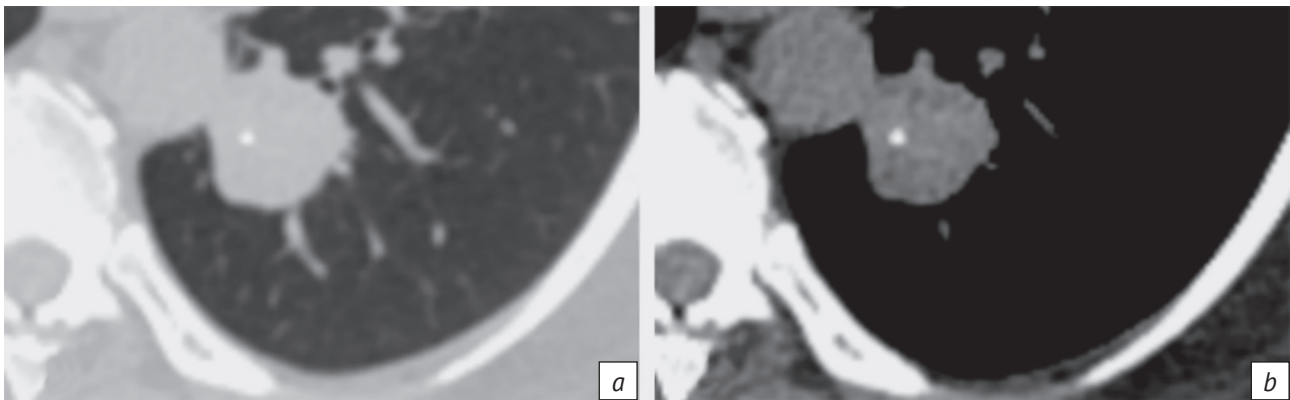


Рис. 3. КТ легких в аксиальной плоскости. Кластер 3 – гамартомы с жировыми включениями и кальцинацией: *a* – легочное окно; *b* – мягкотканное окно

Fig. 3. Lung CT scan, axial plane. Cluster 3 – hamartomas with fatty inclusions and calcination: *a* – pulmonary window; *b* – soft tissue window

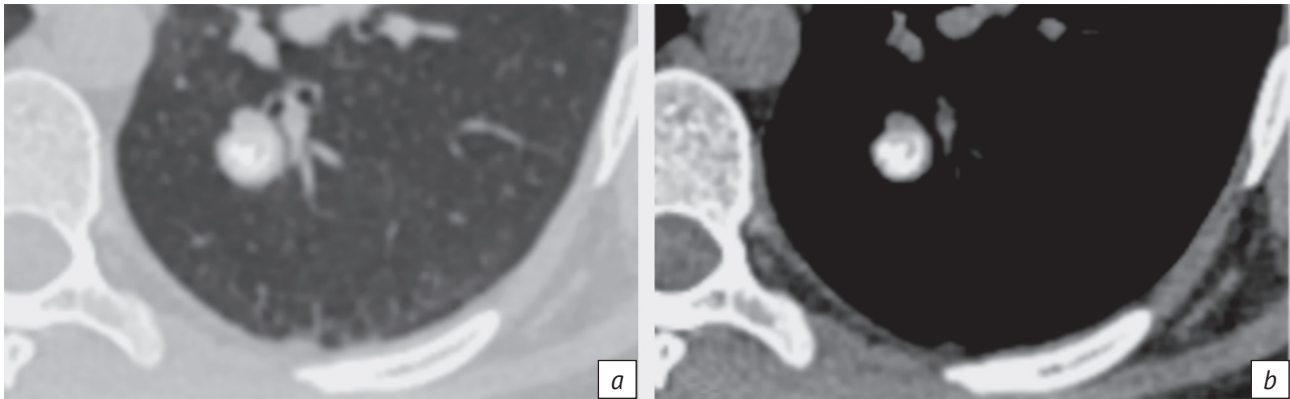


Рис. 4. КТ легких в аксиальной плоскости. Кластер 4 – гамартомы с кальциевыми отложениями без жировых включений: *a* – легочное окно; *b* – мягкотканное окно

Fig. 4. Lung CT scan, axial plane. Cluster 4 – hamartomas with calcium deposits without fatty inclusions: *a* – pulmonary window; *b* – soft tissue window

Таблица 3

Распределение гамартом легкого по скиалогическим характеристикам (n = 142)

Table 3

Distribution of lung hamartomas by skialogical characteristics (n = 142)

Кластер / Cluster	Жир / Fat	Кальцинация / Calcination	Количество случаев, n (%) / Number of cases, n (%)
1	–	–	62 (43,7)
2	+	–	50 (35,2)
3	+	+	17 (12,0)
4	–	+	13 (9,2)

Из 142 гамартом только 30 (21,1%) имели в структуре различные типы кальциевых отложений: крупные эксцентричные – 10 (33,3%), по типу «попкорн» – 8 (26,7%), аморфные – 6 (20%), слоистые – 3 (10%) и центрально расположенные – 3 (10%). Примеры гамартом с обызвествлением каждого типа из нашего исследования представлены на рисунке 5.

стые – 3 (10%) и центрально расположенные – 3 (10%). Примеры гамартом с обызвествлением каждого типа из нашего исследования представлены на рисунке 5.

Таблица 4

Распределение гамартом легкого по размерам в кластерах (n = 142), n (%)

Table 4

Distribution of lung hamartomas by size in clusters (n = 142), n (%)

Кластер / Cluster	Количество гамартом, n / Number of hamartomas, n	Наибольший диаметр / The largest diameter			
		<10 мм / <10 mm	10–19 мм / 10–19 mm	20–29 мм / 20–29 mm	>30 мм / >30 mm
1	62	15 (24,2)	41 (66,1)	5 (8,1)	1 (1,6)
2	50	8 (16,0)	34 (68,0)	8 (16,0)	0 (0,0)
3	17	0 (0,0)	12 (70,6)	4 (23,5)	1 (5,9)
4	13	2 (15,4)	7 (53,8)	2 (15,4)	2 (15,4)

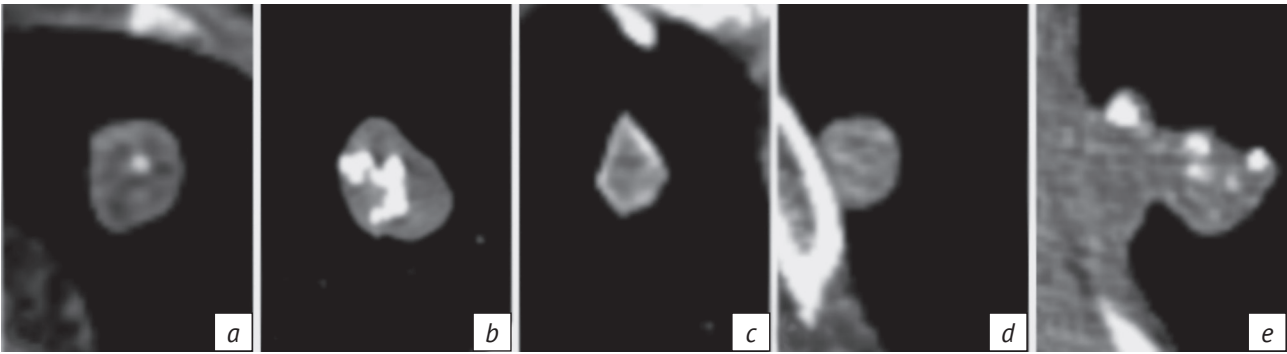


Рис. 5. КТ легких в мягкотканном окне, аксиальная проекция:
a – центрально расположенный кальцинат; b – по типу «попкорн»; c – слоистые (скорлупообразные) кальциевые отложения; d – аморфное обызвествление; e – крупная эксцентричная кальцинация

Fig. 5. Lung CT scan in a soft tissue window, axial plane:
a – centrally located calcinate; b – popcorn type; c – layered (shell-shaped) calcium deposits; d – amorphous calcination; e – large eccentric calcination

Обсуждение / Discussion

Первичное обнаружение у пациентов гамартомы легкого при КТ-исследовании обычно приходится на поздний взрослый возраст, но следует помнить, что данная патология может встречаться в любом возрасте. Солидное образование мягкотканной плотности размерами от 10 до 19 мм с четкими и волнистыми контурами на фоне интактной легочной ткани – чаще всего встречающаяся описательная картина для гамартомы. Предпочтительной локализации относительно легкого, его долей и сегментов у гамартомы не наблюдается.

Среди гамартом можно выделить четыре кластера по сочетанию макроскопического жира и участков кальцинации в структуре. Следует отметить, что 3-й кластер (наличие как жировых включений, так и обызвествлений), который считается

наиболее патогномичным для гамартом, в нашем исследовании встретился в небольшом количестве случаев (12,0%), более часто выявлялись изолированные включения либо жировой плотности, либо кальцинации (44,4%). И почти в половине случаев (43,7%) при КТ не удалось обнаружить изменений структуры образования, что представляет сложность в дифференциальной диагностике впервые выявленных одиночных образований в легком.

В литературе имеются отдельные исследования, показывающие перспективы радиомикки для оценки характеристик КТ-изображений, позволяющей более четко и на ранних этапах выявить структурные изменения в солидных образованиях легких и более точно провести дифференциальную диагностику гамартом с другими образованиями [7, 12].

Закключение / Conclusion

Гамартомы легких представляют собой образования солидного типа без предпочтительной локализации по сегментам легких, которые могут быть выявлены в любом возрасте. В нашем исследовании в значительной доле случаев (43,7%) гамартомы не имели каких-либо структурных

особенностей, позволяющих по данным КТ убедительно их классифицировать как доброкачественные образования и избежать хирургической резекции. Только в 12% случаев гамартомы имели структурные изменения, считающиеся высоко патогномоничными для их классификации как доброкачественных образований.

Литература / References

1. WHO Classification of Tumours Editorial Board. Thoracic Tumours: WHO Classification of Tumours. 5th ed. World Health Organization; 2021: 154–5.
2. Takumi K, Nagano H, Harasawa T, et al. Pulmonary hamartoma: feasibility of dual-energy CT detection of intranodular fat. *Radiol Case Rep.* 2021; 16(5): 1032–6. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2021.01.062>.
3. Ulas AB, Aydin Y, Eroglu A. Pulmonary hamartomas: a single-center analysis of 59 cases. *Eurasian J Med.* 2022; 54(3): 270–3. <https://doi.org/10.5152/eurasianjmed.2022.21150>.
4. Grigoraş A, Amălinei C, Lovin CS, et al. The clinicopathological challenges of symptomatic and incidental pulmonary hamartomas diagnosis. *Rom J Morphol Embryol.* 2022; 63(4): 607–13. <https://doi.org/10.47162/RJME.63.4.02>.
5. Esme H, Duran FM, Unlu Y. Surgical treatment and outcome of pulmonary hamartoma: a retrospective study of 10-year experience. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* 2019; 35(1): 31–5. <https://doi.org/10.1007/s12055-018-0728-x>.
6. Hochegger B, Nin CS, Alves GR, et al. Multidetector computed tomography findings in pulmonary hamartomas: a new fat detection threshold. *J Thorac Imaging.* 2016; 31(1): 11–4. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000180>.
7. Cangir AK, Orhan K, Kahya Y, et al. A CT-based radiomic signature for the differentiation of pulmonary hamartomas from carcinoid tumors. *Diagnostics (Basel).* 2022; 12(2): 416. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020416>.
8. Gaerte SC, Meyer CA, Winer-Muram HT, et al. Fat-containing lesions of the chest. *Radiographics.* 2002; 22 (Spec No): S61–78. https://doi.org/10.1148/radiographics.22.suppl_1.g02oc08s61.
9. Yang X, Li C, Hou J, et al. Differentiating peripherally located pulmonary noncalcified hamartoma from carcinoid using CT radiomics approaches. *J Comput Assist Tomogr.* 2023; 47(3): 402–11. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001414>.
10. Elsayed H, Abdel Hady SM, Elbastawisy SE. Is resection necessary in biopsy-proven asymptomatic pulmonary hamartomas? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2015; 21(6): 773–6. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv266>.
11. Gjevre JA, Myers JL, Prakash UB. Pulmonary hamartomas. *Mayo Clin Proc.* 1996; 71(1): 14–20. <https://doi.org/10.4065/71.1.14>.
12. Habert P, Decoux A, Chermati L, et al. Best imaging signs identified by radiomics could outperform the model: application to differentiating lung carcinoid tumors from atypical hamartomas. *Insights Imaging.* 2023; 14(1): 148. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01484-9>.



Оценка качества работы искусственного интеллекта в выявлении дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника

Нуднов Н.В.¹, Коробов А.В.², Скачков А.А.³, Кульнева Т.В.², Шерстобоев В.В.⁴, Титова Л.А.⁵, Русаков А.С.⁶, Тумко В.В.⁶, Сарбаев Р.С.⁷, Успенская Н.А.⁶, Андриенко Е.А.², Иванников М.Е.¹

¹ ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России, ул. Профсоюзная, 86, стр. 1, Москва, 117485, Российская Федерация

² АНО ДПО «Институт Эксперт», ул. Фридриха Энгельса, 58А, Воронеж, 394018, Российская Федерация

³ ООО «Объединенное IT пространство», ул. Металлургов, вл. 1, лит. А, Липецк, 398017, Российская Федерация

⁴ Группа компаний «Эксперт», ул. Металлургов, 1, Липецк, 398017, Российская Федерация

⁵ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, ул. Студенческая, 10, Воронеж, 394036, Российская Федерация

⁶ Remedy Logic, 6 St Johns Ln, New York, NY 10013, USA

⁷ ООО «Системы поддержки принятия решений», ул. Декабристов, 33, Чебоксары, 428022, Чувашская Республика, Российская Федерация

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

Коробов Андрей Владимирович, директор АНО ДПО «Институт Эксперт»

Скачков Артур Андреевич, специалист по машинному обучению ООО «Объединенное IT пространство»; <http://orcid.org/0009-0002-6072-8143>

Кульнева Таисия Владимировна, зам. директора по экспертной работе в области медицинской визуализации АНО ДПО «Институт Эксперт»

Шерстобоев Владислав Васильевич, генеральный директор Группы компаний «Эксперт»

Титова Лилия Александровна, д. м. н., доцент, заведующая кафедрой инструментальной диагностики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-8421-3411>

Русаков Андрей Сергеевич, основатель и главный исполнительный директор Remedy Logic

Тумко Владислав Владимирович, главный операционный директор Remedy Logic

Сарбаев Руслан Сергеевич, генеральный директор ООО «Системы поддержки принятия решений»

Успенская Наталья Александровна, руководитель команды компьютерного зрения Remedy Logic

Андриенко Елизавета Андреевна, специалист общего отдела АНО ДПО «Институт Эксперт»

Иванников Михаил Евгеньевич, клинический ординатор по специальности «рентгенология» ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России; <http://orcid.org/0009-0007-0407-0953>

Резюме

Цель: проведение сравнительной оценки выходных данных комплекса обученных моделей сверточных нейронных сетей (convolutional neural network, CNN) и интерпретации патологических изменений поясничного отдела позвоночника врачами-рентгенологами при проведении магнитно-резонансной томографии.

Материал и методы. Собрано более 12 тыс. анонимизированных архивов для формирования обучающего и тестового наборов данных нейросети среди пациентов старше 18 лет. Каждый архив состоял из набора программ в двух плоскостях, содержащих последовательности T2-TSE, T1-TSE и T2 с программой жироподавления. Далее на отобранных исследованиях выполняли разметку в два этапа, заключающуюся непосредственно в ручной разметке и ее проверке специалистами. Обучение CNN проводили отдельно для анализа нормы, качественного определения патологических изменений и количественного анализа. Проверку точности моделей путем сравнительного анализа протоколов пяти врачей-рентгенологов и выходных данных моделей CNN осуществляли в два этапа. На первом, промежуточном этапе оценивали

точность работы нейросетей в выявлении выбуханий, протрузий и экструзий дисков, стеноза позвоночного канала, латеральных стенозов, фораминальных стенозов, спондилолистеза и артроза межпозвонковых суставов. На итоговом этапе помимо патологий, рассматриваемых на промежуточном этапе, проверяли точность выявления дегенеративных изменений замыкательных пластин, синовита межпозвонковых суставов, дегенерации дисков, остеофитов, переходных позвонков, гипертрофии желтых связок и грыжи Шморля. Эталонное значение для всех рассматриваемых в данной работе патологических изменений определено большинством голосов, и в случае разногласий решение принимал внешний рентгенолог. Затем интерпретации рентгенологов были сопоставлены с интерпретацией обученной модели.

Результаты. Искусственный интеллект (ИИ) продемонстрировал сопоставимые значения чувствительности и специфичности в сравнении с эталонным результатом в группе опытных врачей-рентгенологов для бинарной классификации (наличие/отсутствие) наличия отдельных дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника. Для экструзий чувствительность и специфичность результатов ИИ составили 0,88 и 0,97 соответственно, для протрузий – 0,81 и 0,94, для центрального стеноза – 0,87 и 0,98, для латерального стеноза – 0,83 и 0,85, для фораминального стеноза – 0,92 и 0,84, для артроза – 0,85 и 0,50, для дегенерации замыкательных пластин – 0,73 и 0,96, для синовита межпозвонковых суставов – 0,85 и 0,84, для дегенерации дисков – 0,91 и 0,88, для остеофитов – 0,93 и 0,72, для переходных позвонков – 1,0 и 1,0, для спондилолистезов – 0,8 и 1,0, для гипертрофии желтых связок – 0,67 и 0,99, для грыжи Шморля – 0,75 и 1,0. Точность количественных характеристик размеров протрузий и экструзий пояснично-крестцового отдела позвоночника показала неудовлетворительные результаты, однако улучшение качества определения данных параметров планируется в последующих работах.

Заключение. Модели ИИ продемонстрировали сопоставимые со специалистами-рентгенологами результаты в обнаружении дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника. Последовательное улучшение моделей CNN на основе сравнительной оценки с результатами работы врачей-рентгенологов повышает чувствительность и специфичность выявления патологических изменений.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, искусственный интеллект, нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, глубокое обучение, программное обеспечение в медицине.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено при поддержке АНО ДПО «Институт Эксперт» (Воронеж, Россия).

Для цитирования: Нуднов Н.В., Коробов А.В., Скачков А.А., Кульнева Т.В., Шерстобоев В.В., Титова Л.А., Русаков А.С., Тумко В.В., Сарбаев Р.С., Успенская Н.А., Андриенко Е.А., Иванников М.Е. Оценка качества работы искусственного интеллекта в выявлении дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(1): 20–8. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-20-28>

Для корреспонденции: Иванников Михаил Евгеньевич, E-mail: ivannikovmichail@gmail.com

Статья поступила 05.02.2024

После доработки 13.02.2024

Принята к печати 14.02.2024

Evaluation of Artificial Intelligence Effectiveness in Detection of Lumbosacral Spine Degenerative Diseases

Nikolay B. Nudnov¹, Andrey V. Korobov², Artur A. Skachkov³, Taisia V. Kulneva², Vladislav V. Sherstoboev⁴, Lilia A. Titova⁵, Andrey S. Rusakov⁶, Vladislav V. Tumko⁶, Ruslan S. Sarbaev⁷, Natalia A. Uspenskaya⁶, Elizaveta A. Andrienko², Mikhail E. Ivannikov¹

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, ul. Profsoyuznaya, 86, str. 1, Moscow, 117485, Russian Federation

² Expert Institute, ul. Fridrikha Engelsa, 58A, Voronezh, 394018, Russian Federation

³ United IT Space LLC, ul. Metallurgov, 1, lit. A, Lipetsk, 398017, Russian Federation

⁴ "Expert" Group of Companies, ul. Metallurgov, 1, Lipetsk, 398017, Russian Federation

⁵ Burdenko Voronezh State Medical University, ul. Studencheskaya, 10, Voronezh, 394036, Russian Federation

⁶ Remedy Logic, 6 St Johns Ln, New York, NY 10013, USA

⁷ Decision Support Systems LLC, ul. Dekabristov, 33, Cheboksary, 428022, Chuvash Republic, Russian Federation

Nikolay B. Nudnov, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of Research Department of Complex Diagnostics and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Andrey V. Korobov, Director, Expert Institute

Artur A. Skachkov, Machine Learning Specialist, United IT Space LLC;
<http://orcid.org/0009-0002-6072-8143>

Taisia V. Kulneva, Deputy Director for Expert Work in Medical Imaging, Expert Institute

Vladislav V. Sherstoboev, Director General, "Expert" Group of Companies

Lilia A. Titova, Dr. Med. Sc., Associate Professor, Chief of Chair of Instrumental Diagnostics, Burdenko Voronezh State Medical University;
<http://orcid.org/0000-0002-8421-3411>

Andrey S. Rusakov, Founder and Chief Executive Officer, Remedy Logic

Vladislav V. Tumko, Chief Operating Officer, Remedy Logic

Ruslan S. Sarbaev, Director General, Decision Support Systems LLC

Natalia A. Uspenskaya, Head of Computer Vision Team, Remedy Logic

Elizaveta A. Andrienko, Specialist, General Department, Expert Institute

Mikhail E. Ivannikov, Clinical Resident in Radiology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0009-0007-0407-0953>

Abstract

Objective: comparative evaluation of output data of a set of trained convolutional neural network (CNN) models and interpretation of pathological changes in lumbar spine by radiologists during magnetic resonance imaging.

Material and methods. More than 12,000 anonymized archives were collected to generate training and test neural network datasets from patients aged over 18 years. Each archive consisted of a set of programs in two planes containing T2-TSE, T1-TSE and T2 sequences with fat suppression program. Subsequently, the selected studies were tagged in two steps, directly consisting of manual tagging and its validation by experts. CNN training was performed separately for normal analysis, qualitative detection of individual pathological changes, and quantitative analysis. The accuracy of the models was verified by comparing the protocols of five radiologists and the output of CNN models in two steps. The first, intermediate stage evaluated the accuracy of the neural networks in detecting disc bulges, protrusions and extrusions, spinal canal stenosis, lateral stenosis, foraminal stenosis, spondylolisthesis and facet joint arthrosis. In the final stage, in addition to the pathologies considered in the intermediate one, the accuracy of detecting degenerative changes of the occlusive plates, synovitis of intervertebral joints, intervertebral discs degeneration, osteophytes, transitional vertebrae, hypertrophy of yellow ligaments and Schmorl's hernia was tested. The reference value for all pathological changes considered in this paper was determined by majority vote and, in case of disagreement, by an external radiologist. The radiologists' interpretations were then compared with those of the trained model.

Results. The artificial intelligence (AI) showed comparable sensitivity and specificity values compared to the reference result in a group of experienced radiologists for binary classification (presence/absence) of individual lumbosacral spine degenerative changes. The sensitivity and specificity of AI results were 0.88 and 0.97 for extrusions, 0.81 and 0.94 for protrusions, 0.87 and 0.98 for central stenosis, 0.83 and 0.85 for lateral stenosis, 0.92 and 0.84 for foraminal stenosis, 0.85 and 0.5 for osteoarthritis, 0.73 and 0.96 for occlusive plates degeneration, 0.85 and 0.84 for intervertebral joint synovitis, 0.91 and 0.88 for osteophytes, 0.93 and 0.72 for intervertebral disc degeneration, 1.0 and 1.0 for transitional vertebrae, 0.8 and 1.0 for spondylolisthesis, 0.67 and 0.99 for yellow ligament hypertrophy, and 0.75 and 1.0 for Schmorl's hernia, respectively. The accuracy of quantitative size characterization of lumbosacral spine protrusions and extrusions showed unsatisfactory results, but improvements in the quality of determination of these parameters are planned in future work.

Conclusion. AI models showed comparable performance to expert radiologists in detecting lumbosacral spine degenerative changes. Consistent improvement of CNN models based on comparative evaluation with radiologists improves the sensitivity and specificity of pathologic change detection.

Keywords: magnetic resonance imaging; artificial intelligence; neural network; convolutional neural network; deep learning; software in medicine.

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

Funding. The study was supported by Expert Institute (Voronezh, Russia).

For citation: Nudnov NB, Korobov AV, Skachkov AA, Kulneva TV, Sherstoboev VV, Titova LA, Rusakov AS, Tumko VV, Sarbaev RS, Uspenskaya NA, Andrienko EA, Ivannikov ME. Evaluation of artificial intelligence effectiveness in detection of lumbosacral spine degenerative diseases. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(1): 20–8 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-20-28>

For corresponding: Mikhail E. Ivannikov, E-mail: ivannikovmichail@gmail.com

Received February 5, 2024

Revised February 13, 2024

Accepted February 14, 2024

Введение / Introduction

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения основной причиной инвалидизации в мире являются болезни костно-мышечной системы, среди которых преобладают заболевания позвоночника. Люди с дегенеративными болезнями позвоночника наиболее часто нуждаются в современных высокоточных методах диагностики и составляют большую долю потока пациентов в кабинетах магнитно-резонансной томографии (МРТ).

В связи с нарастанием популярности среди населения и повышением доступности МРТ-исследований в последние годы ежедневная нагрузка на врача-рентгенолога сильно возросла, что негативно сказывается на текущем качестве работы и дальнейшей работоспособности специалиста. Также продолжается тренд по развитию алгоритмов нейронных сетей и увеличению доступных вычислительных мощностей, что позволяет реализовывать более сложные модели искусственного интеллекта (ИИ) и обрабатывать большие объемы обучающих данных. Из текущих тенденций возникают благоприятные условия для разработки и внедрения в практическую медицину сервисов на базе ИИ, помогающих врачам в приоритетных направлениях радиологии. В качестве таких систем в настоящее время применяются модели глубокого обучения нейронных сетей, которые представляют собой математическое воплощение системы взаимодействия нейронов человека. Входные данные проходят через слои нейронной сети, где значимость каждого элемента из совокупности данных меняется в зависимости от распределения весов между слоями, а затем в соответствии со степенью расхождения выходных и эталонных значений меняется распределение весов для получения более релевантных результатов в новой эпохе обучения.

Как и множество других специальностей, лучевая диагностика находится на пути к более плотному взаимодействию с системами ИИ для повышения качества и скорости выполняемой работы. Особенностью использования систем нейросетей для диагностики заболеваний позвоночника является возможность упростить оценку МРТ-снимков, что будет способствовать повышению согласованности, точности и объективности оценки исследований, а в более дальней перспективе может полностью освободить врачей-рентгенологов от интерпретации наиболее часто встречающихся патологических изменений в многократно повторяющихся однотипных исследованиях.

При помощи метода МРТ врачи-рентгенологи с достаточно высокой точностью опреде-

ляют производные дегенеративных изменений позвоночника. В то же время задача осложняется существованием нескольких подходов в дифференцировании как отдельных патологических состояний, так и степени их проявлений. Например, определение стеноза позвоночного канала на уровне поясничного отдела позвоночника отличается в зависимости от выбираемой системы оценки, критерии которой могут быть как количественными в виде размера позвоночного канала по срединной линии на уровне диска, так и качественными в виде степени деформации дурального мешка и эпидурального жира (*C. Shizas*). Также примером могут служить отличающиеся степени фораминальных стенозов в зависимости от выбранной специализированной классификации изменений (наиболее часто используются классификации по Lee и по Wildermuth) и измерения пролабирования межпозвонковых дисков в просвет позвоночного канала с учетом толщины задней продольной связки или без него.

Цель – проведение сравнительной оценки выходных данных комплекса обученных моделей сверточных нейронных сетей (convolutional neural network, CNN) и интерпретации патологических изменений поясничного отдела позвоночника врачами-рентгенологами при проведении МРТ.

Материал и методы / Material and methods

Сформирован большой объем анонимизированных архивов для использования в качестве обучающего и тестового наборов данных нейросети после ретроспективного анализа более 12 тыс. МРТ-исследований среди пациентов старше 18 лет на базе диагностических и клинико-диагностических центров: ООО «Клиника Эксперт Воронеж», ООО «Клиника Эксперт Пермь», ООО «Клиника Эксперт Курск», ООО «МРТ-Эксперт Столица», ООО «МРТ-Эксперт Мытищи» (структурное подразделение в г. Орехово-Зуево), ООО «Клиника Эксперт Липецк», ООО «Клиника Эксперт Владикавказ», ООО «Клиника Эксперт Новосибирск», ООО «МРТ-Эксперт БСК», ООО «МРТ-Эксперт-3». Все пациенты были проверены на безопасность прохождения МРТ, подписали согласие на обработку персональных данных и их передачу в ООО «Системы поддержки принятия решений».

Исследования состояли из набора программ в двух плоскостях, содержащих последовательно T2-TSE, T1-TSE, T2 с программой жироподавления (STIR) в сагиттальной плоскости и T2-TSE в аксиальной плоскости. На этапе поиска исключались исследования с выраженными артефактами от металлоконструкции и наличием изображений низкого качества, не позволяющего достаточно точно интерпретировать снимки и постконтрастные



Рис. 1. Примеры автоматической разметки с нумерацией позвонков (a–c)

Fig. 1. Examples of automatic marking with vertebrae numbering (a–c)

серии. Для дополнительного подтверждения целевых патологических изменений сбор анонимизированных архивов МРТ-исследований проводился врачами-рентгенологами. Для исключения повторной загрузки архивов при параллельном сборе разными специалистами фиксировались временные периоды и сервер, с которого скачивалась медицинская информация. Для сохранения отобранных архивов применялось облачное хранилище АНО ДПО «Институт повышения квалификации медицинских кадров» с ограниченным доступом. Возможность использовать облачное хранилище предоставлялась врачам-рентгенологам по VPN-доступу после индивидуальной настройки на компьютерах медицинских учреждений, где работали специалисты. Архивы были отсортированы в хранилище данных по целевым патологическим изменениям.

Процесс разметки анонимизированных изображений для формирования обучающего набора данных проводился в два этапа. На первом этапе разметка выполнялась сотрудниками ООО «Системы поддержки принятий решений», использующими разработанный алгоритм разметки изображений (согласованный с врачами-рентгенологами, имеющими не менее чем 5-летний опыт подготовки описаний исследований, выполненных на магнитно-резонансном томографе) методом выделения границ с применением цветовой схемы, привязанной к списку нормальных анатомических структур и рассматриваемых в работе патологических изменений. Проведена ручная разметка всех анатомических структур и патологических изменений, касающихся поясничного отдела позвоночника на аксиальных срезах, также выполнена разметка на сагиттальных срезах (в отличие от схожих

работ, использующих автоматическую разметку для обучения алгоритмов CNN) [1].

На втором этапе врачами-рентгенологами проводилась проверка разметки для исключения несовпадений между работой специалистов на первом этапе и профессиональной оценкой МРТ-изображений. При отсутствии ошибок, выявленных на втором этапе, и дополнительных комментариев по качеству выделения контуров работа с кейсом в рамках процесса разметки считалась завершённой.

В дальнейшем, после обучения нейронной сети на размеченных вручную датасетах, разметка выполнялась в автоматизированном режиме для каждого исследования с отражением нумерации позвонков (рис. 1) [2, 3].

Определение размера и структуры обучающей, валидационной и тестовой выборок, а также процесс обучения CNN для анализа нормы и патологических изменений осуществлялись сотрудниками компании Remedy Logic. Анализ отдельных патологических изменений проводился с автоматизированным выбором релевантных сагиттальных или аксиальных срезов [4, 5].

После процесса обучения нейронных сетей была организована проверка точности их работы, которая выполнялась при содействии пяти врачей-рентгенологов с опытом работы по специальности от 5 до 10 лет. Проверка осуществлялась путем анализа МРТ-изображений с последующим сравнением профессиональных выводов специалистов и результатов работы ИИ. Архивы, использованные в процессе данной проверки, ранее не применялись для формирования обучающей, валидационной и тестовой выборок, участвовавших в процессе обучения нейронных сетей.

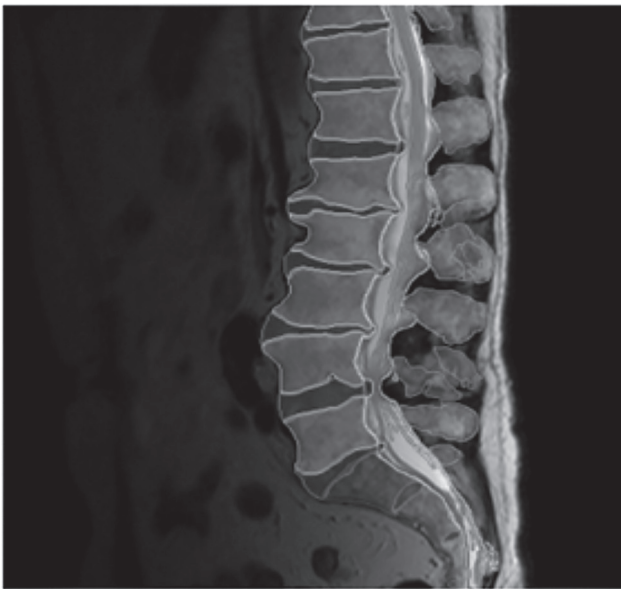
По итогу проверки формировались промежуточный сравнительный отчет (в рамках не опубликованной в медицинских журналах промежуточной научно-исследовательской работы) и итоговый сравнительный отчет, результаты которого представлены в данной статье. В промежуточном отчете проводилась первичная оценка точности работы нейросетей в выявлении выбуханий, протрузий и экструзий дисков, стеноза позвоночного канала, латеральных стенозов, фораминальных стенозов, спондилолистеза, а также артроза межпозвонковых суставов. В итоговом отчете помимо повторной оценки точности выявления патологических изменений, обозначенных в промежуточном отчете, была добавлена проверка дегенеративных изменений замыкательных пластин, синовита межпозвонковых суставов, дегенерации межпозвонковых дисков, остеофитов, переходных позвонков, гипертрофии желтых связок и грыж Шморля. Также в итоговом отчете определялись количественные измерения передне-задних размеров и высоты протрузий и экструзий межпозвонковых дисков.

Результаты и обсуждение /
Results and discussion

Осуществлен процесс автоматической отправки анонимизированных архивов исследований пациентов, прошедших МРТ-обследование, на сервер, физически расположенный на территории Российской Федерации, для обработки на обученной модели ИИ и последующей отправки результатов в радиологическую информационную систему диагностических центров. Каждому анонимизированному исследованию перед отправкой присвоен уникальный идентификационный номер, который также указан в отчете ИИ [6].

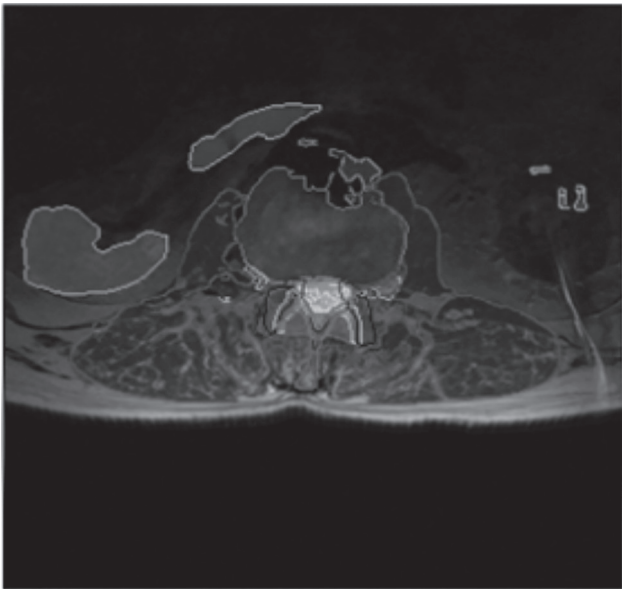
Выходные данные ИИ для каждого кейса представлены JSON-файлом с указанием уровня пояснично-крестцового отдела позвоночника, названия патологии для каждого отдела и количественных измерений или степени патологических изменений. В рамках радиологической информационной системы полученный JSON-файл преобразуется в PDF-файл, доступ к которому предоставляется в интерфейсе системы в виде интерактивного значка,

StudyUID 1.3.12.2.1107.5.2.6.23710.30000015570.2023012550930226576



Уровень: L1/L2	
экструзия	нет
протрузия	да
выбухание	да

Степени стеноза	
фораминальный стеноз	2-й степени



площадь дурального мешка	221,56
диаметр дурального мешка	14,06
площадь позвоночного канала	311,28
диаметр позвоночного канала	21,09
площадь позвоночного канала справа	21,97
площадь позвоночного канала слева	26,86
площадь фораминального окна справа	16,48
площадь фораминального окна слева	16,48

Рис. 2. Пример отчета по результатам работы искусственного интеллекта в PDF-файлах на дисковом уровне L1/L2
Fig. 2. Example of report on the results of artificial intelligence in PDF files at disk L1/L2 level

расположенного за каждой заявкой пациента, прошедшего обследование пояснично-крестцового отдела позвоночника. Время получения PDF-файла после прохождения обследования составляет менее 15 мин, далее врач может ознакомиться с полученной информацией о патологических изменениях и использовать ее в своем протоколе и заключении. В документе выведены данные о характере патологических изменений на уровне каждого диска вместе с изображениями – одним сагиттальным снимком, локализованным по срединной линии, и по одному аксиальному срезу на каждый представленный дисковый уровень. Изображения уровней без патологических изменений, а также информация об отсутствии стенозов и артроза межпозвонковых суставов в документе не отображаются во избежание перегрузки протокола лишней информацией (рис. 2).

Результаты по выявлению патологических изменений соответствуют проверенным в промежуточном отчете, а именно: выбухания, протрузии, экструзии дисков, центральный стеноз позвоночного канала, латеральные стенозы, фораминальные стенозы, спондилолистез, артроз межпозвонковых суставов. Количественные измерения, представленные в отчете, указаны в качестве справочной информации, их точность не проверялась в рамках текущего исследования точности алгоритмов. Информация о патологических изменениях из итогового отчета не выводилась в PDF-файл в рамках этапа интеграции с радиологической информационной системой, представленного на изображении.

Далее в рамках процесса последовательного улучшения работы сервиса ИИ в результаты анализа были добавлены следующие патологические изменения: дегенеративные изменения замыкательных пластин, синовит межпозвонковых суставов, дегенерация дисков, остеофиты, переходные позвонки, гипертрофия желтых связок и грыжи Шморля. Оценка работы алгоритма проводилась не только по добавленным патологическим изменениям, но и по патологическим изменениям, ранее фигурировавшим в промежуточном отчете.

В процессе проверки работы алгоритма для итогового отчета участвовали пять врачей-рентгенологов с опытом работы по интерпретации МРТ-изображений от 5 до 10 лет. Каждому врачу было предоставлено на описание по 20 одинаковых DICOM с МРТ-исследованием пояснично-крестцового отдела позвоночника. Кейсы, участвовавшие в проверке, были отобраны случайно, а также не были задействованы как часть обучающих, проверочных и тестирующих выборок в рамках работ по обучению и повышению

точности функционирования ИИ. В каждом исследовании была проведена оценка пяти дисковых уровней, что в сумме, соответственно, дает по 100 оцененных анатомических уровней на каждого специалиста.

Далее каждый врач сравнил свои результаты с результатами работы алгоритма и указал на наличие возникших расхождений. Если оценка трех врачей для конкретной патологии в одной локализации совпадала, то она устанавливалась как эталонная и относительно нее проводилось сравнение результативности алгоритма. Показатели для большинства патологических изменений имеют значения $\geq 0,8$. Предельно высокие показатели чувствительности и специфичности выявления переходных позвонков, специфичности определения спондилолистезов и грыж Шморля обусловлены малым количеством данных патологических изменений в рамках случайно отобранных исследований пояснично-крестцового отдела позвоночника.

ИИ продемонстрировал сопоставимые значения чувствительности и специфичности в сравнении с эталонным результатом в группе опытных врачей-рентгенологов (см. табл.).

Схожие результаты были продемонстрированы в других исследованиях, выполненных на базе обучения CNN для анализа дегенеративных изменений поясничного отдела позвоночника в целом [7, 8] и изменений, связанных с экструзиями и протрузиями дисков, в частности [9–11]. Значения $< 0,8$ были зафиксированы в показателях чувствительности выявления дегенерации замыкательных пластин, гипертрофии желтых связок и грыж Шморля, а также специфичности определения артроза межпозвонковых суставов и остеофитов.

Анализ количественных измерений пролабирования дисков (экструзий и протрузий) в просвет позвоночного канала проводился в рамках проверки точности выявления патологических изменений поясничного отдела позвоночника. Автоматизированная количественная оценка выбухания дисков не ставилась как задача работы алгоритмов ввиду низкой клинической значимости данных изменений. В качестве результатов работы ИИ были представлены количественные данные о передне-заднем размере и высоте сегментов дисков, пролабирующих в просвет позвоночного канала, без отдельного указания высоты миграции диска выше или ниже края замыкательной пластины тела прилежащего позвонка. Результаты проверки врачами фиксировались в виде оценок «правильно», «частично правильно» и «неправильно» в зависимости от степени их расхождения с результатами работы алгоритмов. Оценка «правильно» устанавливалась при совпадении обоих

Значения чувствительности и специфичности заключений с использованием искусственного интеллекта

Sensitivity and specificity values of conclusions using artificial intelligence

Патологические изменения / Pathological changes	Чувствительность, % / Sensitivity, %	Специфичность, % / Specificity, %
Экструзии (с измерением в мм) / Extrusion (measured in mm)	0,885	0,973
Протрузии (с измерением в мм) / Protrusions (measured in mm)	0,809	0,936
Центральный стеноз / Central stenosis	0,867	0,976
Латеральный стеноз / Lateral stenosis	0,834	0,855
Фораминальный стеноз / Foraminal stenosis	0,921	0,839
Артроз / Arthrosis	0,852	0,531
Дегенерация замыкательных пластин / Occlusive plates degeneration	0,734	0,964
Синовит межпозвонковых суставов / Intervertebral joint synovitis	0,850	0,838
Дегидратация дисков / Disc dehydration	0,911	0,879
Остеофиты / Osteophytes	0,929	0,721
Переходные позвонки / Transitional vertebrae	1,000	1,000
Спондилолистезы / Spondylolisthesis	0,800	1,000
Гипертрофия желтой связки / Yellow ligament hypertrophy	0,667	0,989
Грыжа Шморля / Schmorl's hernia	0,750	1,000

параметров, «частично правильно» – при совпадении одного из двух измеряемых параметров, «неправильно» – при полном отсутствии совпадений. Измерения врачами пролабировавших сегментов дисков осуществлялись с учетом толщины задней продольной связки.

На данном этапе точность количественного определения протрузий и экструзий оказалась низкой, расхождение между результатами врачей и алгоритма в большинстве случаев составило около 3 мм. В основном это связано с преимущественным определением экструзий и протрузий дисков только на уровне срединного сагиттального среза, что соответствует медианному сектору на аксиальных срезах. Данная ошибка будет скорректирована в последующих апдейтах ИИ.

На итоговом этапе был реализован автоматизированный обмен анонимизированной информацией между сервером, на котором хранятся исследования, сервером, где происходит работа ИИ, и серверами, на которых осуществляется работа радиологической информационной системы. Реализован способ презентации результатов работы ИИ в виде интерактивного значка в интерфейсе радиологической информационной системы, содержащего PDF-файл. В PDF-файле отображаются автоматизированно размеченные изображения в сагиттальной и аксиальной плоскостях, а также текстовая информация о патологических изменениях на каждом уровне.

В рамках итогового отчета зафиксированы хорошие результаты в определении большинства распространенных дегенеративных изме-

нений пояснично-крестцового отдела позвоночника. Также наблюдается воспроизведение высоких значений чувствительности и специфичности для патологий, демонстрировавших аналогичные высокие показатели в промежуточном отчете. Высокое качество диагностики патологических изменений позвоночника при помощи современных алгоритмов нейронных сетей было подтверждено и в других работах [12, 13]. В то же время процесс определения количественных показателей нуждается в доработке в виде оценки на каждом сагиттальном срезе для выявления наибольшего размера пролабирования диска в просвет позвоночного канала.

Сокращение временных затрат на интерпретацию и написание протокола врачами-рентгенологами составляет от 2 до 10 мин на каждое исследование в зависимости от опыта работы специалиста и выраженности дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника.

Дальнейшее развитие алгоритмов нейронных сетей приведет к расширению функционала сервисов, основанных на ИИ, вплоть до полной автоматизации решения диагностических задач среди наиболее часто выявляемых патологических изменений методами лучевой диагностики. Совокупность возрастающего числа специалистов в сфере компьютерного зрения и увеличения доступных вычислительных мощностей создают условия для реализации на практике более сложных и точных моделей ИИ, способных в короткие сроки справиться с большим объемом и большей сложностью диагностических задач.

Заключение / Conclusion

Точность метода МРТ в оценке дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника является самой высокой среди всех неинвазивных методов диагностики, при этом рост доступности методов лучевой диагностики прямо пропорционален увеличению количества проводимых исследований.

Значительный объем работы при анализе пояснично-крестцового отдела позвоночника в большинстве случаев складывается из повторяющегося процесса нахождения и измерения типичных проявлений дегенеративных изменений в каждом анатомическом сегменте. Как и множество других специальностей, лучевая

диагностика находится на пути к более плотному взаимодействию с системами ИИ для повышения качества и скорости выполняемой работы. С помощью современной генерации CNN возможно автоматизированное выявление целого ряда патологий на МРТ-изображениях пояснично-крестцового отдела позвоночника, что способствует снижению нагрузки на опытных врачей-рентгенологов и вероятности ошибки специалистов с малым опытом работы.

В дальнейшем вследствие повышения доступности высокоэффективных сервисов ИИ будет происходить все более плотное внедрение их в медицинскую практику, что повысит скорость и качество оказания медицинских услуг.

Литература / References

1. Li H, Luo H, Huan W, et al. Automatic lumbar spinal MRI image segmentation with a multi-scale attention network. *Neural Comput Appl*. 2021; 33(18): 11589–602. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05856-4>.
2. Forsberg D, Sjöblom E, Sunshine JL. Detection and labeling of vertebrae in mr images using deep learning with clinical annotations as training data. *J Digit Imaging*. 2017; 30(4): 406–12. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-9945-x>.
3. Zhou Y, Liu Y, Chen Q, et al. Automatic lumbar MRI detection and identification based on deep learning. *J Digit Imaging*. 2019; 32(3): 513–20. <https://doi.org/10.1007/s10278-018-0130-7>.
4. Natalia F, Young JC, Afriliana N, et al. Automated selection of mid-height intervertebral disc slice in traverse lumbar spine MRI using a combination of deep learning feature and machine learning classifier. *PLoS One*. 2022; 17(1): e0261659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261659>.
5. Wang X, Zhai S, Niu Y. Automatic vertebrae localization and identification by combining deep SSAE contextual features and structured regression forest. *J Digit Imaging*. 2019; 32(2): 336–48. <https://doi.org/10.1007/s10278-018-0140-5>.
6. Lewandrowski KU, Muraleedharan N, Eddy SA, et al. Feasibility of deep learning algorithms for reporting in routine spine magnetic resonance imaging. *Int J Spine Surg*. 2020; 14(s3): S86–97. <https://doi.org/10.14444/7131>.
7. Hallinan JTPD, Zhu L, Yang K, et al. Deep learning model for automated detection and classification of central canal, lateral recess, and neural foraminal stenosis at lumbar spine MRI. *Radiology*. 2021; 300(1): 130–8. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021204289>.
8. Jamaludin A, Lootus M, Kadir T, et al. ISSLS Prize in Bioengineering Science 2017: Automation of reading of radiological features from magnetic resonance images (MRIs) of the lumbar spine without human intervention is comparable with an expert radiologist. *Eur Spine J*. 2017; 26(5): 1374–83. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-4956-3>.
9. Lehnen NC, Haase R, Faber J, et al. Detection of degenerative changes on mr images of the lumbar spine with a convolutional neural network: a feasibility study. *Diagnostics*. 2021; 11(5): 902. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11050902>.
10. Tsai JY, Hung IYJ, Guo YL, et al. Lumbar disc herniation automatic detection in magnetic resonance imaging based on deep learning. *Front Bioeng Biotechnol*. 2021; 9: 708137. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.708137>.
11. Han Z, Wei B, Leung S, et al. Automated pathogenesis-based diagnosis of lumbar neural foraminal stenosis via deep multiscale multitask learning. *Neuroinformatics*. 2018; 16(3–4): 325–37. <https://doi.org/10.1007/s12021-018-9365-1>.
12. Galbusera F, Casaroli G, Bassani T. Artificial intelligence and machine learning in spine research. *JOR Spine*. 2019; 2(1): e1044. <https://doi.org/10.1002/jsp2.1044>.
13. Azimi P, Yazdani T, Benzel EC, et al. A review on the use of artificial intelligence in spinal diseases. *Asian Spine J*. 2020; 14(4): 543–71. <https://doi.org/10.31616/asj.2020.0147>.



КТ-навигация как залог успеха бронхобиопсии при периферических образованиях в легких

Черниченко Н.В., Лагкуева И.Д., Сусарев И.О., Джигкаева М.М., Чхиквадзе В.Д.

ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России,
ул. Профсоюзная, 86, стр. 1, Москва, 117485, Российская Федерация

Черниченко Наталья Васильевна, д. м. н., вед. науч. сотр. научно-исследовательского отдела хирургии и хирургических технологий в онкологии ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-6674-8869>

Лагкуева Ирина Джабраиловна, к. м. н., заведующая отделением рентгеновской диагностики с кабинетами рентгеновской и магнитно-резонансной компьютерной томографии ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0001-9732-7170>

Сусарев Илья Олегович, врач-эндоскопист отделения внутрисветовой эндоскопической диагностики и лечения консультативно-диагностического клинического центра ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-7939-6540>

Джигкаева Марина Михайловна, врач-рентгенолог отделения рентгеновской диагностики с кабинетами рентгеновской и магнитно-резонансной компьютерной томографии ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0003-0731-921X>

Чхиквадзе Владимир Давидович, д. м. н., профессор, заведующий лабораторией хирургических технологий в онкологии ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-0517-8997>

Резюме

Определение характера очаговых изменений в легких по-прежнему остается актуальной проблемой онкологии, пульмонологии и рентгенологии. Окончательный диагноз в ряде случаев возможно установить лишь на основании изучения материала, полученного в ходе бронхобиопсии, трансторакальной биопсии, оперативного лечения. Бронхобиопсия является первым этапом миниинвазивной диагностики на пути к определению природы очаговых изменений в легочной ткани, результативность которой зависит от предварительной навигации до зоны интереса с помощью компьютерной томографии (КТ). В статье представлено пять клинических наблюдений, демонстрирующих применение технологии КТ-навигации при выполнении бронхобиопсии у пациентов с очаговыми образованиями в легких.

Ключевые слова: очаг; легкие; компьютерная томография; мультипланарная реконструкция; бронхобиопсия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Черниченко Н.В., Лагкуева И.Д., Сусарев И.О., Джигкаева М.М., Чхиквадзе В.Д. КТ-навигация как залог успеха бронхобиопсии при периферических образованиях в легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(1): 29–36. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-29-36>

Для корреспонденции: Лагкуева Ирина Джабраиловна, E-mail: ilagkueva@mail.ru

Статья поступила 17.01.2024

После доработки 19.01.2024

Принята к печати 16.02.2024

CT Navigation is the Key to Successful Bronchobiopsy for Peripheral Pulmonary Nodules

Natalia V. Chernichenko, Irina D. Lagkueva, Ilya O. Susarev, Marina M. Dzhigkaeva, Vladimir D. Chkhikvadze

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology,
ul. Profsoyuznaya, 86, str. 1, Moscow, 117485, Russian Federation

Natalia V. Chernichenko, Dr. Med. Sc., Leading Researcher, Research Department of Surgery and Surgical Technologies in Oncology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0002-6674-8869>

Irina D. Lagkueva, Cand. Med. Sc., Head of Department of X-Ray Diagnostics with X-Ray and Magnetic Resonance Computed Tomography Rooms, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0001-9732-7170>

Ilya O. Susarev, Endoscopist, Department of Intraluminal Endoscopic Diagnosis and Treatment, Consulting and Diagnostic Clinical Center, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0002-7939-6540>

Marina M. Dzhigkaeva, Radiologist, Department of X-Ray Diagnostics with X-Ray and Magnetic Resonance Computed Tomography Rooms, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0003-0731-921X>

Vladimir D. Chkhikvadze, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Laboratory of Surgical Technologies in Oncology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0002-0517-8997>

Abstract

Determining the nature of nodular alternations in the lungs still remains an urgent problem in oncology, pulmonology, and radiology. In some cases, the final diagnosis can be established only on the basis of studying the material obtained during bronchobiopsy, transthoracic biopsy, and surgical treatment. Bronchobiopsy is the first stage of minimally invasive diagnostics towards detecting the nature of nodular changes in the lung tissue, the effectiveness of which depends on preliminary navigation to the region of interest using computed tomography (CT). The article presents five clinical cases demonstrating the use of CT navigation technology for performing bronchobiopsy in patients with peripheral pulmonary nodules.

Keywords: nodule; lung; computed tomography; multiplanar reconstruction; bronchobiopsy.

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

For citation: Chernichenko NV, Lagkueva ID, Susarev IO, Dzhigkaeva MM, Chkhikvadze VD. CT navigation is the key to successful bronchobiopsy for peripheral pulmonary nodules. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(1): 29–36 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-29-36>

For corresponding: Irina D. Lagkueva, E-mail: ilagkueva@mail.ru

Received January 17, 2024

Revised January 19, 2024

Accepted February 16, 2024

Введение / Introduction

Очаг в легком – это округлое или близкое к округлой форме новообразование диаметром до 3 см, не ассоциированное с ателектазом, лимфаденопатией средостения или плевральным выпотом, с возможной кальцификацией в структуре или кавитацией [1]. Очаги подразделяют на солидные, субсолидные и по типу матового стекла [2, 3]. Солидные очаги встречаются чаще, субсолидные потенциально более злокачественны. Риск злокачественности прямо пропорционален размерам очагов [4]. При обнаружении очага в легком в первую очередь перед врачом-рентгенологом встает вопрос о вероятности злокачественности новообразования.

Компьютерная томография (КТ) является приоритетным методом в диагностике заболеваний органов дыхания. Возможности метода существенно расширяются с применением болюсного контрастирования, позволяющего на основании динамики накопления препарата проводить дифференциальную диагностику выявленных изменений в легочной ткани [5, 6]. Появление и совершенствование новых методик, в частности перфузионного сканирования, позволяют с большей долей вероятности судить о характере очаговых изменений в легких на основании качественных и количественных параметров кровотока в зоне интереса [7].

С помощью высокоразрешающей КТ с толщиной среза 1 мм и менее можно повысить точность

характеристик очагов и образований, а также выполнять мультипланарные реформации (multiplanar reformation, MPR) в аксиальной, сагиттальной, корональной, произвольной плоскостях. Программы проекций максимальной интенсивности (maximum intensity projection, MIP) применяются для обнаружения очагов и очаговых диссеминаций, а также для характеристики сосудов при артериовенозной мальформации, внутридолевой секвестрации, аномалии легочных вен, аневризматических расширениях и т.д. [5]. Виртуальная бронхоскопия позволяет получить информацию о внутренней поверхности трахеи и бронхов, выявить сужение или дилатацию просвета бронхов диаметром 2 мм и более, определиться с уровнем и степенью выраженности изменений, оценить состояние бронха дистальнее уровня стеноза [8, 9]. Недостатком виртуальной бронхоскопии является отсутствие возможности оценки состояния слизистой оболочки и подслизистого слоя трахеобронхиального дерева, получить материал для последующего исследования [10]. Данные ресурсы постпроцессинговой обработки, несомненно, оказывают значимую помощь при работе с диагностическими изображениями.

Тем не менее зачастую судить о характере очагов в легких на основании только рентгенологической картины не представляется возможным ввиду схожей семиотики доброкачественных и злокачественных изменений. В большинстве случаев окончательный диагноз устанавливается на осно-

вании изучения морфологического материала, полученного в ходе бронхобиопсии, трансоракальной биопсии или хирургического лечения [11, 12]. Вероятность получения неинформативного материала при трансоракальной биопсии увеличивается при наличии очагов в легких небольшого размера или неудобного для пункции их расположения (вблизи крупных сосудистых структур, в наддиафрагмальных, задних кортикальных отделах легких на уровне лопаток и т.д.). Манипуляция сопряжена с риском возникновения осложнений в виде пневмоторакса, кровотечения, степень выраженности которых варьируется от незначительной до массивной [13].

Бронхобиопсия является первым этапом миниинвазивной диагностики на пути к морфологической верификации диагноза [14]. Однако ее роль в диагностике очаговых образований легких небольшого размера ограничена [15]. По данным литературы, результативность (т.е. возможность получения ткани опухоли для последующего гистологического или цитологического исследования) для центральных и периферических образований вместе составляет от 20% до 86%. Для образований размером 2 см и менее этот показатель не выше 34% [16]. Трудность получения диагностически информативного материала при бронхобиопсии из очагов периферической локализации в легких заключается непосредственно в строении бронхиального дерева. Задача специалистов дополнительно усложняется при наличии особенностей развития бронхолегочной системы. Наиболее частыми анатомическими вариациями являются наличие справа (чаще) или слева трахеального бронха, кардиального бронха слева, агенезия В7 справа, самостоятельное отхождение В1 и В2 от верхнедолевого бронха слева. Нередко присутствует дополнительная междолевая щель (особенность чаще наблюдается в левом легком) либо вовсе отсутствует какая-нибудь из основных междолевых щелей. После 40 лет происходят атрофические изменения слизистой оболочки и подслизистого слоя, обызвествление хрящевых полукольцев, что также оказывает влияние на возможность получения материала. Следует отметить и высокий риск угрозы кровотечения ввиду близкого расположения крупных сосудистых структур при работе с пораженными лимфоузлами, очагами, локализующимися в парамедиастинальных отделах или вблизи корней легких [17].

Морфологические данные позволяют определиться с дальнейшей тактикой в конкретной клинической ситуации. Более того, с учетом последних достижений в области таргетной терапии становится все более необходимым получать опухолевую ткань для анализа молекулярных данных с целью персонализации лечения [18–20].

Как показал наш опыт, предварительный анализ КТ-изображений, в частности применение программ постпроцессинговой обработки с целью определения оптимальной траектории до очага, в большинстве случаев дает возможность получить цитологический материал во время бронхобиопсии в сравнении с эндоскопическими исследованиями, проводившимися только на основании описательной картины. Знания о соотношении анатомических структур и очага, в частности с сосудами, позволяют снизить риск осложнений инвазивной процедуры. С помощью КТ с толщиной среза 2 мм и менее можно с точностью указать, на каком уровне деления бронхиального дерева локализуется очаг, выявить наличие либо отсутствие связи с бронхом, при положительном симптоме «подходящего» бронха определить оптимальную трассу до объекта изучения. Применение лучевых методов исследования позволяет предположить ожидаемую эндоскопическую картину путем изучения взаимосвязи очага и бронха, в частности компрессию извне, деформацию стенки бронха, что является маркером достижения области интереса, или инвазию опухолевых масс в просвет бронха.

Представляем серию клинических наблюдений, демонстрирующих применение технологии КТ-навигации при выполнении бронхобиопсии у пациентов с очаговыми образованиями в легких.

Описания случаев / Case reports

КТ-исследования легких выполнялись в ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России по стандартному протоколу на 128-срезовом компьютерном томографе Optima CT 660 (General Electric, США), минимальная толщина среза 0,6 мм. Постпроцессинговая обработка данных проводилась на рабочей станции Advantage Workstation (General Electric, США). Результаты КТ из других учреждений анализировались на диагностической рабочей станции «Видар-ИнфоРад 3.0», версия 3.2.7.29 (ООО «ПО Видар», Россия). Эндоскопическое исследование трахеи, бронхов проводилось с применением видеобронхоскопов BF-160 и BF-180 (эндоскопическая система EVIS Exera II) (Olympus, Япония). Выполнялись традиционная бронхоскопия с браш-биопсией и трансбронхиальная щипцовая биопсия для последующего морфологического исследования полученного материала.

Случай 1

Пациенту Н., 53 года, с подозрением на пневмонию выполнена КТ органов грудной клетки. По данным КТ в периферических отделах СЗ левого легкого выявлен мелкий очаг, предположен поствоспалительный характер изменений.



Рис. 1. КТ, легочное окно, аксиальная плоскость (а–с). Увеличение размеров очага в С3 левого легкого при контрольном исследовании

Fig. 1. CT scans, pulmonary window, axial plane (a–c). An increased size of the nodule in C3 of the left lung during a control study

Через 1 год проведено повторное КТ-исследование легких в связи с жалобами на сухой кашель. При сравнении исследований отмечено увеличение размеров солидного очага в С3 левого легкого. Очаг приобрел бугристые контуры, имел связь с бронхом, изменений в окружающей паренхиме не выявлено (рис. 1). С учетом отрицательной динамики размеров заподозрен злокачественный характер изменений.

На основании данных КТ выполнена бронхобиопсия. При осмотре трахея не изменена, картина острая, бронхи правого и левого легких имеют обычное анатомическое строение, шпоры острые, устья не деформированы. Слизистая бронхов гладкая, блестящая, без признаков опухолевой инфильтрации. Проведена браш-биопсия из С3 верхней доли левого легкого. Материал направлен на цитологическое исследование. По результатам

цитологического исследования: аденокарцинома С3 левого легкого.

При бронхоскопическом исследовании инструмент возможно провести до 4–5-го уровня деления бронхиального дерева, оценить состояние дистальнее расположенных ветвей ввиду мелкого диаметра бронхов не представляется возможным. Материал берется «вслепую», направление биопсийных инструментов осуществляется с учетом ранее определенной на КТ-изображениях траектории.

Несмотря на маленькие размеры и периферическую локализацию очага, у этого пациента удалось верифицировать диагноз посредством изучения материала, полученного в ходе бронхобиопсии. Больной направлен на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэтомии слева с медиастиальной лимфодиссекцией.

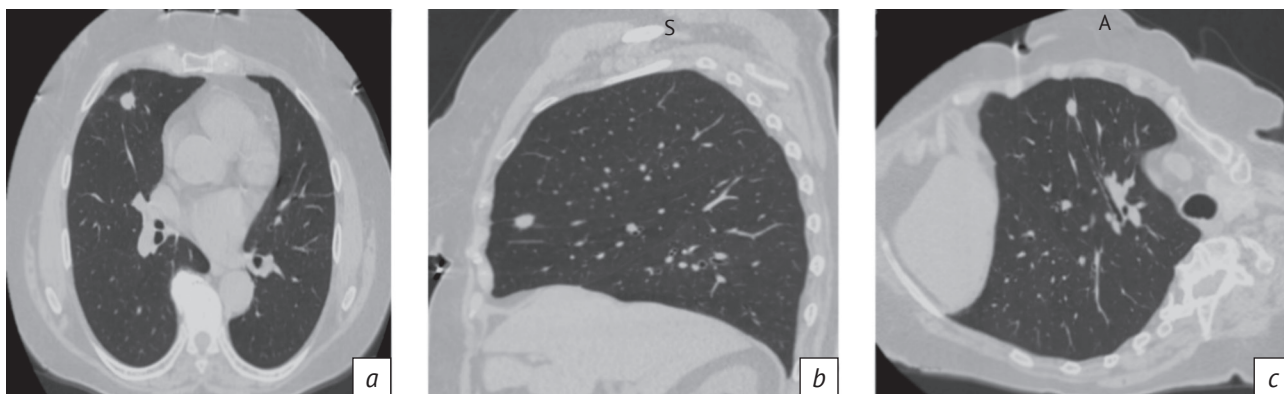


Рис. 2. КТ, легочное окно. В периферических отделах С3 правого легкого солидный очаг с «подходящим» бронхом: а – аксиальная плоскость; б – сагиттальная плоскость; в – криволинейная реконструкция

Fig. 2. CT scans, pulmonary window. In the peripheral parts of C3 of the right lung there is a solid lesion with a "suitable" bronchus:

a – axial plane; b – sagittal plane; c – curvilinear reconstruction

Случай 2

Пациенту К., 68 лет, по месту жительства проведена КТ органов грудной клетки. Согласно представленному протоколу в С5 правого легкого выявлен очаг. Выполнен пересмотр КТ-исследования. Очаг определен в С3 правого легкого, выявлена связь очага с бронхом (рис. 2). Проводилась дифференциальная диагностика между периферическим раком и хондрогамартомой.

На основании данных КТ выполнена бронхо-биопсия. Проведена браш-биопсия из С3 верхней доли правого легкого. Материал направлен на цитологическое исследование. По результатам цитологического исследования: нейроэндокринная опухоль легкого Grade 1 (типичный карциноид).

Правильное определение топике изменений позволило получить материал при бронхоскопии для последующего морфологического исследования. Пациент направлен на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэтомии справа с медиастинальной лимфодиссекцией.

Случай 3

Пациенту Х., 59 лет, по месту жительства выполнена КТ органов грудной клетки. Согласно представленному протоколу в С2 правого легкого выявлен очаг. Выполнен пересмотр исследования. Очаг определен в С1 правого легкого, присутствует связь очага с бронхом (рис. 3).

На основании данных КТ выполнена бронхо-биопсия. При осмотре субсегментарный бронх Б-16 полностью обтурирован бугристым опухолевым образованием. Слизистая оболочка по периферии образования с наличием патологической сосудистой сети ярко гиперемирована. Прове-

дена браш-биопсия из С1 верхней доли правого легкого. Материал направлен на цитологическое исследование. По результатам цитологического исследования: немелкоклеточный рак типа плоскоклеточного.

Пациент направлен на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэтомии справа с медиастинальной лимфодиссекцией.

Случай 4

Пациентке Ф., 49 лет, выполнена КТ органов грудной клетки. В С3 правого легкого выявлен солидный очаг размерами до 8 мм, отсутствует связь очага с бронхом (рис. 4).

На основании данных КТ выполнена бронхо-биопсия. При осмотре патологии в бронхах, доступных осмотру, не выявлено. По результатам цитологического исследования элементов злокачественной опухоли в пределах материала не обнаружено. Проведена трансторакальная биопсия. Гистологическое заключение: узел атипической аденоматозной гиперплазии легкого.

Пациентка направлена на консультацию к торакальному хирургу. Выполнено хирургическое лечение в объеме верхней лобэтомии справа с медиастинальной лимфодиссекцией.

Случай 5

Пациентке Р., 67 лет, с раком мочевого пузыря в анамнезе (T1N0M0) в плане динамического контроля выполнена КТ органов грудной клетки. По результатам КТ-исследования в С8 правого легкого выявлен очаг по типу матового стекла, предположен поствоспалительный характер изменений.



Рис. 3. КТ, криволинейная реконструкция. В периферических отделах С1 правого легкого солидный очаг с «подходящим» бронхом:

a – легочное окно; *b* – мягкотканное окно; *c* – легочное окно

Fig. 3. CT scans, curvilinear reconstruction. In the peripheral parts of C1 of the right lung there is a solid lesion with a "suitable" bronchus:

a – pulmonary window; *b* – soft tissue window; *c* – pulmonary window

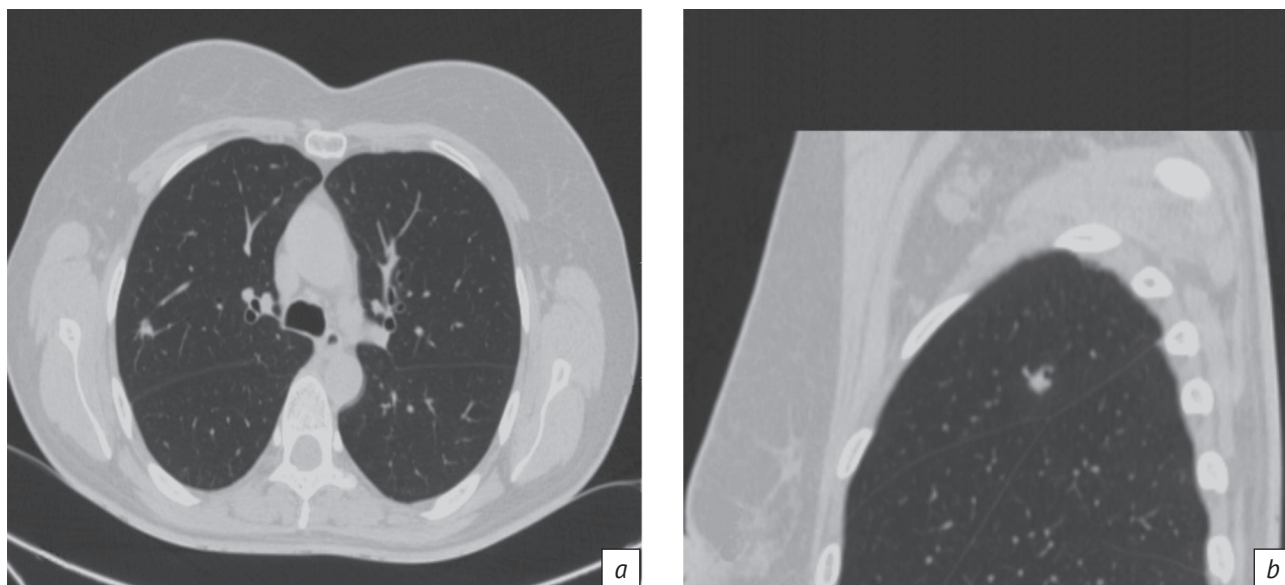


Рис. 4. КТ. В С3 правого легкого солидный очаг, отсутствует связь очага с бронхом:
a – легочное окно, аксиальная плоскость; *b* – легочное окно, сагиттальная плоскость

Fig. 4. CT scans. In C3 of the right lung there is a solid lesion; there is no connection between the lesion and the bronchus:
a – pulmonary window, axial plane; *b* – pulmonary window, sagittal plane

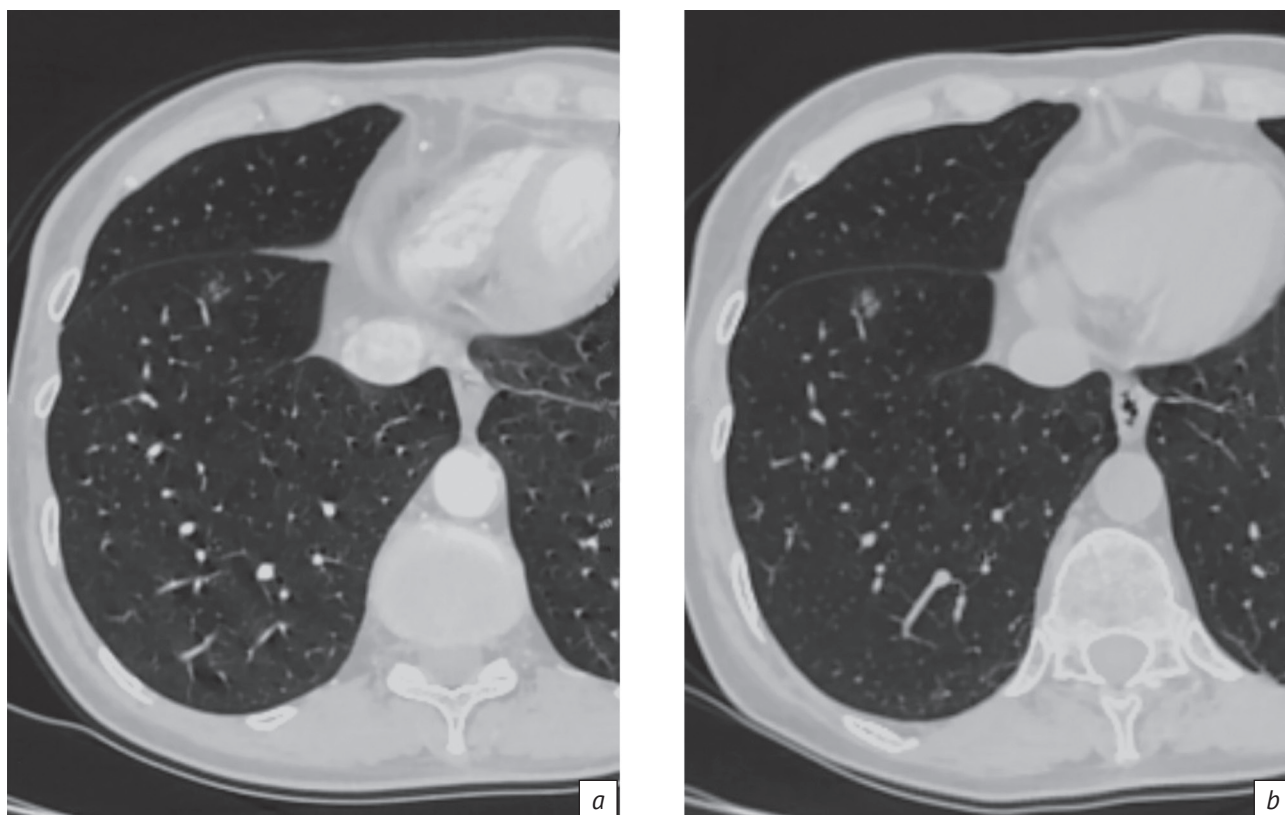


Рис. 5. КТ, легочное окно, аксиальная плоскость (*a, b*). Увеличение размеров очага в С8 правого легкого при контрольном исследовании

Fig. 5. CT scans, pulmonary window, axial plane (*a, b*). An increased size of the nodule in C8 of the right lung during a control study

Повторная КТ через 1 год 2 мес показала увеличение размеров очага в С8 правого легкого, нарастание денситометрических характеристик в зоне интереса, отсутствует связь очага с бронхом (рис. 5).

На основании данных КТ выполнена бронхобиопсия. При осмотре патологии в бронхах, доступных осмотру, не выявлено. По результатам цитологического исследования элементов злокачественной опухоли в пределах материала не обнаружено. Выполнена трансторакальная биопсия. Гистологическое заключение: верифицированная минимально инвазивная аденокарцинома легкого.

Выполнена видеоторакоскопическая резекция нижней доли правого легкого.

Обсуждение / Discussion

Проблемы получения диагностически значимого материала бронхобиопсии при очаговых образованиях легких возникают в основном в связи с техническими трудностями доступа к очагу из-за анатомической локализации, что обусловлено пределом гибкости эндоскопических инструментов.

Наиболее часто это локализация патологического очага в периферической зоне С1, С2 верхней доли и С6 нижней доли левого легкого, а также в случаях, когда бронхи проксимальных отделов сдавлены бронхопальмональными лимфоузлами, что сопровождается невозможностью достичь патологического очага.

Таким образом, получение материала бронхобиопсии, достаточного для морфологического подтверждения диагноза, зависит, в первую очередь, от анатомической локализации и наличия связи с бронхом. Проведение предварительной КТ-навигации, точное представление врачом-эндоскопистом трассы, ведущей к образованию, – залог успеха в получении диагностического материала.

Заключение / Conclusion

Применение новых технологий, включая сочетание КТ-навигации и бронхоскопических методов при очаговых образованиях, позволяет повысить возможности малоинвазивных методов диагностики, способствует установлению диагноза в более сжатые сроки, что, в свою очередь, имеет значение для результатов лечения.

Литература [References]

- MacMahon H, Naidich DP, Goo JM. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the Fleischner Society 2017. *Radiology*. 2017; 284(1): 228–43. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017161659>.
- Gould MK, Donington J, Lynch WR, et al. Evaluation of individuals with pulmonary nodules: when is it lung cancer? *Diagnosis and management of lung cancer*, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*. 2013; 143(5 Suppl): e93S–120S. <https://doi.org/10.1378/chest.12-2351>.
- Тюрин И.Е. Дифференциальная диагностика одиночных очагов в легких. *Поликлиника*. 2014; 3-1: 28–32. [Tyurin IE. Differential diagnosis of single nodules in the lungs. *Polyclinic*. 2014; 3-1: 28–32 (in Russ).]
- Weinberger SE, McDermott S. Diagnostic evaluation of the incidental pulmonary nodule. Available at: <https://www.uptodate.com/contents/diagnostic-evaluation-of-the-incidental-pulmonary-nodule> (accessed 23.12.2023).
- Котляров П.М. Постпроцессинговая обработка данных мультиспиральной компьютерной томографии в уточненной диагностике патологических изменений при диффузных заболеваниях легких. *Пульмонология*. 2017; 27(4): 472–7. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477>. [Kotlyarov PM. Multispiral computed tomography post-processing for refining diagnosis of diffuse lung diseases. *Pulmonologiya*. 2017; 27(4): 472–7 (in Russ). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2017-27-4-472-477>]
- Тюрин И.Е. Диагностический алгоритм при очаговых изменениях в легких по данным высокоразрешающей компьютерной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2013; 6: 44–50. [Tyurin IE. Differential diagnosis of focal changes on computed tomography. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2013; 6: 44–50.]
- Лагуева И.Д., Сергеев Н.И., Котляров П.М. и др. Перфузионная компьютерная томография в уточнении природы очаговой патологии легких. *Лучевая диагностика и терапия*. 2019; 1: 62–8. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-62-68>. [Lagkueva ID, Sergeev NI, Kotlyarov PM, et al. Perfusion computed tomography in refinement nature and focal lung disease. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2019; 1: 62–8 (in Russ). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-62-68>]
- Adachi T, Machida H, Nishikawa M, et al. Improved delineation of CT virtual bronchoscopy by ultrahigh-resolution CT: comparison among different reconstruction parameters. *J Radiol*. 2020; 38(9): 884–9. <https://doi.org/10.1007/s11604-020-00972-y>.
- Hiddinga BI, Slebos DD, David Koster T, et al. Added diagnostic value of virtual bronchoscopic navigation in patients with pulmonary nodules – the NAVIGATOR study. *Lung Cancer*. 2023; 177: 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2023.01.012>.
- Kato A, Yasuo M, Tokoro Y, et al. Virtual bronchoscopic navigation as an aid to CT-guided transbronchial biopsy improves the diagnostic yield for small peripheral pulmonary lesions. *Respirology*. 2018; 23(11): 1049–54. <https://doi.org/10.1111/resp.13377>.
- Hou WS, Wu HW, Yin Y, et al. Differentiation of lung cancers from inflammatory masses with dual-energy spectral CT imaging. *Acad Radiol*. 2015; 22(3): 337–44. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2014.10.004>.

12. Nanavaty P, Alvarez MS, Alberts WM. Lung cancer screening: advantages, controversies, and applications. *Cancer Control*. 2014; 21(1): 9–14. <https://doi.org/10.1177/107327481402100102>.
13. Azour L, Liu S, Washer SL, Moore WH. Percutaneous transthoracic lung biopsy: optimizing yield and mitigating risk. *J Comput Assist Tomogr*. 2021; 45(5): 765–75. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001192>.
14. Shen YC, Chen CH, Tu CY. Advances in diagnostic bronchoscopy. *Diagnostics (Basel)*. 2021; 11(11): 1984. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11111984>.
15. Miyoshi S, Isobe K, Shimizu H, et al. The utility of virtual bronchoscopy using a computed tomography workstation for conducting conventional bronchoscopy: a retrospective analysis of clinical practice. *Respiration*. 2019; 97(1): 52–9. <https://doi.org/10.1159/000492074>.
16. Ashraf SF, Lau KKW. Navigation bronchoscopy: a new tool for pulmonary infections. *Med Mycol*. 2019; 57(Suppl 3): S287–93. <https://doi.org/10.1093/mmy/myz058>.
17. Adamczyk M, Tomaszewski G, Naumczyk P, et al. Usefulness of computed tomography virtual bronchoscopy in the evaluation of bronchi divisions. *J Radiol*. 2013; 78(1): 30–41. <https://doi.org/10.12659/PJR.883765>.
18. Ruiz-Cordero R, Devine WP. Targeted therapy and checkpoint immunotherapy in lung cancer. *Surg Pathol Clin*. 2020; 13(1): 17–33. <https://doi.org/10.1016/j.path.2019.11.002>.
19. Reck M, Remon J, Hellmann MD. first-line immunotherapy for non-small-cell lung cancer. *J Clin Oncol*. 2022; 40(6): 586–97. <https://doi.org/10.1200/JCO.21.01497>.
20. Hirsch FR, Scagliotti GV, Mulshine JL, et al. Lung cancer: current therapies and new targeted treatments. *Lancet*. 2017; 389(10066): 299–311. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30958-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30958-8).



Редкий клинический случай аденокарциномы урахуса: особенности диагностической картины по данным лучевых методов обследования

Ребрикова В.А.¹, Иванников М.Е.¹, Егорова Е.В.¹, Нуднов Н.В.^{1, 2, 3}

¹ ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, ул. Профсоюзная, 86, стр. 1, Москва, 117485, Российская Федерация

² ФГБУ «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1, Москва, 125993, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва 117198, Российская Федерация

Ребрикова Вера Александровна, к. м. н., науч. сотр. лаборатории рентгенорадиологии научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0001-8348-5143>

Иванников Михаил Евгеньевич, клинический ординатор по специальности «рентгенология» ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0009-0007-0407-0953>

Егорова Екатерина Владимировна, к. м. н., ст. науч. сотр. лаборатории рентгенорадиологии научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0003-2552-5754>

Нуднов Николай Васильевич, д. м. н., зам. директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБУ «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, профессор кафедры онкологии и рентгенорадиологии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»; <http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Резюме

В статье представлено клиническое наблюдение пациентки 1965 г.р., обследованной и пролеченной в ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, у которой по результатам лучевой диагностики (ультразвуковое исследование, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография) в мае 2023 г. была определена опухоль передней стенки мочевого пузыря. Анализ биопсийного материала, полученного в ходе цистоскопии, выявил высокодифференцированную муцинозную аденокарциному урахуса. На основании установленного диагноза злокачественного новообразования первичного мочевого протока (урахуса) pT3N0M0 II ст. больной было показано хирургическое лечение. В июне 2023 г. проведена операция в объеме лапароскопической передней экзентерации таза с формированием кишечного резервуара по Bricker. При контрольном обследовании через 3 мес прогрессирования заболевания не выявлено. Асимптомность развития рака урахуса на ранних стадиях, особенности его расположения в полости малого таза и склонность к метастазированию, равно как и редкость самого новообразования, указывают на необходимость более ранней и точной верификации диагноза. Данный клинический случай демонстрирует характерные клинические и лучевые признаки аденокарциномы урахуса, которые могут помочь рентгенологам, онкологам и урологам в постановке диагноза и выборе правильной тактики лечения.

Ключевые слова: урахус; рак урахуса; карцинома урахуса; аденокарцинома урахуса; лучевая диагностика.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ребрикова В.А., Иванников М.Е., Егорова Е.В., Нуднов Н.В. Редкий клинический случай аденокарциномы урахуса: особенности диагностической картины по данным лучевых методов обследования. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(1): 37–42. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-37-42>

Для корреспонденции: Иванников Михаил Евгеньевич, E-mail: ivannikovmichail@gmail.com

Статья поступила 21.02.2024

После доработки 25.02.2024

Принята к печати 26.02.2024

A Rare Clinical Case of Urachal Adenocarcinoma: Diagnostic Picture Peculiarities According to Radiological Data

Vera A. Rebrikova¹, Mikhail E. Ivannikov¹, Ekaterina V. Egorova¹, Nikolay V. Nudnov^{1, 2, 3}

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology,
ul. Profsoyuznaya, 86, str. 1, Moscow, 117485, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education,
ul. Barrikadnaya, 2/1, str. 1, Moscow, 125993, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia,
ul. Miklukho-Maklaya, 6, Moscow 117198, Russian Federation

Vera A. Rebrikova, Cand. Med. Sc., Researcher, Laboratory of Radiology, Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0001-8348-5143>

Mikhail E. Ivannikov, Clinical Resident in Radiology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0009-0007-0407-0953>

Ekaterina V. Egorova, Cand. Med. Sc., Senior Researcher, Laboratory of Radiology, Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0003-2552-5754>

Nikolay V. Nudnov, Dr. Med. Sc., Deputy Director for Scientific Work, Head of Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; Professor, Chair of Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; Professor, Chair of Oncology and Radiology, Peoples' Friendship University of Russia;
<http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Abstract

The article presents the clinical observation of a patient born in 1965, who was examined and treated at the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology for tumor of anterior bladder wall detected in May 2023 according to the results of radiation diagnostic methods (ultrasound, computed tomography, magnetic resonance imaging). Analysis of biopsy material obtained during cystoscopy revealed a highly differentiated mucinous urachal adenocarcinoma. Based on the diagnosis of malignant neoplasm of primary urinary tract (urachus) pT3N0M0 stage II, the surgical treatment was proposed. In June 2023, the Bricker procedure was performed: laparoscopic anterior pelvic exenteration with formation of intestinal reservoir. Control examination 3 months after showed no progression of the disease. Asymptomatic development of urachal carcinoma in early stages, peculiarities of its location in pelvic cavity and propensity to metastasis, as well as the rarity of such neoplasm indicate the need for earlier and more accurate verification of the diagnosis. This clinical case demonstrates characteristic clinical and imaging features of urachal adenocarcinoma, which may help radiologists, oncologists, and urologists in making diagnosis and choosing correct treatment tactics.

Keywords: urachus; urachal cancer; urachal carcinoma; urachal adenocarcinoma; radiation diagnosis.

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

For citation: Rebrikova VA, Ivannikov ME, Egorova EV, Nudov NV. A rare clinical case of urachal adenocarcinoma: diagnostic picture peculiarities according to radiological data. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(1): 37–42 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-37-42>

For corresponding: Mikhail E. Ivannikov, E-mail: ivannikovmichail@gmail.com

Received February 21, 2024

Revised February 25, 2024

Accepted February 26, 2024

Введение / Introduction

Урахус представляет собой трубчатый орган, развивающийся из аллантаоиса, по которому происходит отток мочи из мочевого пузыря плода. В процессе внутриутробного развития происходит постепенная облитерация уракуса с формированием срединной пупочной связки, соединяющей верхушку мочевого пузыря и пупок. Данный процесс может нарушаться, что приводит к образованию аномалий уракуса [1, 2].

Аденокарцинома уракуса относится к числу редких онкологических заболеваний. Среди всех злокачественных новообразований мочевого пузыря частота выявления данной онкологической патологии составляет 0,35–0,70%, а среди всех злокачественных опухолей – 0,01%. В числе злокачественных новообразований уракуса аденокарцинома является наиболее распространенным в клинической практике гистологическим вариантом и составляет 42,9% случаев. Средний

возраст пациента с раком урахуса – 59 лет, соотношение частоты развития новообразования у мужчин и женщин – 1,44:1. Общая 5-летняя выживаемость больных данной онкологической группы в среднем составляет 50% [3].

Среди клинических проявлений карциномы урахуса чаще всего встречается гематурия, затем следуют абдоминальная боль, дизурия и мукозурия [4]. Важно отметить, что начальные стадии рака урахуса протекают преимущественно бессимптомно, из-за чего к моменту постановки диагноза у пациентов уже может выявляться метастазирование опухоли [5, 6]. Существует несколько систем стадирования карциномы урахуса, наиболее распространенными являются классификации Sheldon и Mayo Clinic. Обе системы основаны на степени распространения опухоли и наличии региональных и отдаленных метастазов. Более часто применяемая классификация Sheldon отличается исчерпывающим описанием распространенности опухолевого процесса на соседние органы, что влияет на стадирование заболевания [4].

Инструментальная диагностика рака урахуса включает цистоскопию, ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерную томографию (КТ) и магнитно-резонансную томографию (МРТ) урахуса [7, 8]. При УЗИ рак урахуса может визуализироваться как гиперэхогенное мягкотканное образование. По данным КТ образование имеет гетерогенную кистозно-солидную структуру с признаками центральной или периферической кальцификации в 75% случаев. МРТ позволяет определить в структуре опухоли муцин, кистозные и некротические изменения, проявляющиеся гиперинтенсивным сигналом на T2-взвешенных изображениях (ВИ), а также выявить локальную инвазию в мягкие ткани [9].

Основным методом лечения рака урахуса является хирургический, а именно удаление урахуса с полной или частичной цистэктомией и двусторонней тазовой лимфаденэктомией. При обнаружении рака на поздних стадиях возможно применение неоадьювантной химиотерапии. Эффективность лучевой терапии на данный момент сложно оценить из-за малого объема данных и небольшого количества исследований [7].

Представляем клинический случай, который демонстрирует особенности лучевой диагностики и собственный опыт лечения пациентки с аденокарциномой урахуса.

Описание случая / Case report

Пациентка Е. 1965 г.р. в течение 6 мес отмечала примесь крови в моче и эпизодические боли внизу живота. В связи с данными жалобами по месту жительства было проведено УЗИ.

При УЗИ-исследовании в передней стенке мочевого пузыря и апексе визуализировалось объемное образование кистозно-солидного характера, выбухающее в просвет мочевого пузыря по типу псевдивертикула, общими размерами 72,3 × 43,8 мм (вид «цветной капусты»). Образование неоднородное, смешанной эхогенности, с неровными контурами, в режиме цветового доплеровского картирования определялась его васкуляризация. По месту жительства также были выполнены мультисрезовая КТ органов брюшной полости с частичным захватом малого таза и МРТ органов малого таза, по результатам которых подтверждено наличие новообразования мочевого пузыря.

В дальнейшем с целью дообследования и лечения пациентка обратилась в ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России. Последовательно проведены КТ органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза, МРТ органов малого таза и цистоскопия с щипковой биопсией.

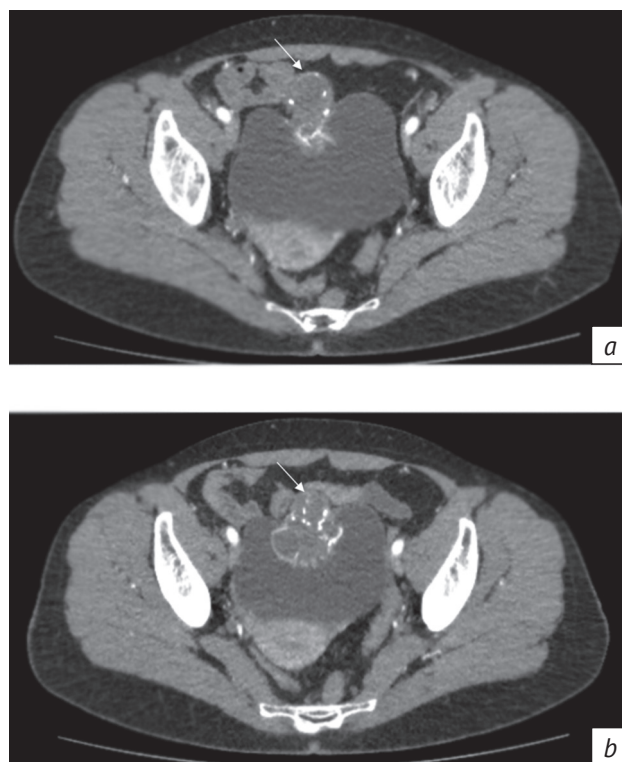


Рис. 1. КТ органов малого таза, аксиальная плоскость:
а – внепузырный рост опухоли с прилежанием петли тонкой кишки (стрелка); б – внутрипузырный рост опухоли с кальцинатами в структуре (стрелка)

Fig. 1. Pelvic CT, axial plane:
а – extravesical tumor growth with adhesion of small intestine loop (arrow); б – intravesical tumor growth with calcinates in the structure (arrow)

При КТ-исследовании на передневерхней стенке мочевого пузыря визуализировалась опухоль с кальцинатами, с внутри- и внепросветным ростом, размерами приблизительно 55×50 см, при этом выявлено плотное прилежание петли тонкой кишки к новообразованию (рис. 1). Данных за метастазы в органы грудной клетки, брюшной полости не получено.

По результатам МРТ органов малого таза до и после контрастного усиления в сравнении с результатами предыдущего исследования, выпол-

ненного по месту жительства, было отмечено увеличение кистозно-солидного образования в передней стенке мочевого пузыря, пролабирующего в просвет и прорастающего в паравезикальную клетчатку, – изменение размеров с $4,5 \times 2,4 \times 3,0$ до $6,8 \times 3,5 \times 4,5$ см, увеличение солидного компонента в структуре, признаки ограничения диффузии в нем и интенсивное гетерогенное контрастирование структуры образования. Дополнительно отмечалось нерезкое увеличение подвздошных лимфатических узлов справа (рис. 2).

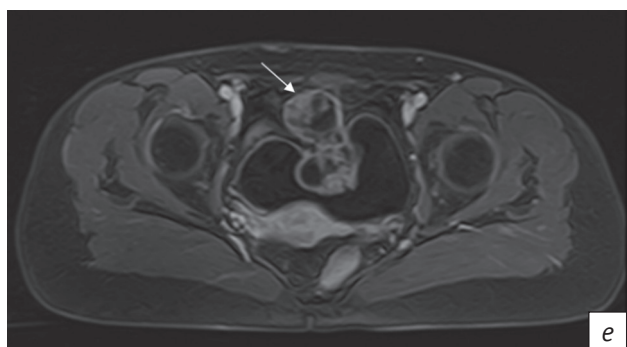
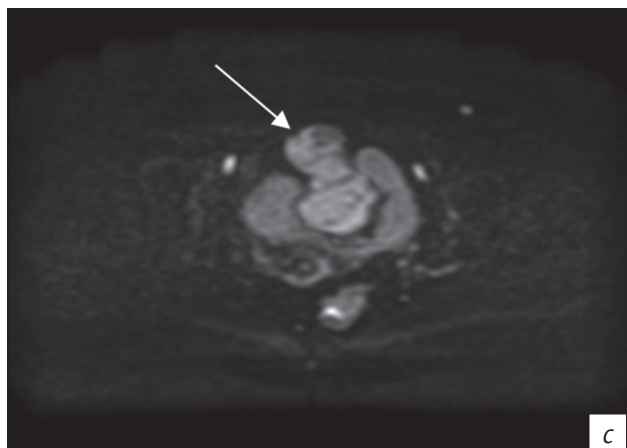


Рис. 2. МРТ органов малого таза:

a – Т2-ВИ в сагиттальной плоскости, внутривезикулярный рост опухоли (стрелка); *b* – Т2-ВИ в сагиттальной плоскости, внепузырный рост опухоли (стрелка); *c* – DWI, аксиальная проекция, опухоль неоднородно ограничивает диффузию (стрелка); *d* – карта измеряемого коэффициента диффузии, опухоль неоднородно ограничивает диффузию (стрелка); *e* – T1-ВИ с контрастированием в аксиальной плоскости, гетерогенное накопление контрастного препарата опухолью (стрелка)

Fig. 2. Pelvic MRI:

a – T2WI, sagittal plane, intravesical tumor growth (arrow); *b* – T2WI, sagittal plane, extravesical tumor growth (arrow); *c* – DWI, axial plane, tumor heterogeneously restricts diffusion (arrow); *d* – apparent diffusion coefficient map, tumor heterogeneously restricts diffusion (arrow); *e* – contrast T1WI, axial plane, heterogeneous accumulation of contrast agent by tumor (arrow)

По данным цистоскопии с биопсией в исследованном материале выявлен небольшой фрагмент слизистой оболочки мочевого пузыря, покрытый уротелием обычного гистологического строения. Отдельно обнаружен фрагмент высокодифференцированной муцинозной аденокарциномы без подлежащей стенки мочевого пузыря. С учетом клинических данных и локализации опухолевого процесса морфологическая картина соответствует высокодифференцированной муцинозной аденокарциноме урахуса.

На основании всех проведенных исследований больной был поставлен диагноз: злокачественное новообразование первичного мочевого протока (урахуса) pT3N0M0 II ст. В качестве хирургического лечения выполнена лапароскопическая передняя экзентерация таза с формированием кишечного резервуара по Bricker. Послеоперационный период протекал без осложнений, проводилась консервативная антибактериальная, антикоагулянтная, противовоспалительная терапия. Согласно заключению гистологического исследования удаленная опухоль являлась высокодифференцированной муцинозной аденокарциномой урахуса, что окончательно подтвердило верность выставленного диагноза. Пациентка выписана с улучшением состояния.

Принимая во внимание морфологическую структуру опухоли, ее низкую радиобиологическую чувствительность и объем хирургического лечения, проведение послеоперационной лучевой терапии показано не было. Пациентке рекомендовано наблюдение онколога по месту жительства, контрольное обследование через 3 мес. При контрольном обследовании данных за прогрессирование заболевания не выявлено.

Обсуждение / Discussion

По результатам обследования пациентки с аденокарциномой урахуса выявлены некоторые наиболее типичные для данной патологии признаки.

Первое, что обращает на себя внимание, – это характерное расположение опухоли по средней линии передней стенки мочевого пузыря, что, согласно С. Ke et al. [10], позволяет уже с большой точностью предположить происхождение опухолевого образования из урахуса. Следующей особенностью является гетерогенность внутренней структуры образования, что обусловлено скоплениями муцина в опухолевом узле. А выявление кальцинатов преимущественно по периферии новообразования следует рассматривать как патогномоничный признак аденокарциномы урахуса [8].

Подобная характерная визуальная картина заболевания встречается и в зарубежных клинических примерах, например в работе X. Chen et al. [11], где новообразование урахуса, как и в нашем случае, диагностировано в процессе проведения УЗИ и КТ. Важность мультимодального подхода к диагностике демонстрируют и два отечественных клинических примера, в которых в процессе диагностического поиска проведены УЗИ и МРТ [12, 13]. Следует также отметить, что существуют исследования по применению позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с КТ (ПЭТ/КТ), в диагностике рака урахуса – например, работа L. Stokkel et al. [14], результаты которой свидетельствуют о возможности использования ПЭТ/КТ для выявления местного рецидива опухоли и отдаленных метастазов.

Заключение / Conclusion

Асимптомность развития рака урахуса на ранних стадиях, особенности его расположения в полости малого таза и склонность к метастазированию, равно как и редкость самого новообразования, указывают на необходимость более ранней и точной верификации диагноза. Данный клинический случай демонстрирует характерные клинические и лучевые признаки аденокарциномы урахуса, которые могут помочь рентгенологам, онкологам и урологам в постановке диагноза и выборе правильной тактики лечения.

Литература [References]

1. Buddha S, Menias C.O, Katabathina VS. Imaging of urachal anomalies. *Abdom Radiol (NY)*. 2019; 44(12): 3978–89. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02205-x>.
2. Taylor AS, Mehra R, Udager AM. Glandular tumors of the urachus and urinary bladder: a practical overview of a broad differential diagnosis. *Arch Pathol Lab Med*. 2018; 142(10): 1164–76. <https://doi.org/10.5858/arpa.2018-0206-RA>.
3. Mylonas KS, Malley PQ, Ziogas IA, et al. Malignant urachal neoplasms: a population-based study and systematic review of literature. *Urol Oncol*. 2017; 35(1): 33.e11–19. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2016.07.021>.
4. Szarvas T, Módos O, Niedworok C, et al. Clinical, prognostic, and therapeutic aspects of urachal carcinoma – a comprehensive review with meta-analysis of 1,010 cases. *Urol Oncol*. 2016; 34(9): 388–98. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2016.04.012>.
5. Yu YD, Ko YH, Kim JW, et al. The prognosis and oncological predictor of urachal carcinoma of the bladder: a large scale multicenter cohort study analyzed 203 patients with long term follow-up. *Front Oncol*. 2021; 11: 683190. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.683190>.
6. Gural Z, Yücel S, Oskeroğlu S, Ağaoğlu F. Urachal adenocarcinoma: a case report and review of the literature. *J Cancer Res Ther*. 2022; 18(1): 291–3. https://doi.org/10.4103/jcrt.JCRT_28_20.
7. Loizzo D, Pandolfo SD, Crocero F, et al. Current management of urachal carcinoma: an evidence-based guide for clinical

- practice. Eur Urol Open Sci. 2022; 39: 1–6.
<https://doi.org/10.1016/j.euro.2022.02.009>.
8. Parada Villavicencio C, Adam SZ, Nikolaidis P, et al. Imaging of the urachus: anomalies, complications, and mimics. Radiographics. 2016; 36(7): 2049–63.
<https://doi.org/10.1148/rg.2016160062>.
9. Das JP, Vargas HA, Lee A, et al. The urachus revisited: multimodal imaging of benign & malignant urachal pathology. Br J Radiol. 2020; 93(1110): 20190118.
<https://doi.org/10.1259/bjr.20190118>.
10. Ke C, Hu Z, Yang C. Preoperative accuracy of diagnostic evaluation of urachal carcinoma. Cancer Med. 2023; 12(8): 9106–15. <https://doi.org/10.1002/cam4.5648>.
11. Chen X, Kang C, Zhang M. Imaging features of urachal cancer: a case report. Front Oncol. 2019; 9: 1274.
<https://doi.org/10.3389/fonc.2019.01274>.
12. Ньюшко К.М., Алексеев Б.Я., Калпинский А.С., Каприн А.Д. Рак урахуса. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2015; 4(3): 43–7. [Niushko KM, Alekseev BA, Kalpinskiy AS, Kaprin AD. Urachal cancer. P.A. Herzen Journal of Oncology. 2015; 4(3): 43–7 (in Russ).]
13. Нагорнов П.В., Сумский П.В. Аденокарцинома урахуса: клиническое наблюдение. Оренбургский медицинский вестник. 2017; 5(2): 21–2. [Nagornov PV, Sumskiy PV. Urachal carcinoma: case report. Orenburg Medical Bulletin. 2017; 5(2): 21–2 (in Russ).]
14. Stokkel LE, Stokkel MPM, Donswijk ML, et al. The diagnostic value of FDG-PET/CT for urachal cancer. Clin Genitourin Cancer. 2021; 19(5): 373–80.
<https://doi.org/10.1016/j.clgc.2021.03.002>.



GE HealthCare

Макроциклический
Кларискан
Гадотеровая кислота



Гадотеровая кислота + Опыт GE HealthCare = Макроциклический Кларискан*

❏ **Диагностическая эффективность^{1,2}**

❏ **Безопасность^{2,3}**

❏ **Широкий спектр показаний**

МРТ головного и спинного мозга, окружающих тканей (с 0 лет);

МРТ всего тела (с 6 месяцев);

МР-ангиография при поражениях и стенозах некоронарных артерий (с 18 лет)⁴.



Информация для работников здравоохранения. Имеются противопоказания. Перед назначением препарата ознакомьтесь, пожалуйста, с полной версией инструкции по медицинскому применению. Отсканируйте QR-код для просмотра инструкции на сайте Государственного реестра лекарственных средств Российской Федерации.

* Регистрационное удостоверение в РФ ЛП-006111 от 21.02.2020.

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.

ООО «Джии Хэлскеа Фарма»

123112, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Пресненский,
Пресненская наб., д. 10, этаж 14, помещ. I, ком. 1

gehealthcare.ru

© 2023 GE HealthCare. На правах рекламы
GE является товарным знаком компании General Electric,
используемым на основании лицензионного соглашения

JB02187RU

Скоро!

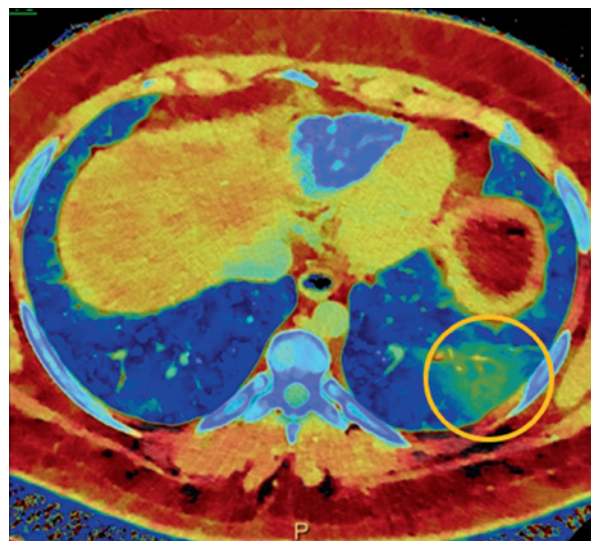
Новый онлайн-курс «Спектральный взгляд на рутинные исследования»

Приглашаем вас на **онлайн-курс** по практическому применению спектральных данных компьютерной томографии «Спектральный взгляд на рутинные исследования».

В рамках курса вас ждет представление технологии спектральной КТ на базе двухслойного детектора и **разбор клинических случаев из практики работы на спектральном КТ Philips российских центров, а также последние кейсы из зарубежных стран.**

Эксперты рассмотрят **вопросы широкого применения** спектрального режима сканирования **в ежедневной практике** и его преимущества в диагностике сердечно-сосудистых, опухолевых, травматических и других патологий.

Участие бесплатное.



Предварительная регистрация уже открыта!

Регистрируйтесь – и мы напомним вам, когда онлайн-курс начнется.

Сканируйте QR-код или переходите по ссылке www.philips.ru/radiology-education

Видеть больше для уверенности в каждом диагнозе

ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ЭКСПЕРТНОГО УРОВНЯ НА 2 РАБОЧИХ МЕСТА **P-600 ДУОГРАФ**

Диагностика экспертного уровня

ПАКЕТ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ:

- **Линейная томография** (на столе)
- **Томосинтез** (на столе и на стойке)
- **Панорамный снимок** (сшивка)
- **Мультиэнергия** (подавление костной ткани)
- **Педиатрические исследования**



ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ
ПО АПР (АВТО)

ПОЛНАЯ МОТОРИЗАЦИЯ
ШТАТИВА

АВТОТРЕКИНГ
И АВТОФОКУС

СНИМКИ ВЫСОКОГО
КАЧЕСТВА С ПЕРВОЙ
СЪЕМКИ

НАДЕЖНАЯ
КОНСТРУКЦИЯ



Специальная стойка и платформа
для сшивки, а также исследования
стоп под нагрузкой



СДЕЛАНО В РФ!