

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

Вестник
Journal

рентгенологии
of Radiology

и радиологии
and Nuclear Medicine

Том
Vol.

104, №4, 2023

Вестник рентгенологии и радиологии

Рецензируемый научно-практический журнал

Том 104, № 4, 2023

Journal of Radiology and Nuclear Medicine

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Vol. 104, No. 4, 2023

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 ПИ No. ФС77-71544, November 13, 2017.

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

Founder 1:	Russian Society of Radiology
Address:	129344, Moscow, 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

**Кудашкина А.С., Камышанская И.Г., Павелец К.В., Русанов Д.С.,
Калюжный С.А.**

Возможности 3D-моделирования в оценке резектабельности опухолей головки
поджелудочной железы 244

Малева О.В., Короткевич А.А., Трубникова О.А., Семенов С.Е., Барбараш О.Л.

Возможности однофотонной эмиссионной компьютерной томографии в диагностике
ранней послеоперационной когнитивной дисфункции при реваскуляризации сердца
и головного мозга 255

Клинические случаи

Федотов А.Н., Тюрин И.Е.

Мезенхимальная кистозная гамартома легкого 264

Обзоры

**Токмачева А.А., Вялкин Д.С., Троц А.А., Тараканова Е.Е., Давлетова Ю.И.,
Абдуллина Э.Л., Степанадзе В.Б., Ахметова А.И., Шагиева Н.Э., Ускова В.Д.,
Коновалова В.С., Магданова А.Р.**

Радиомика в диагностике узловых образований щитовидной железы 270

Лекции

Миронов С.П., Сергиенко В.Б.

Динамическая гепатохолесцинтиграфия с применением радиофармпрепарата
Бромезида® ^{99m}Tc 279

Original research

**Aleksandra S. Kudashkina, Irina G. Kamyshanskaya, Konstantin V. Pavelets,
Dmitry S. Rusanov, Sergey A. Kalyuzhnyy**

3D-modeling Capabilities in Assessing Resectability of Pancreatic Head Tumors 244

**Olga V. Maleva, Alexey A. Korotkevich, Olga A. Trubnikova, Stanislav E. Semenov,
Olga L. Barbarash**

Single-Photon Emission Computed Tomography in the Diagnosis of Early Postoperative
Cognitive Dysfunction After Combined Carotid Endarterectomy and Coronary Artery
Bypass Grafting 255

Case reports

Alexey N. Fedotov, Igor E. Tuyrin

Mesenchymal Cystic Hamartoma of the Lung 264

Reviews

**Angelina A. Tokmacheva, Dmitry S. Vyalkin, Alina A. Trots, Elizaveta E. Tarakanova,
Yulia I. Davletova, Elina L. Abdullina, Vakhtang B. Stepnadze, Almira I. Akhmetova,
Nuriya E. Shagieva, Varvara D. Uskova, Victoria S. Konovalova, Aigul R. Magdanova**

Radiomics in the Diagnosis of Thyroid Nodules 270

Lectures

Sergey P. Mironov, Vladimir B. Sergienko

Dynamic Hepatocholescintigraphy with Bromesida® ^{99m}Tc 279



Возможности 3D-моделирования в оценке резектабельности опухолей головки поджелудочной железы

Кудашкина А.С.^{1,2}, Камышанская И.Г.^{1,2}, Павелец К.В.^{2,3,4}, Русанов Д.С.^{2,3}, Калюжный С.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Университетская наб., 7-9, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

² СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница»,
Литейный пр-т, 56, Санкт-Петербург, 191014, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Минздрава России,

ул. Литовская, 2, Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России,
Пискаревский пр-т, 47, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация

Кудашкина Александра Сергеевна, ассистент кафедры онкологии медицинского факультета ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», заведующая отделением магнитно-резонансной томографии СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница»;

<https://orcid.org/0009-0004-3085-9964>

Камышанская Ирина Григорьевна, д. м. н., профессор кафедры онкологии медицинского факультета ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», заведующая отделом лучевой диагностики СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница»;

<https://orcid.org/0000-0002-8351-9216>

Павелец Константин Вадимович, д. м. н., профессор кафедры факультетской хирургии им. проф. А.А. Русанова ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, профессор кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, заведующий 6-м хирургическим отделением СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница»;

<https://orcid.org/0000-0002-1921-8427>

Русанов Дмитрий Сергеевич, к. м. н., ассистент кафедры факультетской хирургии им. проф. А.А. Русанова ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, врач-эндоскопист СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница»;

<https://orcid.org/0000-0001-9101-7673>

Калюжный Сергей Алексеевич, врач-хирург СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница»;

<https://orcid.org/0000-0002-3507-6123>

Резюме

Актуальность. Рак головки поджелудочной железы (ПЖ) занимает 6–7-е место по распространенности среди онкологических заболеваний и 4–5-е место среди причин смертности. На сегодняшний день только 5% больных достигают 5-летней выживаемости. Несмотря на успехи современной диагностики и хирургического лечения, проблема раннего выявления, стадирования онкологического процесса и, как следствие, комбинированного лечения рака головки ПЖ, остается актуальной.

Цель: повышение точности диагностики и оценки резектабельности рака головки ПЖ на основе комплексного использования лучевых методов с 3D-моделированием панкреатодуоденальной зоны.

Материал и методы. В исследование включены 93 пациента (44 (47,31%) мужчины, 49 (52,69%) женщины) с осложненными образованиями панкреатодуоденальной зоны, получавшие лечение с 2019 по 2022 гг. в хирургическом отделении Городской Мариинской больницы. Возраст больных варьировался в интервале от 44 до 90 лет, средний возраст $67 \pm 0,74$ года. Всем пациентам проведена магнитно-резонансная томография (МРТ) на МР-томографе Ingenia (Philips Medical Systems, Нидерланды) с индукцией магнитного поля 3 Тл. Выполняли нативное исследование брюшной полости и забрюшинного пространства, дополненное протоколом МР-холангиопанкреатографии, а также исследование с динамическим контрастным усилением со сбором данных в артериальную, портальную и отложенную фазы. Затем получали T2-взвешенные изображения по технологии «турбоспин-эхо», в том числе с жироводавлением, для оценки структурных изменений и наличия жидкости в фасциальных пространствах. Также пациентам проводили эндоскопическое ультразвуковое исследование панкреатодуоденальной зоны

по методу push and pull и мультисрезовую компьютерную томографию (МСКТ) органов брюшной полости. Для построения 3D-моделей использовали бесплатно распространяемые программы 3D-slicer, Mimics, которые позволили в полуавтоматическом режиме выполнять построение 3D-изображения для дальнейшей оценки анатомо-топографических соотношений.

Результаты. По данным построения МСКТ-3D-модели выявили инвазию опухоли в верхнюю брыжеечную вену у 6 (23,06%) пациентов, тогда как на МРТ-моделях – у 4 (15,38%), а интраоперационное подтверждение получено у 5 человек (19,23%). Инвазия чревного ствола по данным как МСКТ, так и МРТ-моделирования обнаружена в 1 (5,2%) случае, что подтвердилось интраоперационной картиной. Инвазию нижней полой вены на МСКТ- и МРТ-моделях выявили у 3 (11,54%) пациентов, тогда как интраоперационно – у 4 (15,38%). По МСКТ- и МРТ-3D-моделям совпали данные по инвазии чревного ствола у 1 (3,85%) пациента, верхней брыжеечной артерии – у 2 (7,69%), что полностью подтвердилось интраоперационно.

Заключение. 3D-моделирование на основе МРТ и МСКТ-исследований является информативным методом в дооперационном стадировании рака головки ПЖ и его резектабельности. Данный метод позволяет объективно определить локализацию и распространенность опухолевого процесса на прилежащие анатомические структуры, а также визуально продемонстрировать метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов. По параметрам диагностической эффективности 3D-модели максимально приближены к интраоперационной картине, что дает возможность планировать как объем, так и ход оперативного вмешательства.

Ключевые слова: 3D-моделирование; магнитно-резонансная томография; мультисрезовая компьютерная томография; аденокарцинома; цистаденома; резекция поджелудочной железы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кудашкина А.С., Камышанская И.Г., Павелец К.В., Русанов Д.С., Калужный С.А. Возможности 3D-моделирования в оценке резектабельности опухолей головки поджелудочной железы. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2023; 104(4): 244–54. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-244-254>

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

Статья поступила 12.11.2023

После доработки 04.12.2023

Принята к печати 05.12.2023

3D-modeling Capabilities in Assessing Resectability of Pancreatic Head Tumors

Aleksandra S. Kudashkina^{1, 2}, Irina G. Kamyshanskaya^{1, 2}, Konstantin V. Pavelets^{2, 3, 4}, Dmitry S. Rusanov^{2, 3}, Sergey A. Kalyuzhnyy²

¹ Saint Petersburg State University, Universitetskaya naberezhnaya, 7–9, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

² City Mariinsky Hospital, Liteyny prospect, 56, Saint Petersburg, 191014, Russian Federation

³ Saint Petersburg State Pediatric Medical University, ul. Litovskaya, 2, Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

⁴ Mechnikov North-Western State Medical University, Piskarevskiy prospect, 47, Saint Petersburg, 195067, Russian Federation

Aleksandra S. Kudashkina, Assistant Professor, Chair of Oncology, Faculty of Medicine, Saint Petersburg State University; Head of Department of Magnetic Resonance Imaging, City Mariinsky Hospital; <https://orcid.org/0009-0004-3085-9964>

Irina G. Kamyshanskaya, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Oncology, Faculty of Medicine, Saint Petersburg State University; Head of Department of Radiation Diagnostics, City Mariinsky Hospital; <https://orcid.org/0000-0002-8351-9216>

Konstantin V. Pavelets, Dr. Med. Sc., Professor, Rusanov Chair of Faculty Surgery, Saint Petersburg State Pediatric Medical University; Professor, Chair of General Surgery, Mechnikov North-Western State Medical University; Head of the 6th Surgical Department, City Mariinsky Hospital; <https://orcid.org/0000-0002-1921-8427>

Dmitry S. Rusanov, Cand. Med. Sc., Assistant Professor, Rusanov Chair of Faculty Surgery, Saint Petersburg State Pediatric Medical University; Endoscopist, City Mariinsky Hospital; <https://orcid.org/0000-0001-9101-7673>

Sergey A. Kalyuzhnyy, Surgeon, City Mariinsky Hospital; <https://orcid.org/0000-0002-3507-6123>

Abstract

Background. Pancreatic head cancer ranks 6–7th among oncologic diseases and 4–5th among causes of mortality, with only 5% of patients achieving 5-year survival rate to date. Despite the successes of modern diagnostics and surgical treatment, the problem of early detection, staging of oncologic process and, as a consequence, combined treatment of pancreatic head cancer remains actual.

Objective: increasing the accuracy of diagnostics and estimation of resectability of the pancreatic head cancer on the basis of the complex use of the radiation methods of investigation with pancreaticoduodenal zone 3D-reconstructions.

Material and methods. The study included 93 patients (44 (47.31%) males and 49 (52.69%) females) with complicated pancreatoduodenal masses treated from 2019 to 2022 at the Surgical Department of the City Mariinsky Hospital. The patients' age varied from 44 to 90 years, the mean age was 67±0.74 years. All patients underwent magnetic resonance imaging (MRI) on an Ingenia MR tomograph (Philips Medical Systems, Netherlands) with a magnetic field induction of 3 Tesla. The native examination of the abdomen and retroperitoneum, supplemented with MR-cholangiopancreatography protocol, and dynamic contrast enhancement with data collection in arterial, portal, and delayed phases were carried out. T2-weighted images were then performed using turbospin-echo technology, including fat-suppressed images, to evaluate structural changes and the presence of fluid in fascial spaces. Patients also underwent endoscopic ultrasound of the pancreaticoduodenal zone using the push and pull method, and abdominal multislice computed tomography (MSCT). To build 3D models, we used free 3D-slicer and Mimics programs, which allowed to build semi-automatic model for further evaluation of anatomo-topographic relations.

Results. MSCT 3D modeling revealed tumor invasion into the superior mesenteric vein in 6 (23.06%) patients, whereas MRI models showed tumor invasion in 4 (15.38%) patients, intraoperatively the results were confirmed in 5 patients (19.23%). According to both MSCT and MRI modeling data, the invasion of the ventral trunk occurred in 1 (5.2%) case, which was confirmed intraoperatively. Inferior vena cava invasion on MSCT and MRI models was detected in 3 (11.54%) patients, whereas intraoperatively – in 4 (15.38%) patients. The MSCT and MRI 3D models coincided with the data on invasion of the ventral trunk in 1 (3.85%) patient and the superior mesenteric artery in 2 (7.69%) patients, which was fully confirmed intraoperatively.

Conclusion. 3D modeling on the basis of MRI and MSCT studies is an informative method in preoperative staging of pancreatic head cancer and its resectability. This method allows to objectively determine the localization and prevalence of the tumor process on adjacent anatomical structures, as well as visually demonstrate the metastatic lesion of regional lymph nodes. By the parameters of diagnostic efficiency, 3D models are maximally close to the intraoperative picture, which allows planning both the volume and the course of surgical intervention.

Keywords: 3D modeling; magnetic resonance imaging; multislice computed tomography; adenocarcinoma; cystadenoma; pancreatic resection.

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

For citation: Kudashkina AS, Kamyshanskaya IG, Pavelets KV, Rusanov DS, Kalyuzhnyy SA. 3D-modeling capabilities in assessing resectability of pancreatic head tumors. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(4): 244–54 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-244-254>

For corresponding: Aleksandra S. Kudashkina, E-mail: alkudashkina@gmail.com

Received November 12, 2023

Revised December 4, 2023

Accepted December 5, 2023

Введение / Introduction

Рак поджелудочной железы (ПЖ) – агрессивная и летальная форма рака, при которой общая выживаемость составляет менее 7–8% в течение 5-летнего периода [1–3]. Это одна из самых прогностически неблагоприятных форм злокачественных новообразований. Рак головки ПЖ занимает 6–7-е место по распространенности среди онкологических заболеваний и 4–5-е место среди причин смертности, при этом на сегодняшний день только 5% больных достигают 5-летней выживаемости. Ранние формы рака ПЖ (2–4 см в диаметре) диагностируются всего в 3,8% случаев [4–6].

Заболевание имеет наихудший прогноз среди всех злокачественных опухолей органов пищеваре-

ния. Около 90–95% злокачественных новообразований ПЖ происходят из экзокринной ткани, в частности из аденокарцином протоков поджелудочной железы (pancreatic ductal adenocarcinoma, PDAC). PDAC является наиболее распространенным и агрессивным подтипом опухоли, на который приходится примерно 70–80% всех случаев рака ПЖ. Выявить заболевание на ранних стадиях сложно из-за отсутствия специфических симптомов, что часто приводит к задержке лечения. Стандартное лечение распространенного неоперабельного рака ПЖ включает традиционную химиотерапию, но она продлевает выживаемость пациентов лишь на несколько месяцев. Несмотря на значительные усилия по разработке новых терапевтических под-

ходов и методов диагностики рака ПЖ, уровень смертности и заболеваемости в последние годы увеличился и, по прогнозам, будет расти в будущем [6–8].

В настоящее время для оценки резектабельности опухоли широко используются компьютерная томография (КТ), КТ-ангиография и магнитно-резонансная томография (МРТ), однако эти методы имеют высокую частоту ложноположительных и ложноотрицательных результатов, что затрудняет предоперационную оценку резектабельности и планирование лечения [9]. Несмотря на значительные успехи в развитии новых методов обследования, предоперационная диагностика неоперабельных опухолей ПЖ остается успешной лишь в 50% случаев, при этом около 10% опухолей ошибочно идентифицируются как неоперабельные [10].

Я.И. Нерестюк в 2018 г. описал оптимальный протокол низкодозовой перфузионной КТ ПЖ, позволяющий получать изображения высокого качества при низкой лучевой нагрузке¹. Впервые в отечественном исследовании выявлены различия перфузии нейроэндокринных опухолей ПЖ в зависимости от степени дифференцировки (Grade 1, 2) опухоли. Создана модель предсказания степени дифференцировки нейроэндокринных опухолей на основе одномоментно действующих показателей пиковой плотности в селезенке и портальной перфузии для неизменной паренхимы ПЖ. Предложена методика трехмерного моделирования опухолей ПЖ на основе совмещения фаз исследования и описаны этапы от первоначальной сегментации до планирования оперативного вмешательства.

Е.С. Дроздов в 2019 г. разработал способ дифференциальной диагностики кистозных образований ПЖ с применением ультразвуковой эластографии². Впервые предложен комбинированный способ дифференциальной диагностики кистозных неоплазий ПЖ. На основании анализа данных диагностики и лечения пациентов с кистозными образованиями ПЖ различной этиологии разработан и внедрен в клиническую практику алгоритм выбора дифференциально-диагностической и лечебной тактики у таких пациентов.

В исследовании А.Н. Тюриной и др. (2019 г.) оценивалась информативность методики про-

тонной мультिवоксельной 3D-MP-спектроскопии (3D-MPC) в диагностике глиальных новообразований как одной из самых часто встречаемых опухолей головного мозга, где определение степени анаплазии является главным фактором в выборе последующего лечения [11]. Метод 3D-MPC позволил провести неинвазивную дифференциальную диагностику с достаточно высокими показателями чувствительности и специфичности глиом высокой и низкой степени злокачественности. С помощью ROC-анализа (receiver operating characteristic – рабочая характеристика приемника) получены предельные значения для разных типов глиом. Результаты продемонстрировали высокую чувствительность и специфичность методики 3D-MPC в дифференциальной диагностике глиом низкой и высокой степеней злокачественности, также был получен значительно более высокий показатель AUC (area under curve – площадь под кривой).

В работе И.У. Вагабова (2021 г.) выявлены различные виды зонального кровоснабжения паренхимы почки³. Установлены индивидуальные особенности кровоснабжения почечных сегментов при различных видах их зонального кровоснабжения. Получен пошаговый алгоритм, позволяющий создать инновационное программное обеспечение 3D-ONCONEFROS для трехмерного моделирования сегментов почки человека.

Е.А. Филатовой (2022 г.) установлено, что ведущей причиной расхождения направительного и клинического диагнозов в специализированном фтизиопульмонологическом стационаре является гипердиагностика диссеминированного туберкулеза вследствие ошибочной интерпретации клинико-рентгенологической картины саркоидного поражения легких в условиях недостаточного применения комплекса современных молекулярно-генетических и морфологических методов верификации диагноза⁴. Доказано, что использование трехмерной компьютерной модели при очагово-фокусном типе диссеминации повышает эффективность диагностики диссеминированного поражения легких путем объективизации оценки динамики объема пораженной легочной ткани и оптимизации выбора зоны биопсии.

Панкреатодуоденэктомия является краеугольным камнем хирургического лечения пациентов с диагнозом рака головки ПЖ. Предоперационное

¹ Нерестюк Я.И. Оптимизация диагностики опухолей поджелудочной железы: КТ-перфузия и постпроцессорная обработка данных. Дис. ... канд. мед. наук. М.; 2018.

² Дроздов Е.С. Диагностическая и лечебная тактика при кистозных образованиях поджелудочной железы различной этиологии. Дис. ... канд. мед. наук. Томск; 2019.

³ Вагабов И.У. Трехмерная (3D) анатомия артериального русла почки и ее сегментов. Дис. ... канд. мед. наук. Уфа; 2021.

⁴ Филатова Е.А. Совершенствование диагностики диссеминированных поражений легких туберкулезной и иной этиологии на основе 3D-моделирования. Дис. ... канд. мед. наук. М.; 2022.

планирование необходимо для оценки сосудистого поражения опухолью и изменений анатомии прилежащих артерий и вен, однако это требует специальных знаний и может быть сложной задачей. Алгоритмы компьютерного распознавания, основанные на методах искусственного интеллекта, позволяют получить сегментацию опухоли ПЖ и прилежащих структур на уровне пикселей. Кроме того, развитие методов обработки изображений позволило перевести медицинские снимки в трехмерные анатомические реконструкции [12].

Цель – повышение точности диагностики и оценки резектабельности рака головки ПЖ на основе комплексного использования лучевых методов с 3D-моделированием панкреатодуоденальной зоны.

Материал и методы / Material and methods

Клиническая характеристика больных

В исследование включены 93 пациента (44 (47,31%) мужчины, 49 (52,69%) женщин) с образованиями панкреатодуоденальной зоны, проходившие лечение в хирургическом отделении Мариинской городской больницы с 2019 по 2022 гг. Возраст больных варьировался в интервале от 44 до 90 лет, средний возраст $67 \pm 0,74$ года.

Большинство опухолей (75,27%) располагалось в головке ПЖ, в 6,45% случаев – в обструкционной системе, в 10,75% – в общем желчном протоке. В 1,08% случаев опухоль обнаруживалась в двенадцатиперстной кишке. У 6,45% больных наблюдали образование в виде конгломерата с трудно дифференцируемой опухолью.

У 37 (39,78%) пациентов выполнены паллиативные вмешательства:

- стентирование желчных протоков – 24 пациента (25,81%);
- наложение обходных анастомозов – 7 пациентов (7,53%);
- атипичная резекция ПЖ – 6 пациентов (6,45%).

Оставшимся 10 (10,75%) больным проведено химиотерапевтическое лечение.

Всем 93 пациентам выполнено МРТ-исследование органов брюшной полости. Эндоскопическое ультрасонографическое исследование (ЭУС) панкреатодуоденальной зоны проведено 59 (63,44%) больным. В сомнительных случаях осуществлялась диагностическая пункция лимфатических узлов (ЭУС-тип) для морфологической верификации вторичных изменений.

Трехмерная модель на мультимодальной основе полученных цветных изображений с интеграцией измененных лимфатических коллекторов построена у 58 (62,37%) пациентов, из них у 43 (46,24%) – с интеграцией данных ЭУС. Также

у 26 из 58 больных (44,83%) построены трехмерные модели как на основе МРТ, так и на основе мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ), что позволило провести сравнительный анализ.

МРТ в оценке образований панкреатодуоденальной зоны

МРТ-исследования были выполнены на МРТ-сканере Ingenia мощностью 3 Тл (Philips Medical Systems, Нидерланды). Пациентам проводили нативное исследование брюшной полости и забрюшинного пространства, дополненное протоколом МР-холангиопанкреатографии, а также с динамическим контрастированием в артериальную, портальную и отсроченную фазы. За 20 мин до исследования вводили ингибитор перистальтики. Больных располагали на спине с руками вдоль тела для обеспечения венозного доступа.

Первоначально в оценку включали локализацию и тип образования (солидное, кистозное, перидуктальное). Определяли перидуктальное распространение по ходу общего желчного протока с вовлечением супрапанкреатического и интрадуоденального отделов. Оценивали размеры образования и размеры ПЖ. Анализ местной распространенности включал оценку поражения окружающих тканей, воротной вены и ее притоков, чревного ствола и его ветвей, верхней брыжеечной артерии и верхней брыжеечной вены. При анализе вовлечения сосудов определяли его тип – прилегание или окутывание, для чего использовали косоаксиальные, косокорональные и кососагиттальные проекции, а также последовательности типа SPACE. Для определения целесообразности чрескожно-чреспеченочной холангиостомии анализировали выраженность билиарной гипертензии, структуру желчных протоков и вторичные изменения паренхимы печени. Изменения лимфатических узлов оценивали на основании размера, формы и наличия жировых ворот с использованием классификации лимфатических узлов Японского общества по изучению заболеваний пищевода (Japanese Society for Esophageal Diseases, JSED). Чувствительность и специфичность метода рассчитывали с помощью ROC-анализа.

ЭУС в оценке степени инвазии и лимфогенного метастазирования образований панкреатодуоденальной зоны

Пациентам проводили ЭУС по методу push and pull для оценки опухолевой инвазии головки ПЖ и наличия регионарных метастазов. Использовали конвексный эхоэндоскоп UCT 180 с радиальным датчиком и диаметром рабочей части 13,4 мм, а также комбинированный процесс EUPREMIER PLUS. Исследование давало информацию об инвазии опухоли, ее локализации, распространен-

ности, внутрибрюшной лимфаденопатии и связи опухоли с соседними сосудами. Чувствительность и специфичность рассчитывали с использованием ROC-анализа.

Оценка инвазии опухолевого процесса с использованием 3D-моделирования

Трехмерные модели файлов типа STL применяли для описания 3D-объекта как поверхности с определенной к нему нормалью. Метод включал МРТ органов брюшной полости на разных стадиях с использованием контрастного вещества. Для построения моделей и анатомической оценки использовали программы 3D-slicer и Mimics. Компьютерное моделирование выполняли путем интеграции данных о регионарных лимфатических узлах по результатам ЭУС с последующим цветовым картированием пораженных узлов (рис. 1, 2).

При проведении МСКТ результатом исследования являлись серии срезов. Полученные плоскостные срезы изучались при помощи программ 3D-slicer и Mimics. Метод генерации 3D-модели из серий снимков был основан на лофтинге – процессе получения объемных фигур из плоских объектов. Подсчет чувствительности и специфичности метода также определяли методом ROC-анализа.

Результаты / Results

В предлагаемом методе 3D-моделирования панкреатодуоденальной зоны использовались данные МРТ и ЭУС для создания 3D-модели. Метод позволяет диагносту оценить размер опухоли, ее расположение, стадию инвазии и взаимоотношения с соседними структурами и кровеносными сосудами. Это помогает спланировать лечение и хирургическое вмешательство, включая диссекцию

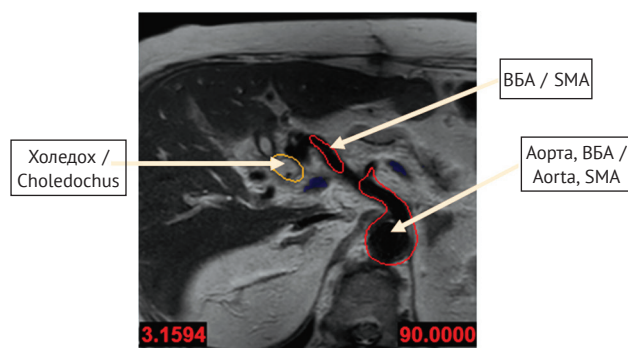


Рис. 1. Формирование полуавтоматической сегментации по скорости тока жидкости по системе чревного ствола, верхней брыжеечной артерии, холедоха. ББА – верхняя брыжеечная артерия

Fig. 1. Formation of semi-automatic segmentation according to the velocity of fluid flow through the system of the abdominal trunk, superior mesenteric artery, choledochus. SMA – superior mesenteric artery

лимфатических узлов. Цель лучевой диагностики состоит в том, чтобы повысить надежность предоперационной оценки рака головки ПЖ. Модель сочетает в себе преимущества МРТ и ЭУС, обеспечивая визуализацию опухолевой инвазии и метастазирования в лимфатические узлы. Это точная и индивидуализированная модель, позволяющая проводить всестороннюю индивидуальную оценку. Цветное изображение облегчает восприятие дооперационной картины, а гибридный характер модели расширяет диагностические возможности. В результате путем 3D-визуализации на мультимодальной основе цветных изображений с интеграцией измененных лимфатических коллекторов обеспечивается положительный результат метода в виде дооперационной оценки онкологического процесса, планирования первичного способа лечения и оперативного вмешательства с учетом объема лимфодиссекции. Для иллюстрации полученных результатов приводим клинический пример.

Клинический пример

Больной М., 77 лет, госпитализирован с жалобами на желтушность кожных покровов, боли в животе. После госпитализации проведено комплексное обследование, при котором выявлено образование головки ПЖ Т3NхM0. По данным МРТ

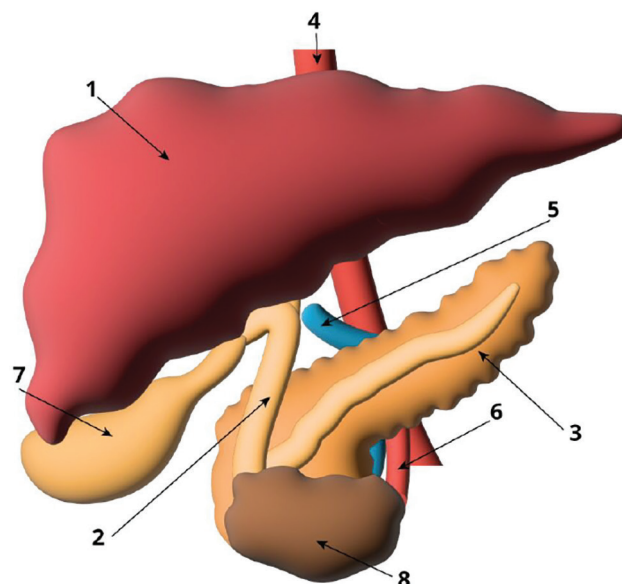


Рис. 2. Трехмерная модель панкреатодуоденальной зоны. 1 – печень; 2 – холедох (желчный проток); 3 – поджелудочная железа; 4 – аорта; 5 – верхняя брыжеечная вена; 6 – верхняя брыжеечная артерия; 7 – желчный пузырь; 8 – образование

Fig. 2. Three-dimensional model of the pancreatoduodenal zone.

1 – liver; 2 – choledochus (bile duct); 3 – pancreas; 4 – aorta; 5 – superior mesenteric vein; 6 – superior mesenteric artery; 7 – gallbladder; 8 – mass

в головке ПЖ определяли образование размерами до 4,5 см, интимно прилежащее к нижней полой вене (НПВ), вовлекающее в себя верхнюю брыжеечную вену (ВБВ). По данным ЭУС визуализированы структурно измененные лимфатические узлы. На основании графических данных МРТ выполнено 3D-моделирование панкреатодуоденальной зоны. Визуализирована опухоль головки ПЖ, интимно прилежащая к НПВ, без ее инвазии, однако с признаками инвазии ВБВ, окружность менее 180° (рис. 3). Эти данные соответствовали стадии Т3N1.

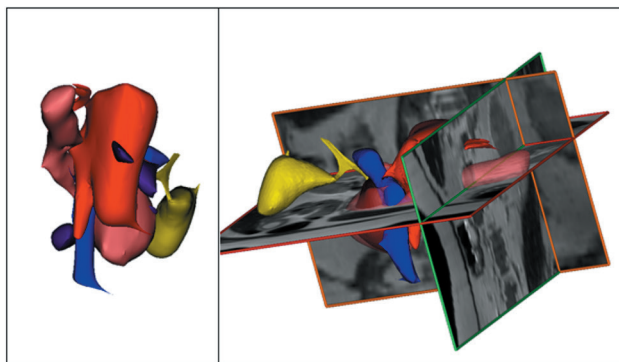


Рис. 3. 3D-модель панкреатодуоденальной зоны

Fig. 3. 3D model of the pancreatoduodenal zone

С учетом признаков резектабельности опухоли пациенту выполнена операция в объеме пилоросохраняющей панкреатодуоденальной резекции с лимфодиссекцией в объеме D2.

Дооперационное 3D-моделирование у больных, перенесших хирургическое вмешательство

Предоперационное 3D-моделирование позволило оценить локализацию, размер опухоли, лимфаденопатию, взаимосвязь с близлежащими структурами и разработать план лечения. При комплексном обследовании больных отдаленных метастазов обнаружено не было.

У пациентов, для которых были построены 3D-модели, наиболее часто локализацию опухоли находили в головке ПЖ (79,31%). Поражение большого дуоденального сосочка и холедоха выявлено в 4 (6,90%) и 8 (13,79%) случаях соответственно. Распространенность опухоли обнаружена до стадии T2 у 25,86% больных, до стадии T3 – у 31,03%, стадия T4 выявлена у 24,14% пациентов. Интраоперационное и патогистологическое исследования подтвердили эти стадии у одинаковых долей оперированных больных: стадия T2 – у 25,86%, стадия T3 – у 32,76%, стадия T4 – у 22,41% (рис. 4).

При ROC-анализе 3D-модели в оценке протяженности опухоли чувствительность составила 98,3%, специфичность – 66,7% ($p < 0,05$).

На основании полученных данных преимущественно выявлена стадия T3 распространения опухоли, что указывает на местно-распространенные образования ПЖ. Резектабельность опухолей головки ПЖ оценивали с помощью МРТ и 3D-моделирования. Данные МРТ показали инвазию опухоли в ВБВ у 15 (25,9%) пациентов, тогда как 3D-модель указала на это только у 10 (17,2%) человек.

Интраоперационно инвазия в ВБВ была подтверждена у 12 (20,1%) пациентов. Инвазия чревного ствола произошла в 3 (5,2%) случаях, что подтверждено данными 3D-моделирования и интраоперационного наблюдения. Инвазию ВБВ подтвердили у 12 (20,1%) больных при МРТ-исследовании, но только в 4 (6,9%) – с помощью 3D-моделирования, что подтвердилось интраоперационно. Преувеличение данных МРТ об инвазии воротной вены и НПВ не было подтверждено 3D-моделированием или интраоперационной оценкой (табл. 1). При ROC-анализе 3D-моделирования в оценке поражения магистральных сосудов опухолевым процессом чувствительность составила 98,3%, специфичность – 94,1% ($p < 0,05$).

Для планирования объема лимфодиссекции у 43 (74,1%) пациентов проводили интеграцию данных ЭУС в 3D-модель. 3D-модели позволили планировать более щадящий объем оперативного лечения и лимфодиссекции. Метастазы в регионарные лимфатические узлы были выявлены у 17 (39,5%) больных по данным 3D-модели и у 20 (46,5%) – по данным патогистологического исследования. Распространение онкологического

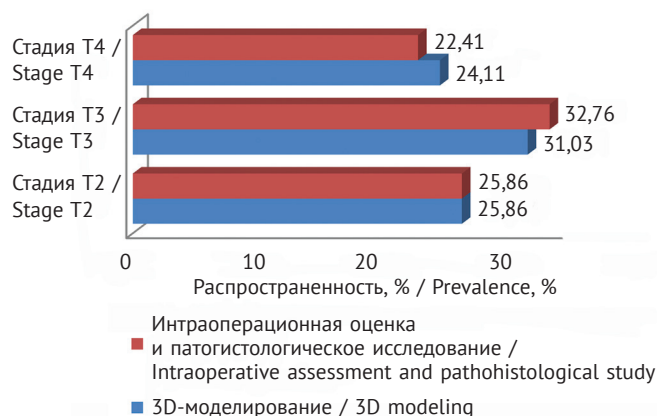


Рис. 4. Распространенность опухоли по данным трехмерного моделирования, интраоперационной оценки и патогистологического описания

Fig. 4. Tumor prevalence according to three-dimensional modeling, intraoperative assessment and pathohistological description

Таблица 1

Поражение магистральных сосудов опухолью головки поджелудочной железы по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ), 3D-моделирования и интраоперационной картины (n = 58), n %

Table 1

Lesion of the main vessels by pancreatic head tumor according to magnetic resonance imaging (MRI), 3D modeling and intraoperative picture (n = 58), n %

Сосуд / Vessel	MPT / MRI	3D-модель / 3D model	Интраоперационная картина / Intraoperative picture
Чревный ствол / Ventral trunk	3 (5,2)	3 (5,2)	3 (5,2)
Верхняя брыжеечная артерия / Superior mesenteric artery	12 (20,1)	4 (6,9)	4 (6,9)
Верхняя брыжеечная вена / Superior mesenteric vein	15 (22,1)	10 (17,2)	12 (20,1)
Воротная вена / Portal vein	2 (3,4)	0 (0,0)	0 (0,0)
Нижняя полая вена / Inferior vena cava	9 (15,5)	7 (12,1)	7 (12,1)
Опухоль без признаков инвазии сосудов / Tumor without signs of vascular invasion	17 (29,3)	34 (58,6)	32 (55,2)

Таблица 2

Окончательное стадирование онкологического процесса (n = 43), n (%)

Table 2

The final staging of the oncological process (n = 43), n (%)

Стадия / Stage	3D-модель / 3D model	Интраоперационная картина и данные патоморфологического исследования / Intraoperative picture and pathomorphological study data
IIA	2 (4,6)	2 (4,6)
IIB	4 (9,3)	4 (9,3)
III	20 (46,5)	21 (48,8)
IV	17 (39,5)	16 (37,2)

процесса в регионарные лимфатические узлы брюшной полости установлено у 2 (4,6%) пациентов по данным ЭУС, а соответственно, и 3D-модели, однако патогистологически это было подтверждено у 3 (6,9%) прооперированных пациентов. Таким образом, чувствительность в оценке лимфогенного метастазирования опухоли головки ПЖ по данным комбинированной трехмерной модели составила 85%, а специфичность – 60% ($p < 0,05$) (табл. 2).

При ROC-анализе 3D-модели в определении стадии опухолевого процесса чувствительность составила 92,0%, специфичность – 67,8% ($p < 0,05$).

Подводя итог, следует отметить, что трехмерное моделирование на основе как МРТ-, так и МСКТ-моделей является достаточно информативным методом в дооперационном стадировании рака головки ПЖ и категории его резектабельности. Данный метод позволяет объективно определить локализацию и распространенность опухолевого процесса на прилежащие анатомические структуры, а также визуально продемонстрировать

метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов. Указанные параметры представляют объективную и наглядную картину, максимально приближенную к интраоперационной, что позволяет планировать объем и ход оперативного вмешательства.

Обсуждение / Discussion

Несмотря на успехи современной диагностики и хирургического лечения, проблема раннего выявления, стадирования онкологического процесса и, как следствие, комбинированного лечения рака головки ПЖ остается актуальной.

Для оптимизации диагностики стадии опухоли головки ПЖ и дооперационного планирования хирургического вмешательства необходимо иметь объективное представление о регионарной инвазии и лимфогенном метастазировании карциномы данной локализации. Целью работы явилось повышение точности диагностики и оценки резектабельности рака головки ПЖ на основе комплексного использования лучевых методов исследования с 3D-реконструкций панкреатодуоденальной

зоны. Были поставлены задачи исследования, среди которых – уточнение возможностей мультимодального подхода с использованием ЭУС, МСКТ и МРТ в дооперационной оценке резектабельности рака ПЖ.

Лимфаденэктомия подразумевает иссечение лимфатических узлов и жировой ткани, которые распределяются вдоль сосудов малого таза непрерывно и комплексно. Эта процедура не лишена лимфатических осложнений, таких как лимфокисты у 20% пациентов и лимфедема у 10–15%, а в редких случаях – травмы нервов и сосудов [13, 14].

С учетом последних достижений в развитии медицинской визуализирующей аппаратуры и реконструктивных технологий трехмерные модели, реконструированные на основе наборов данных мультidetекторной компьютерной томографии (МДКТ), используются для наблюдения за анатомическими особенностями пациента, помощи в диагностике заболеваний, оценки сложности хирургических вмешательств и руководства выполнением реальных операций [15, 16].

При планировании объема лимфаденэктомии путем 3D-моделирования оценена степень регионарного лимфогенного метастазирования рака головки ПЖ. У 43 человек провели совмещение графических данных ЭУС и 3D-модели. Полученные 3D-модели служили поводом для планирования более щадящего объема лимфодиссекции. Вторичное поражение регионарных лимфатических узлов обнаружено у 17 (39,5%) пациентов по данным 3D-модели и у 20 (46,5%) человек по патогистологическому исследованию. Отсутствие онкологического процесса в регионарных лимфатических узлах брюшной полости установлено у 2 (4,6%) человек по данным ЭУС, а соответственно, и по 3D-модели, однако патогистологически метастазирование подтвердилось у 3 (6,9%) прооперированных пациентов.

Результаты проведенного исследования обработаны с помощью ROC-анализа с определением чувствительности и специфичности. Чувствительность 3D-модели в определении стадии опухолевого процесса составила 92,0%, специфичность – 67,8% ($p < 0,05$).

Построены трехмерные модели как на основе МРТ, так и на основе МСКТ 26 пациентам из 58 (44,83%). Это позволило провести сравнительный анализ полученных МСКТ- и МРТ-3D-моделей. По данным 3D-моделирования на основе МСКТ, распространенность опухоли до стадии Т2 выявлена у 7 (26,92%) обследованных, до стадии Т3 – у 8 (30,77%), стадию Т4 определили у 6 (23,08%) пациентов, что полностью соответствовало моделям, построенным на основе МРТ. Однако

данные несколько отличались от интраоперационной оценки и патогистологического исследования. Стадия Т2 подтверждена у 7 (26,92%) больных, стадия Т3 – у 9 (34,62%), стадия Т4 определялась у 5 (19,23%) прооперированных пациентов.

Чувствительность трехмерного моделирования на основе МСКТ в определении протяженности опухоли составила 98,3%, специфичность – 66,7% ($p < 0,05$).

С помощью трехмерного МСКТ- и МРТ-моделирования оценивали резектабельность опухоли головки ПЖ. Наиболее часто по данным МСКТ-моделирования определяли опухоль без признаков инвазии сосудов. Это встретилось у 14 (53,85%) пациентов и подтвердилось интраоперационной картиной. Однако 3D-модель, построенная по МРТ, данный тип опухоли выявляла у 16 (61,54%) пациентов.

В результате построения МСКТ-3D-модели инвазию опухоли в ВБВ выявили у 6 (23,06%) пациентов, тогда как на МРТ-моделях – у 4 (15,38%), а интраоперационно – у 5 человек (19,23%). Инвазия чревного ствола по данным как МСКТ-, так и МРТ-моделирования выявлена у 1 (5,2%) пациента, что подтвердилось интраоперационной картиной. Инвазию НПВ на МСКТ- и МРТ-моделях обнаружили у 3 (11,54%) пациентов, тогда как интраоперационно – у 4 (15,38%).

Чувствительность трехмерного моделирования на основе МСКТ в оценке поражения магистральных сосудов опухолевым процессом составила 98,7%, специфичность – 94,5% ($p < 0,05$).

3D-модели на основе МСКТ оказались более чувствительны к инвазии мелких сосудов и минимальной инвазии, но не отличались от МРТ-моделей при оценке распространенности опухоли. Однако у 2 пациентов МСКТ не выявила опухоль головки ПЖ ввиду ее малых размеров. Также в 3 случаях на МСКТ не были обнаружены метастазы в печень и в 1 случае – в лимфоузлы.

Практические рекомендации

1. Больным с установленным диагнозом «механическая желтуха» и наличием объемного образования головки ПЖ по данным ультразвукового исследования с целью оценки распространенности опухолевого процесса целесообразно выполнять МРТ и ЭУС органов брюшной полости.

2. Для дооперационного стадирования рака головки ПЖ следует выполнять 3D-реконструкцию панкреатодуоденальной зоны по данным МСКТ либо МРТ, которая позволяет определить критерии резектабельности опухоли.

3. Для выбора объема лимфодиссекции необходимо интегрировать графические данные ЭУС в 3D-модель на основе МРТ панкреатодуоденальной зоны.

Заключение / Conclusion

3D-моделирование на основе МРТ- и МСКТ-исследований является информативным методом в дооперационном стадировании рака головки ПЖ и его резектабельности. Данный метод позволяет объективно определить локализацию и распространенность опухолевого процесса на прилежащие анатомические структуры, а также визуально продемонстрировать метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов. По параметрам диагностической эффективности 3D-модели максимально приближены к интраоперационной картине, что дает возможность планировать как объем, так и ход оперативного вмешательства.

Для объективной дооперационной оценки резектабельности опухоли головки ПЖ и точного объема оперативного вмешательства необходимо максимально использовать возможности мультимодальной лучевой диагностики панкреатодуоденальной зоны. В оценке T-стадии чувствительность методов МРТ и ЭУС составила 93,2%

и 76,9%, а специфичность – 98,2% и 50,0% соответственно.

Гибридная (МРТ-ЭУС) 3D-модель панкреатодуоденальной зоны позволяет с высокой точностью стадировать онкологический процесс и определять объем лимфаденэктомии. В оценке метастазирования в регионарные лимфоузлы данная модель имеет чувствительность 85% и специфичность 60%, в определении стадии опухолевого процесса ее чувствительность составляет 92,0%, специфичность – 67,8%.

Показатели чувствительности и специфичности 3D-моделей на основе данных МРТ и МСКТ в оценке инвазии магистральных сосудов близки и составляют 98,7% и 98,3%, 94,5% и 94,1% соответственно. Обе 3D-модели являются достаточно информативными методами в дооперационной оценке резектабельности рака головки ПЖ.

Гибридная 3D-реконструкция панкреатодуоденальной зоны в большинстве случаев сопоставима с интраоперационной и патогистологической картиной.

Литература [References]

- Orth M, Metzger P, Gerum S, et al. Pancreatic ductal adenocarcinoma: biological hallmarks, current status, and future perspectives of combined modality treatment approaches. *Radiat Oncol.* 2019; 14: 141. <https://doi.org/10.1186/s13014-019-1345-6>.
- Murakami T, Hiroshima Y, Matsuyama R, et al. Role of the tumor microenvironment in pancreatic cancer. *Ann Gastroenterol Surg.* 2019; 3(2): 130–7. <https://doi.org/10.1002/ags3.12225>.
- Ho WJ, Jaffee EM, Zheng L. The tumour microenvironment in pancreatic cancer – clinical challenges and opportunities. *Nat Rev Clin Oncol.* 2020; 17(9): 527–40. <https://doi.org/10.1038/s41571-020-0363-5>.
- Hu JX, Zhao CF, Chen WB, et al. Pancreatic cancer: a review of epidemiology, trend, and risk factors. *World J Gastroenterol.* 2021; 27(27): 4298–321. <https://doi.org/10.3748/wjg.v27.i27.4298>.
- Жук Л.А., Тур Г.Е. Структура заболеваемости больных раком поджелудочной железы. В кн.: Маскевич С.А., Позняк С.С. (ред.) Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века. Материалы 19-й международной научной конференции, 23–24 мая 2019 г. Часть 1. Минск: ИВЦ Минфина; 2019: 216–9. [Zhuk LA, Tur GE. Structure of morbidity and mortality of patients with pancreatic cancer. In: Maskevich SA, Poznyak SS (Eds). Sakharov Readings 2019: environmental problems of the XXI century. Proceedings of the 19th International Scientific Conference, May 23–24, 2019. Minsk; 2019: 216–9 (in Russ).]
- Райн В.Ю., Чернов А.А., Заботкин С.О. Выживаемость при протоковой аденокарциноме головки поджелудочной железы после панкреатодуоденальной резекции. *Медицинская наука и образование Урала.* 2020; 21(4): 127–30. <https://doi.org/10.36361/1814-8999-2020-21-4-127-130>. [Rayn VU, Chernov AA, Zabolkin SO. Survival after pancreaticoduodenectomy for pancreatic ductal adenocarcinoma. *Medical Science And Education Of Ural.* 2020; 21(4): 127–30 (in Russ). <https://doi.org/10.36361/1814-8999-2020-21-4-127-130>.]
- Singh RR, O'Reilly EM. New treatment strategies for metastatic pancreatic ductal adenocarcinoma. *Drugs.* 2020; 80(7): 647–69. <https://doi.org/10.1007/s40265-020-01304-0>.
- Подкопаева Д.С. Рак головки поджелудочной железы – протоковая аденокарцинома, с позиции современной онкохирургии. В кн.: Эксперимент в хирургии и онкологии: сборник научных трудов и материалов научно-практической конференции с международным участием. Курск: КГМУ; 2020: 20–1. <https://doi.org/10.21626/cb.20.surgeryexperiment-sept>. [Podkopaeva DS. Pancreatic head cancer – ductal adenocarcinoma, from the perspective of modern oncosurgery. In: Experiment in surgery and oncology: a collection of scientific papers and materials of the scientific and practical conference with international participation. Kursk; 2020: 20–1 (in Russ). <https://doi.org/10.21626/cb.20.surgeryexperiment-sept>.]
- Fang C, Zhu W, Wang H, et al. A new approach for evaluating the resectability of pancreatic and periampullary neoplasms. *Pancreatol.* 2012; 12(4): 364–71. <https://doi.org/10.1016/j.pan.2012.05.006>.
- Захарова О.П., Кубышкин В.А., Кармазановский Г.Г. Протокол КТ-исследования при оценке резектабельности рака поджелудочной железы. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2012; 8: 44–50. [Zakharova OP, Kubyskhin VA, Karmazanovskii GG. The requirement for the CT-scan protocol for the proper assessment of pancreatic tumors resectability. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2012; 8: 44–50 (in Russ).]
- Тюрина А.Н., Пронин И.Н., Фадеева Л.М. и др. Протонная 3D-МР-спектроскопия в диагностике глиальных опухолей головного мозга. *Медицинская визуализация.* 2019; 3: 8–18. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-3-8-18>.

- [Tyurina AN, Pronin IN, Fadeeva LM, et al. Proton 3D MR spectroscopy in the diagnosis of glial brain tumors. *Medical Visualization*. 2019; 3: 8–18 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-3-8-18>.]
12. Rasenberg D, Ramaekers M, Jacobs I, et al. Computer-aided decision support and 3D modelling in pancreatic cancer surgery. *Eur J Surg Oncol*. 2023; 49(2): e162–3. <https://doi.org/10.1016/j.ejso.2022.11.625>.
 13. Duan H, Liu P, Chen C, et al. Reconstruction of three-dimensional vascular models for lymphadenectomy before surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2020; 29(1): 42–8. <https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1569533>.
 14. Rossetti D, Vitale SG, Tropea A, et al. New procedures for the identification of sentinel lymph node: shaping the horizon of future management in early stage uterine cervical cancer. *Updates Surg*. 2017; 69(3): 383–8. <https://doi.org/10.1007/s13304-017-0456-6>.
 15. Chen C, Chen L, Tang L, et al. Application of digital three-dimensional model of abdominal and pelvic vessels in selecting intravascular catheterization method. *J Interv Radiol*. 2015; 24(3): 252–6 (in Chinese). <http://doi.org/10.3969/j.issn.1008-794X.2015.03.017>.
 16. Hu HJ, Huang YW, Zhu YC. Tumor feeding artery reconstruction with multislice spiral CT in the diagnosis of pelvic tumors of unknown origin. *Diagn Interv Radiol*. 2014; 20(1): 9–16. <http://doi.org/10.5152/dir.2013.12176>.



Возможности однофотонной эмиссионной компьютерной томографии в диагностике ранней послеоперационной когнитивной дисфункции при реваскуляризации сердца и головного мозга

Малева О.В., Короткевич А.А., Трубникова О.А., Семенов С.Е., Барбараш О.Л.

*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний»,
Сосновый б-р, 6, Кемерово, 650002, Российская Федерация*

Малева Ольга Валерьевна, к. м. н., ст. науч. сотр. лаборатории нейрососудистой патологии, врач-кардиолог
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний»;
<http://orcid.org/0000-0001-7980-7488>

Короткевич Алексей Алексеевич, мл. науч. сотр. лаборатории лучевых методов диагностики, врач-рентгенолог отделения лучевой
диагностики ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний»;
<http://orcid.org/0000-0002-2835-7779>

Трубникова Ольга Александровна, д. м. н., заведующий лабораторией нейрососудистой патологии ФГБНУ «Научно-исследователь-
ский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний»;
<http://orcid.org/0000-0001-8260-8033>

Семенов Станислав Евгеньевич, д. м. н., вед. науч. сотр. лаборатории лучевых методов диагностики, врач-рентгенолог отделения
лучевой диагностики ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний»;
<http://orcid.org/0000-0002-1827-606X>

Барбараш Ольга Леонидовна, д. м. н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных
проблем сердечно-сосудистых заболеваний»;
<http://orcid.org/0000-0002-4642-3610>

Резюме

Цель: оценить вклад показателей регионального мозгового кровотока (рМК) в выявление ранней послеоперационной когнитивной дисфункции (ПОКД) у пациентов с мультифокальным атеросклерозом (МФА) при реваскуляризации сердца и головного мозга.

Материал и методы. Проведены исследование когнитивных показателей и скintiграфия головного мозга у 45 пациентов с МФА коронарных и прецеребральных артерий до и после реваскуляризации этих сосудистых бассейнов. Критериями включения в исследование явились: планирующаяся реваскуляризация коронарных и прецеребральных артерий, подписанное информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Критерии исключения: отказ пациента, наличие у него заболеваний, препятствующих проведению обследований. Исследование когнитивных функций выполняли на программно-аппаратном комплексе Status-PF за 1–2 дня до операции и через 5–7 дней после нее. Сохранность мозгового кровотока оценивали методом однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с использованием липофильного радиофармацевтического препарата ^{99m}Tc -НМРАО «Церетек».

Результаты. Частота ранней ПОКД у больных после изолированного коронарного шунтирования (КШ) составила 73,3%, у пациентов после симультанной операции КШ и каротидной эндартерэктомии (КЭА) – 72,5% ($p > 0,05$). Показатель рМК у пациентов группы изолированного КШ по сравнению с группой симультанной операции КШ и КЭА был выше в височных областях справа и слева ($p = 0,01$ и $p = 0,04$), в правой лобной доле ($p = 0,03$), правой теменной доле ($p = 0,005$), а также в затылочных долях справа и слева ($p = 0,03$ и $p = 0,03$). В послеоперационном периоде по сравнению с дооперационным значением в группе изолированного КШ снижался уровень перфузии в правой теменной области ($p = 0,01$), в правой и левой затылочных областях ($p = 0,01$ и $p = 0,01$). У пациентов группы симультанного вмешательства значение показателей рМК значимо не менялись в раннем послеоперационном периоде. Перфузия правой теменной области была выше у больных после изолированного КШ по сравнению с данным показателем у пациентов после симультанной операции КШ и КЭА ($p = 0,04$). Наибольший вклад в развитие ранней ПОКД у больных после изолированного КШ внесли показатели рМК левой височной области ($p = 0,025$),

у пациентов после симультанной операции КШ и КЭА – в правой теменной зоне ($p = 0,04$) в раннем послеоперационном периоде.

Заключение. Оценка перфузии головного мозга у кардиохирургических пациентов до и после операции может использоваться для выявления зон, пострадавших при проводимых вмешательствах, а также быть методом контроля безопасности операций и оценки применяемых способов профилактики для предотвращения развития ПОКД.

Ключевые слова: стеноз прецеребральных артерий; симультанная операция; коронарное шунтирование; каротидная эндартерэктомия; когнитивные функции; скintiграфия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено в рамках фундаментальной темы НИИ КПССЗ «Мультифокальный атеросклероз и коморбидные состояния. Особенности диагностики, управления рисками в условиях крупного промышленного региона Сибири», номер государственной регистрации 0546-2015-0012.

Для цитирования: Малева О.В., Короткевич А.А., Трубникова О.А., Семенов С.Е., Барбараш О.Л. Возможности однофотонной эмиссионной компьютерной томографии в диагностике ранней послеоперационной когнитивной дисфункции при реваскуляризации сердца и головного мозга. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(4): 255–63. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-255-263>

Для корреспонденции: Малева Ольга Валерьевна, E-mail: maleva.o@mail.ru

Статья поступила 20.09.2023

После доработки 04.12.2023

Принята к печати 05.12.2023

Single-Photon Emission Computed Tomography in the Diagnosis of Early Postoperative Cognitive Dysfunction After Combined Carotid Endarterectomy and Coronary Artery Bypass Grafting

Olga V. Maleva, Alexey A. Korotkevich, Olga A. Trubnikova, Stanislav E. Semenov, Olga L. Barbarash

*Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases,
Sosnovyy bulvar, 6, Kemerovo, Russian Federation*

Olga V. Maleva, Cand. Med. Sc., Senior Researcher, Laboratory of Neurovascular Pathology, Cardiologist, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases;
<http://orcid.org/0000-0001-7980-7488>

Alexey A. Korotkevich, Junior Researcher, Laboratory of Diagnostic Radiology, Radiologist, Department of Diagnostic Radiology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases;
<http://orcid.org/0000-0002-2835-7779>

Olga A. Trubnikova, Dr. Med. Sc., Head of Laboratory of Neurovascular Pathology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases;
<http://orcid.org/0000-0001-8260-8033>

Stanislav E. Semenov, Dr. Med. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Diagnostic Radiology, Radiologist, Department of Diagnostic Radiology, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases;
<http://orcid.org/0000-0002-1827-606X>

Olga L. Barbarash, Dr. Med. Sc., Professor, Academician of RAS, Director, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases;
<http://orcid.org/0000-0002-4642-3610>

Abstract

Objective: to study the contribution of regional cerebral blood flow (rCBF) indicators to the diagnosis of early postoperative cognitive dysfunction (POCD) in patients with multifocal atherosclerosis (MFA) with heart and brain revascularization.

Material and methods. The study involved 45 patients with MFA of coronary and precerebral arteries. We analyzed patients' cognitive indicators and conducted brain scintigraphy before and after revascularization. The criteria for inclusion in the study were: scheduled combined revascularization of coronary and precerebral arteries; signed informed consent to participate in the study. Criteria for exclusion were: refusal to participate in the study, diseases that would prevent examination. The study of cognitive functions was performed using

the Status-PF software and hardware complex 1–2 days before and 5–7 days after surgery. Cerebral blood flow was assessed by single-photon emission computed tomography using lipophilic radiopharmaceutical ^{99m}Tc -HMPAO “Ceretek”.

Results. The frequency of early POCD in the isolated coronary artery bypass grafting (CABG) group was 73.3%, in the combined carotid endarterectomy (CEA) and CABG group it was 72.5% ($p > 0.05$). The rCBF index in the isolated CABG group compared with the combined CEA and CABG group was higher in the right and left temporal lobes ($p = 0.01$ and $p = 0.04$), in the right frontal lobe ($p = 0.03$), right parietal lobe ($p = 0.005$), and in the right and left occipital lobes ($p = 0.03$ and $p = 0.03$). In the postoperative period, in the isolated CABG group, right parietal lobe perfusion ($p = 0.01$), and right and left occipital lobe perfusion ($p = 0.01$ and $p = 0.01$) decreased compared to the baseline values. In the combined CEA and CABG group, in the early postoperative period, cerebral perfusion did not change significantly. Right parietal lobe perfusion was higher in the isolated CABG group compared with the combined CABG and CEA group ($p = 0.04$). The greatest contribution to the development of early POCD in patients after isolated CABG was made by the left temporal lobe perfusion ($p = 0.025$), in patients after combined CABG and CEA – by the right parietal lobe perfusion ($p = 0.04$) in the early postoperative period.

Conclusion. Assessment of cerebral perfusion in patients before and after surgery can be used to identify areas affected during surgery, as a method for monitoring the safety of procedure, and as an assessment of the preventive methods against POCD.

Keywords: precerebral arteries stenosis; combined surgery; coronary artery bypass surgery; carotid endarterectomy; cognitive functions; scintigraphy.

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

Funding. The study was conducted within the framework of the fundamental topic of the Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases entitled “Multifocal atherosclerosis and comorbid conditions. Features of diagnostics and risk management in a large industrial region of Siberia”, Registration No. 0546-2015-0012.

For citation: Maleva OV, Korotkevich AA, Trubnikova OA, Semenov SE, Barbarash OL. Single-photon emission computed tomography in the diagnosis of early postoperative cognitive dysfunction after combined carotid endarterectomy and coronary artery bypass grafting. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(4): 255–63 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-255-263>

For corresponding: Olga V. Maleva, E-mail: maleva.o@mail.ru

Received September 20, 2023

Revised December 4, 2023

Accepted December 5, 2023

Введение / Introduction

В последние годы в связи с улучшением качества кардиохирургической помощи с позиции профилактики первичных сердечно-сосудистых катастроф формируются направления для оценки других сторон кардиохирургических операций. Одним из них является поиск причин когнитивных дисфункций при кардиохирургических вмешательствах и способов их профилактики.

Своевременное выявление нарушения когнитивных функций будет влиять на прогноз лечения кардиохирургического больного. Особенно это касается пациентов с мультифокальным атеросклерозом (МФА) прецеребральных и коронарных артерий, нуждающихся в реваскуляризации этих сосудистых бассейнов или перенесших ее. Одним из патогенетических звеньев при системном атеросклерозе является снижение перфузии сердца и головного мозга, приводящее к повышению риска острых коронарных и неврологических событий, а также формированию хронического дефицита перфузии указанных зон. В реальной клинической практике с учетом большого потока пациентов оценке когнитивных функций не уделя-

ется должного внимания до момента значимого критического снижения этих функций вплоть до деменции.

В настоящее время продолжается поиск наиболее информативного метода диагностики когнитивных нарушений. Существует несколько способов диагностики когнитивных функций – Краткая шкала оценки психического статуса (Mini-Mental State Examination, MMSE), Монреальская шкала когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment, MoCA), тест «Батарея лобной дисфункции» (Frontal Assessment Battery, FAB). Однако эти методы невозможно часто применять у одного и того же больного в связи с обучаемостью ответов на вопросы. Шкалы малочувствительны для диагностики когнитивного дефицита у лиц с низким и очень высоким уровнем образования, обладают недостаточной чувствительностью при диагностике додементных когнитивных нарушений. Кроме того, эти исследования позволяют оценить тяжесть когнитивных расстройств только ориентировочно, в частности это касается диагностики деменции, при верификации которой ключевым моментом является подтверждение нарушений

функционального статуса и повседневной активности пациента.

С появлением компьютерных методов когнитивного тестирования увеличилась выявляемость вариабельности когнитивных нарушений, что позволило диагностировать когнитивную дисфункцию на додементных стадиях. Такой способ занимает по продолжительности больше времени, должен выполняться и интерпретироваться компетентным специалистом, поэтому используется чаще всего в научных целях.

Способы визуализации головного мозга, такие как магнитно-резонансная томография (МРТ), мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), а в последнее десятилетие динамично развивающееся направление радиологии – сцинтиграфия, могут нести вспомогательную роль для выявления и подтверждения когнитивных нарушений у кардиохирургических пациентов. МРТ и МСКТ относятся к методам с оценкой структурных показателей, поэтому заняли свою нишу при острых и хронических цереброваскулярных заболеваниях, тогда как сцинтиграфия (оценка перфузии) относится к функциональным методам диагностики, хорошо отражает хронические состояния головного мозга. Сцинтиграфия позволяет выявить нарушение кровоснабжения структур головного мозга на уровне микроциркуляции и дает возможность оценить кровоток различных отделов головного мозга при острых состояниях (инсультах, эпилепсии, психических заболеваниях, травмах головного мозга), поэтому этот метод можно использовать в изучении этиологии, патогенеза развития послеоперационных когнитивных нарушений [1–2].

Цель – оценить вклад показателей регионального мозгового кровотока (рМК) в выявление ранней послеоперационной когнитивной дисфункции (ПОКД) у пациентов с МФА при реваскуляризации сердца и головного мозга.

Материал и методы / Material and methods

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «НИИ КПССЗ». Проведены исследование когнитивных показателей и сцинтиграфия головного мозга у 45 пациентов с МФА коронарных и прецеребральных артерий до и после реваскуляризации этих сосудистых бассейнов.

Критериями включения в исследование явились планирующаяся реваскуляризация коронарных и прецеребральных артерий, подписанное информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Критерии исключения: отказ пациента, наличие у него заболеваний, препятствующих проведению обследований. Способ, объем и сроки оперативного вмешательства определяла кардиокоманда в составе кардиолога, сердечно-сосудистого хирурга, анестезиолога и невролога

на основании клинических рекомендаций [3–5]. Использовались демографические, клинические, инструментальные методы обследования.

Исследование когнитивных функций состояло из двух этапов: первый – за 1–2 дня до операции, второй – через 5–7 дней после нее. В указанные сроки также определяли клинические показатели пациентов. Показатели когнитивного статуса оценивали с помощью скрининговых тестов MMSE и FAB.

После исходной диагностики когнитивных функций выполняли расширенное исследование когнитивных функций на программно-аппаратном комплексе Status-PF. Внимание оценивали методом корректурной пробы Бурдона с анализом количества проработанных символов на 1-й и 4-й минутах теста. Кратковременную память проверяли с помощью тестов запоминания 10 чисел, 10 слов и 10 бессмысленных слогов. Нейродинамические параметры включали: скорость сложной зрительно-моторной реакции, уровень функциональной подвижности нервных процессов, работоспособность головного мозга, количество ошибок и пропущенных сигналов при их выполнении. Раннюю ПОКД диагностировали при снижении исходных показателей памяти, внимания и нейродинамики на 20% в 20% пройденных тестов [6].

Сохранность мозгового кровотока оценивали методом однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) с использованием липофильного радиофармацевтического препарата ^{99m}Tc -НМРАО «Церетек», распределяющегося пропорционально объему крови, перфузирующему ткань мозга. Исследование проводили по стандартной методике на аппарате Discovery NM/CT 670 (GE Medical Systems, Израиль) до и после (на 5–7-е сутки) оперативного вмешательства. Программную обработку полученных данных выполняли с использованием итеративного фильтра OSEM/MLEM. Изучали показатели рМК в корковых зонах на срезах в аксиальной проекции, последовательно охватывающих весь головной мозг, а также в области хвостатых ядер и таламусов. Референсной зоной считали показатели перфузии мозжечка, которые принимали за 100%, на основании этих значений рассчитывали значения в сегментах. Распределение индикатора в корковых зонах на аксиальном срезе оценивали по 8-сегментарной модели. Для модификации данных ОФЭКТ в показатели рМК применяли трехкомпонентную модель кинетики [2, 7].

Статистическую обработку результатов проводили при помощи статистического пакета Statistica 10.0, SPSS 26. Поскольку количество наблюдений в выборке небольшое, для анализа показателей использовали непараметрические критерии. Количественные клинико-анамнестические и нейропсихологические параметры представлены в виде ме-

дианы, 25-го и 75-го процентилей (Me [Q25; Q75]). Качественные показатели в двух независимых группах анализировали при помощи критерия χ^2 Пирсона с поправкой Йетса. Выявление различий между независимыми переменными проводили с помощью U-критерия Манна–Уитни. Для прогнозирования развития ранней ПОКД проводили бинарную логистическую регрессию. Для расчета частоты развития ПОКД использовали метод подсчета таблицы сопряженности 2×2. Статистическую значимость определяли при уровне $p < 0,05$.

В зависимости от объема выбранного оперативного вмешательства сформированы две группы пациентов, клиническая характеристика которых представлена в таблице 1. Медиана возраста в группе больных, отобранных на изолиро-

ванное коронарное шунтирование (КШ), составила 60,5 [52; 67] года, в группе симультанного вмешательства – 63 [39; 65] года. Индекс массы тела составил 28,5 [24; 35] и 28 [24; 36] кг/м² соответственно. Исходная фракция выброса левого желудочка и фракция в раннем послеоперационном периоде не отличались между группами: 59 [47; 70]% и 56 [34; 72]%, 53 [35; 65]% и 51 [38; 64]% соответственно. Степень стеноза прецеребральных артерий в группе пациентов при изолированном КШ и асимптомном течении составила справа 10 [0; 65]%, слева 8 [0; 60], что подтвердило корректность выбранной хирургической тактики. В то же время в группе симультанного вмешательства степень стеноза при правосторонней каротидной эндартерэктомии (КЭА) составила 82 [60; 99]%, при

Таблица 1

Характеристика исследуемой выборки пациентов в зависимости от типа операции (n = 45)

Table 1

Characteristics of the studied sample of patients depending on the type of operation (n = 45)

Параметр / Parameter	Группа / Group		p
	КШ / CABG	КШ + КЭА / CABG + CEA	
Возраст, лет / Age, years	60,46 [52; 67]	62,83 [39; 75]	>0,05
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	28,42 [24; 35]	28,2 [25; 35]	>0,05
ФВ ЛЖ, % / LVEF, %			
до операции / before surgery	58,80 [47; 70]	56,10 [34; 72]	>0,05
после операции / after the operation	53,26 [35; 65]	51,06 [38; 64]	>0,05
NASCET, %			
справа / right	10,30 [0; 65]	82,10 [60; 99] / 39,27 [0; 80]*	>0,05
слева / left	7,60 [0; 60]	82,74 [60; 95] / 47,10 [0; 85]*	
ОНМК в анамнезе, n (%) / Stroke in anamnesis, n (%)	0 (0,0)	7 (23,3)	0,04
Индекс Чарлсона / Charleson Index	4,3 [2; 6]	6,6 [3; 9]	0,00006
EuroSCORE II, %	1,42 [0,88; 3,99]	4,00 [1,63; 10,6]	0,00002
Время пережатия СА, мин / CA clamping time, min	–	24,8 [18; 39]	–
Длительность ИК, мин / CPB duration, min	70,4 [38; 120]	80,5 [42; 158]	>0,05
Время пережатия аорты, мин / Aortic clamping time, min	44,50 [25; 86]	51,58 [22; 115]	>0,05
Температура перфузии, °C / Perfusion temperature, °C	35,6 [34,6; 36,3]	35,4 [33; 36]	>0,05
MMSE, баллов / MMSE, points	26,6 [22; 29]	26,7 [21; 30]	>0,05
BDI-II, баллов / BDI-II, points	1,5 [0; 4]	2,69 [0; 8]	>0,05

Примечание. ИМТ – индекс массы тела; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) – степень стеноза (отношение разности величины диаметра внутренней сонной артерии дистальнее места стеноза к величине свободного (от интимы до интимы) просвета сосуда в области стеноза; ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения; EuroSCORE II (European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II) – Европейская система оценки риска кардиохирургических операций II; СА – сонная артерия; ИК – искусственное кровообращение; MMSE (Mini-Mental State Examination) – Краткая шкала оценки психического статуса; BDI-II (Beck Depression Inventory II) – Шкала депрессии Бека. * Сторона операции / контралатеральная сторона.

Note. BMI – body mass index; LVEF – left ventricular ejection fraction; NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) – the degree of stenosis (the ratio of the difference in the internal carotid artery diameter distal to the site of stenosis to the size of the free (from intima to intima) lumen of the vessel in the stenosis area; EuroSCORE II – European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II; CA – carotid artery; CPB – cardiopulmonary bypass; MMSE – Mini-Mental State Examination; BDI-II – Beck Depression Inventory II. * Side of surgery / contralateral side.

левосторонней – 83 [60; 95]%, контралатеральной стороны слева – 39 [0; 80]%, справа – 47 [0; 85]% при частоте острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) в анамнезе у 7 (23,3%) пациентов, что также отражало правильность выбранной стратегии в пользу симультанного вмешательства. Пациенты группы симультанной операции имели более высокую степень коморбидности: 6,6 [3; 9] против 4 [2; 6] ($p = 0,00006$). Закономерно был выше риск периоперационных событий по Европейской системе оценки риска кардиохирургических операций II (European System for Cardiac Operative Risk Evaluation II, EuroSCORE II): 4 [1,63; 10,60]% против 1,4 [0,88; 3,99]% ($p = 0,00002$). Несмотря на клиническое неравенство по частоте ОНМК в анамнезе и коморбидной патологии (индекс Чарлсона), а также по прогнозу неблагоприятного исхода коронарного шунтирования (балл EuroSCORE II), медианы баллов MMSE и FAB между группами не различались. Также не имели различий интраоперационные параметры: дли-

тельность искусственного кровообращения (ИК), гипоксии, средней температуры перфузии (см. табл. 1).

Результаты / Results

Частота ранней ПОКД в группе пациентов после изолированного КШ составила 73,3%, у больных после симультанной операции КШ и КЭА – 72,5% ($p > 0,05$).

Исходно имелись различия между группами по параметрам перфузии коры головного мозга. Так, показатель рМК у пациентов группы изолированного КШ по сравнению с группой симультанной операции КШ и КЭА был выше в височных областях справа и слева ($p = 0,01$ и $p = 0,04$ соответственно). Также у больных группы изолированного КШ по сравнению с пациентами группы симультанной операции КШ и КЭА перфузия была выше в правой лобной доле ($p = 0,03$), правой теменной доле ($p = 0,005$), а также в затылочных долях справа и слева ($p = 0,03$ и $p = 0,03$ соответственно) (рис. 1, 2).

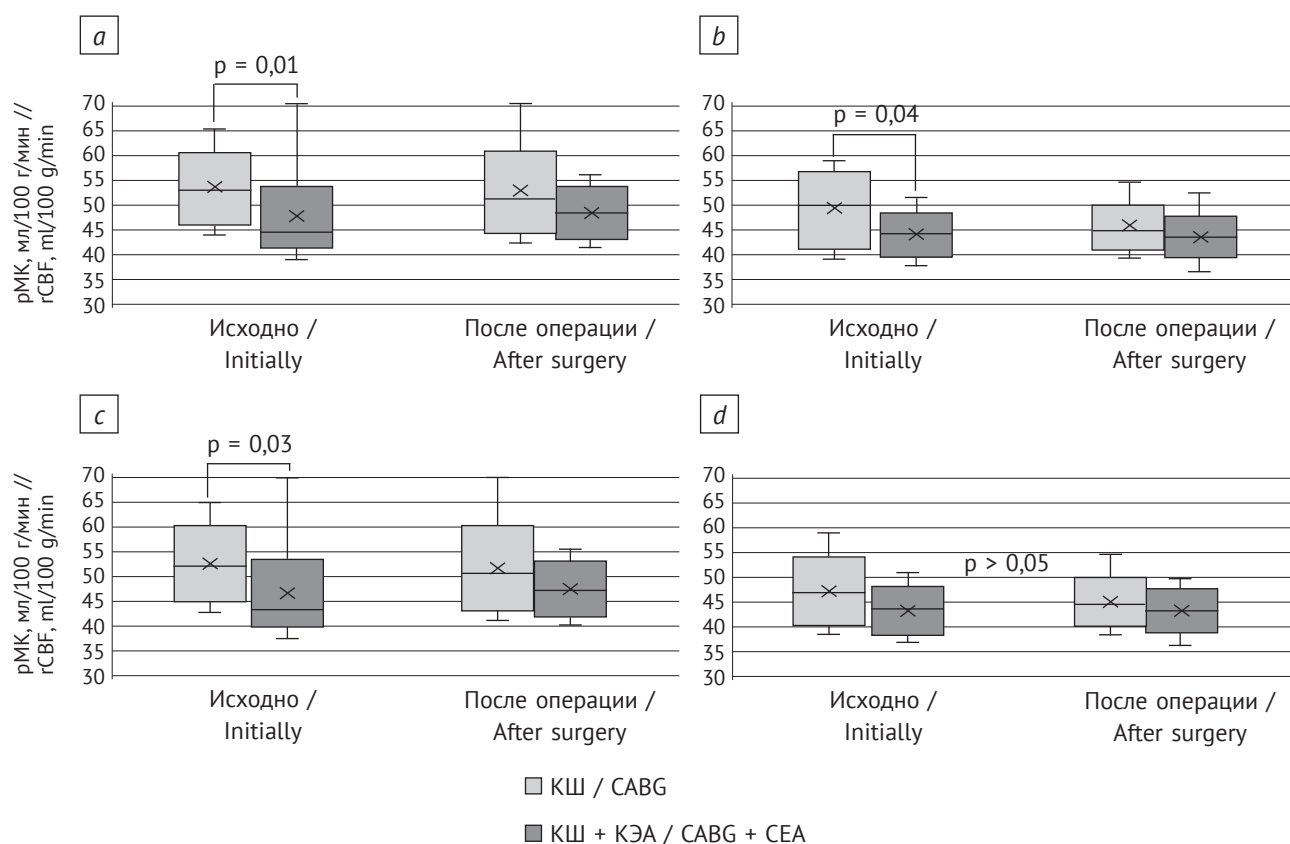


Рис. 1. Результаты оценки регионального мозгового кровотока (рМК) с помощью однофотонной эмиссионной томографии в периоперационном периоде у пациентов при изолированном коронарном шунтировании (КШ) и сочетанной операции КШ и каротидной эндактерэктомии (КЭА): а – височной правой доли; б – височной левой доли; в – лобной правой доли; д – лобной левой доли

Fig. 1. Results of regional cerebral blood flow (rCBF) assessment using single-photon emission tomography in the perioperative period in patients with isolated coronary artery bypass grafting (CABG) and combined CABG and carotid endarterectomy (CEA) in: а – right temporal lobe; б – left temporal lobe; в – right frontal lobe; д – left frontal lobe

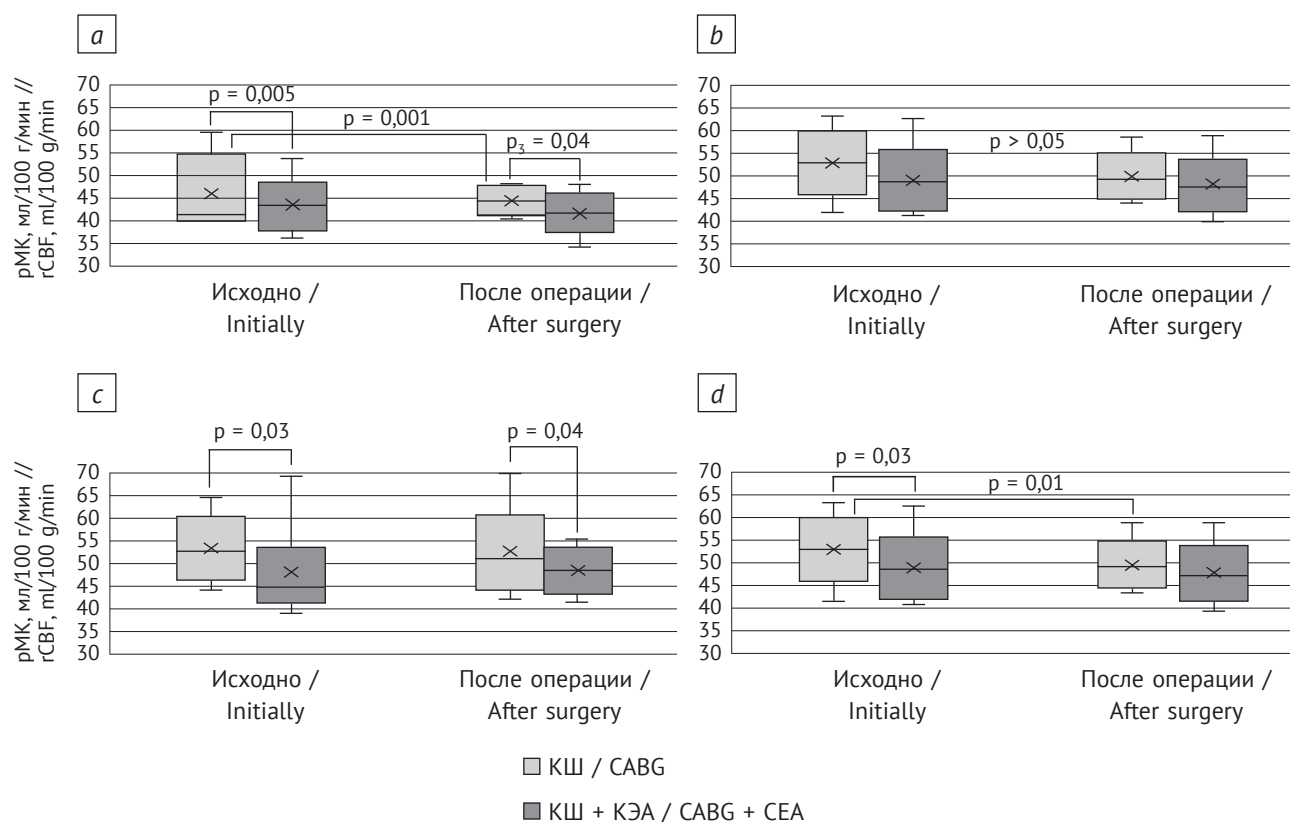


Рис. 2. Результаты оценки регионального мозгового кровотока (рМК) с помощью однофотонной эмиссионной томографии в периоперационном периоде у пациентов при изолированном коронарном шунтировании (КШ) и сочетанной операции КШ и каротидной эндартерэктомии (КЭА):

a – правой теменной доли; b – левой теменной доли; c – правой затылочной доли; d – левой затылочной доли

Fig. 2. Results of regional cerebral blood flow (rCBF) assessment using single-photon emission tomography in the perioperative period in patients with isolated coronary artery bypass grafting (CABG) and combined CABG and carotid endarterectomy (CEA) in: a – right parietal lobe; b – left parietal lobe; c – right occipital lobe; d – left occipital lobe

В послеоперационном периоде в группе изолированного КШ уровень перфузии (показатель рМК) по сравнению с дооперационным значением снижался в правой теменной области ($p = 0,01$), правой и левой затылочных областях ($p = 0,01$ и $p = 0,01$ соответственно). В группе симультанного вмешательства показатели перфузии значимо не менялись. Также имелись межгрупповые различия в показателях перфузии правой теменной области, которая была выше у больных после изолированного КШ в раннем послеоперационном периоде ($p = 0,04$) (см. рис. 1, 2).

Снижение показателя рМК может быть следствием повреждения головного мозга в этой зоне. Наиболее уязвимыми оказались области головного мозга у пациентов после изолированного КШ: правая теменная, затылочная доли с двух сторон. Это говорит о том, что больные, не имеющие атеросклероза прецеребральных артерий, подвержены риску травмы головного мозга, прежде всего за счет влияния ИК.

С учетом полученной динамики перфузии головного мозга проведен регрессионный анализ влияния исходных показателей ОФЭКТ и показателей раннего послеоперационного периода на развитие ранней ПОКД отдельно для каждой группы пациентов. Роль зависимой переменной играла ранняя ПОКД. В качестве независимых предикторов ранней ПОКД в регрессионный анализ включены показатели рМК до операции и раннего послеоперационного периода: височные, лобные, теменные, затылочные доли с двух сторон. Не получено достоверных сведений о влиянии исходных показателей рМК на развитие ранней ПОКД. Наибольший вклад в развитие ранней ПОКД у пациентов после изолированного КШ внесли показатели перфузии (рМК) левой височной области. У больных после сочетанной операции КШ и КЭА также не получено достоверных сведений о вкладе исходных показателей рМК в развитие ранней ПОКД. На развитие ранней ПОКД у этих пациентов влияло увеличение перфузии в правой теменной зоне в раннем послеоперационном периоде (табл. 2).

Регрессионный анализ показателей однофотонной эмиссионной компьютерной томографии
(регионального мозгового кровотока) для зависимой переменной ранней послеоперационной когнитивной дисфункции

Table 2

Regression analysis of single-photon emission computed tomography results
(regional cerebral blood flow) for a dependent variable of early postoperative cognitive dysfunction

Группа (зона) / Group (lobe)	Предикторы / Predictors		
	Бета / Beta	t	p
КШ (левая височная доля) / CABG (left temporal lobe)	2,010	2,963	0,025
КШ + КЭА (правая теменная доля) / CC + CEA (right parietal lobe)	1,852	2,174	0,040

Примечание. КШ – коронарное шунтирование; КЭА – каротидная эндартерэктомия.

Note. CABG – coronary bypass surgery; CEA – carotid endarterectomy.

Обсуждение / Discussion

На текущий момент исходные когнитивные нарушения не учитываются как проявление атеросклероза, а возникшее когнитивное снижение после операции оценивается как закономерное и чаще всего остается недиагностированным [8–10].

У пациентов после изолированного КШ показатели рМК снижались в правой теменной и затылочных долях с двух сторон. Однако при отсутствии явного изменения перфузии в левой височной зоне у этих больных данный показатель оказал влияние на развитие ранней ПОКД прежде всего потому, что при повреждении левой височной доли возникают расстройства сознания, памяти и построения речи, а это параметры когнитивных функций. У пациентов группы симультанного вмешательства не отмечено динамики показателей перфузии по сравнению с дооперационными значениями, но, несмотря на это, рМК в правой теменной области после операции вносил свой вклад в развитие ранней ПОКД. Частично это может быть объяснено тем, что КЭА влечет за собой транзиторное увеличение мозгового кровотока, при котором возникает гиперперфузия более чем на 100% от дооперационного значения. Механизмами последней являются изменение цереброваскулярной ауторегуляции и повышение послеоперационного систолического артериального давления [11–12]. В данном исследовании речи не идет о 100% гиперперфузии после КЭА, но нельзя исключить влияние реперфузионного синдрома меньшей выраженности, а также компонентов ИК (микроэмболизация, системная воспалительная реакция) [10, 13–16].

Проведенное исследование показало возможность применения сцинтиграфии головного мозга

для выявления ранней ПОКД, что может применяться у больных, не способных выполнять когнитивные задания. Ограничениями исследования на текущий момент являются малочисленная выборка пациентов, снижение количества проводимых сочетанных вмешательств на прецеребральных и коронарных артериях из-за экономической составляющей, высокая стоимость проведения ОФЭКТ. С учетом развития новых подходов к диагностике и лечению использование ОФЭКТ как функционального метода исследования актуально для понимания патофизиологических процессов при когнитивных нарушениях, а следовательно, для поиска и оценки вариантов профилактики ПОКД.

Заключение / Conclusion

Проведен разносторонний анализ когнитивных показателей у пациентов при реваскуляризации миокарда и головного мозга доступными на текущий момент способами: скрининговые тесты, компьютерное тестирование, визуализация головного мозга. Это позволило поэтапно, учитывая данные, полученные различными методами, подтвердить изменения когнитивных показателей под влиянием различных оперативных вмешательств и оценить роль показателей сцинтиграфии для верификации ранней ПОКД.

Таким образом, оценка перфузии головного мозга у кардиохирургических пациентов до и после операции с помощью ОФЭКТ может использоваться с целью выявления зон, пострадавших при проводимых вмешательствах, а также быть методом контроля безопасности операций и оценки применяемых способов профилактики для предотвращения развития ПОКД.

Литература [References]

- Schröder J, Heinze M, Günther M, et al. Dynamics of brain perfusion and cognitive performance in revascularization of carotid artery stenosis. *Neuroimage Clin.* 2019; 22: 101779. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101779>.
- Короткевич А.А., Семенов С.Е., Малева О.В., Трубникова О.А. Связь результатов нейропсихологического тестирования и показателей регионарного мозгового кровотока по данным ОФЭКТ у пациентов кардиохирургического профиля. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2023; 12(1): 49–57. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-1-49-57>. [Korotkevich AA, Semenov SE, Maleva OV, Trubnikova OA. Association between the results of neuropsychological testing and indicators of regional cerebral blood flow according to SPECT data of cardiac surgical patient. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2023; 12(1): 49–57 (in Russ). <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-1-49-57>.]
- Halliday A, Bax JJ. The 2017 ESC guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases, in collaboration with the European society for vascular surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2018; 55(3): 301–2. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.03.004>.
- Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J.* 2019; 40(2): 87–165. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>.
- Aboyans V, Ricco JB, Bartelink ML, et al. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries. Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO) The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J.* 2018; 39(9): 763–816. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx095>.
- Selnes OA, Gottesman RF, Grega MA, et al. Cognitive and neurologic outcomes after coronary artery bypass surgery. *N Engl J Med.* 2012; 366(3): 250–7. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1100109>.
- Lassen NA, Andersen AR, Friberg L, Paulson OB. The retention of [^{99m}Tc]-d,l-HM-PAO in the human brain after intracarotid bolus injection: a kinetic analysis. *J Cereb Blood Flow Metab.* 1988; 8(6): S13–22. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1988.28>.
- Lattanzi S, Carbonari L, Pagliariccio G, et al. Neurocognitive functioning and cerebrovascular reactivity after carotid endarterectomy. *Neurology.* 2018; 90(4): e307–15. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004862>.
- Brown CH, Probert J, Healy R, et al. Cognitive decline after delirium in patients undergoing cardiac surgery. *Anesthesiology.* 2018; 129(3): 406–16. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002253>.
- Huang KL, Chang TY, Ho MY, et al. The correlation of asymmetrical functional connectivity with cognition and reperfusion in carotid stenosis patients. *Neuroimage Clin.* 2018; 20: 476–84. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.08.011>.
- Ballesteros-Pomar M, Alonso-Argüeso G, Tejada-García J, Vaquero-Morillo F. Cerebral hyperperfusion syndrome in carotid revascularisation surgery. *Rev Neurol.* 2012; 55(8): 490–8 (in Spanish).
- Nocuń A, Wilczyński M, Wroński J, Chrapko B. Usefulness of ^{99m}Tc-ECD brain SPECT with voxel-based analysis in evaluation of perfusion changes early after carotid endarterectomy. *Med Sci Monit.* 2011; 17(5): CR297–303. <https://doi.org/10.12659/msm.881771>.
- Zhang HP, Ma XD, Chen LF, et al. Cognitive function after carotid endarterectomy: early decline and later recovery. *Turk Neurosurg.* 2016; 26(6): 833–9. <https://doi.org/10.5137/1019-5149>.
- Ефимова Н.Ю., Чернов В.И., Ефимова И.Ю. и др. Изменение мозгового кровотока и когнитивной функции у больных, перенесших операцию коронарного шунтирования в условиях искусственного кровообращения. *Кардиология.* 2015; 55(6): 40–6. [Efimova NYu, Chernov VI, Efimova IYu, et al. Changes in cerebral blood flow and cognitive function in patients undergoing coronary bypass surgery with cardiopulmonary bypass. *Kardiologiya.* 2015; 55(6): 40–6 (in Russ).]
- Manojlovic V, Budakov N, Budinski S, et al. Cerebrovascular reserve predicts the cerebral hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2020; 29(12): 105318. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105318>.
- Messerotti Benvenuti S, Zanatta P, Valfrè C, et al. Preliminary evidence for reduced preoperative cerebral blood flow velocity as a risk factor for cognitive decline three months after cardiac surgery: an extension study. *Perfusion.* 2012; 27(6): 486–92. <https://doi.org/10.1177/0267659112453475>.



Мезенхимальная кистозная гамартома легкого

Федотов А.Н., Тюрин И.Е.

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

Федотов Алексей Николаевич, врач-рентгенолог, аспирант кафедры рентгенологии и радиологии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0001-6327-3258>

Тюрин Игорь Евгеньевич, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, вице-президент Российского общества рентгенологов и радиологов;
<https://orcid.org/0000-0003-3931-1431>

Резюме

Мезенхимальная кистозная гамартома, которая впервые была описана в 1986 г., является очень редкой легочной патологией. На сегодняшний день в литературе зарегистрировано немногим более 20 случаев. Обычно заболевание имеет бессимптомное течение, но потенциально может привести к выраженным легочным кровотечениям и даже летальному исходу. Оно не имеет специфических рентгенологических признаков, поэтому необходимо проводить дифференциальную диагностику с другими заболеваниями, включая злокачественные новообразования. В статье представлено собственное клиническое наблюдение данной патологии.

Ключевые слова: мезенхимальная кистозная гамартома; легкие; компьютерная томография; диагностика.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Федотов А.Н., Тюрин И.Е. Мезенхимальная кистозная гамартома легкого. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(4): 264–9. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-264-269>

Для корреспонденции: Федотов Алексей Николаевич, E-mail: Wolvervilla@mail.ru

Статья поступила 07.11.2023

После доработки 04.12.2023

Принята к печати 05.12.2023

Mesenchymal Cystic Hamartoma of the Lung

Alexey N. Fedotov, Igor E. Tuirin

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

Alexey N. Fedotov, Radiologist, Postgraduate, Chief of Chair of Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education;
<https://orcid.org/0000-0001-6327-3258>

Igor E. Tuirin, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education;
Vice President, Russian Society of Radiology;
<https://orcid.org/0000-0003-3931-1431>

Abstract

Mesenchymal cystic hamartoma, which was first described in 1986, is a very rare pulmonary pathology. To date, a little more than 20 cases have been registered in the literature. The disease usually has an asymptomatic course, but can potentially lead to severe pulmonary bleeding and even death. It has no specific radiological signs, therefore it is necessary to carry out differential diagnosis with other diseases, including malignant neoplasms. We present our own clinical observation of this pathology.

Keywords: mesenchymal cystic hamartoma; lungs; computed tomography; diagnosis.

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

For citation: Fedotov AN, Tuirin IE. Mesenchymal cystic hamartoma of the lung. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(4): 264–9 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-264-269>

For corresponding: Alexey N. Fedotov, E-mail: Wolvervilla@mail.ru

Received November 7, 2023

Revised December 4, 2023

Accepted December 5, 2023

Введение / Introduction

Первое упоминание о мезенхимальной кистозной гамартоме легкого (МКГЛ) приведено в статье E.J. Mark 1986 г. [1]. Автор сообщил о пяти пациентах с кистозными и/или очаговыми образованиями в легких, которым по этому поводу была проведена торакотомия (см. табл.).

Мезенхимальная кистозная гамартома легкого относится к очень редко встречающимся заболеваниям. Собственно патологическое образование состоит преимущественно из незрелых мезенхимальных клеток [1]. Клинические проявления различны – от совершенно бессимптомного течения или плевральной боли до таких серьезных, угрожающих жизни осложнений, как кровохарканье, пневмоторакс, гемоторакс, массивное внутрикистозное кровоизлияние и даже злокачественная трансформация [2].

Представляем собственный случай мезенхимальной кистозной гамартимы легкого у 70-летней женщины.

Описание случая / Case report

Женщина 70 лет, никогда не курила, в анамнезе нет никаких указаний на вредные условия окружающей среды и какие-либо хронические респираторные заболевания. Жалоб со стороны органов дыхания при поступлении не отмечалось. При физикальном обследовании данных за патологию грудной клетки не получено.

В анамнезе: экстирпация матки с придатками по поводу опухоли матки, кистомы левого яичника, патологии эндометрия, при гистологическом исследовании установлено наличие лейомиосаркомы тела матки 3-й степени, стадия pT1aR0.

Через 3 мес для оценки распространенности заболевания и подтверждения отсутствия метастатического поражения выполнена **компьютерная томография** (КТ) грудной клетки, брюшной полости и малого таза с внутривенным контрастированием (Омнипак-350) (рис. 1). По результатам проведенного исследования в верхней доле правого легкого выявлена многокамерная полость,

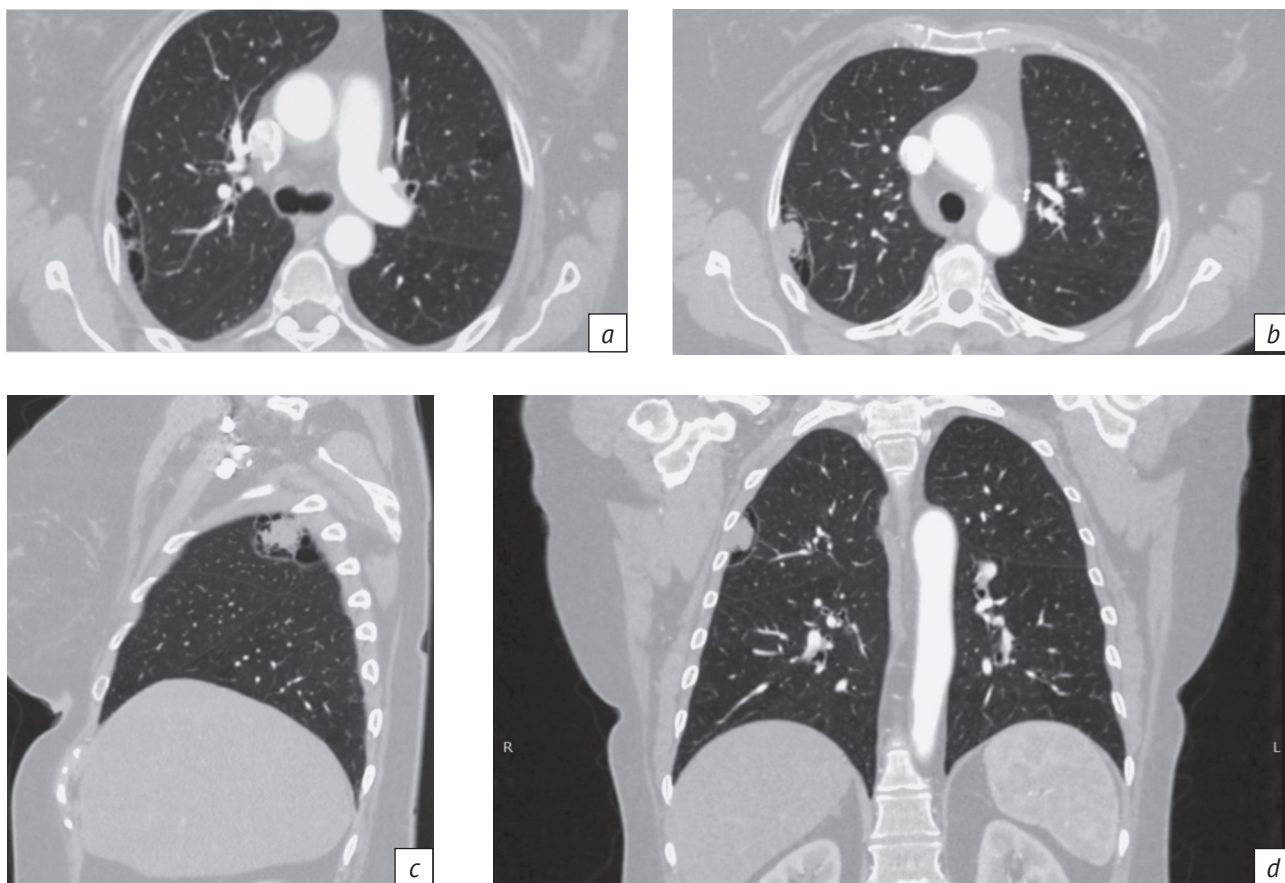


Рис. 1. Компьютерные томограммы органов грудной клетки 70-летней пациентки. В верхней доле правого легкого определяется пристеночно многокамерная полость, в стенках которой структура неправильной формы:

a, b – аксиальные срезы, c – сагиттальный срез, d – корональный срез

Fig. 1. Chest computed tomograms of a 70-year-old female patient. In the right lung upper lobe, a parietally multi-chamber cavity is determined, in the walls of which there is an irregular structure:

a, b – axial sections; c – sagittal section; d – coronal section

Клинические и рентгенологические проявления мезенхимальных гамартом в исследовании E.J. Mark (адаптировано по [1])

Clinical and radiological manifestations of mesenchymal hamartomas in the study of E.J. Mark (adapted from [1])

№ па- циента / Patient No.	Возраст при первой торако- томии / Age at first thorac- otomy	Пол / Sex	Первые признаки симп- томов / First signs of symptoms	Продол- жительность симптомов перед торако- томией / Duration of symptoms before thora- cotomy	Перво- начальный диагноз / Original pathological diagnosis	Рентгенограмма грудной клетки / Chest radiogram		Наблюдение после торакотомии / Follow-up since thoracotomy
						Первая / Initial	Последняя (интервал) / Later (interval)	
1	34 года / 34 years	Женский / Female	Гемо- торакс / Hemo- thorax	Несколько дней / Few days	Секве- страция / Seques- trations	Киста в нижней доле левого легкого; сосуды от средостения к кисте / Cyst in left lower lobe; vessels from mediastinum to cyst	Множе- ственные кисты в обоих легких и рубцы (8 мес) / Multiple cysts in both lungs and scarrings (8 months)	4 года; одышка при умеренной физической нагрузке; удален метастатический узел / 4 years; dyspnea on moderate exertion; metastatic nodule resected
2	28 лет / 28 years	Мужской / Male	Крово- харканье при физи- ческой нагрузке / Hemo- ptysis on exersize	3 года / 3 years	Бронхо- генные кисты / Broncho- genic cysts	Киста в правой верхушке / Cyst in right apex	Множе- ственные кисты в обоих легких (24 мес) / Multiple cysts in both lungs (24 months)	2 года; легкое нечастое кровохарканье / 2 years; mild infrequent hemoptysis
3	42 года / 42 years	Женский / Female	Пневмо- торакс / Pneumo- thorax	Несколько дней / Few days	Эозино- фильная гранулема / Eosinophilic granulema	Киста в правом легком и несколько небольших узлов / Cyst in right lung and a few small nodules	Стойкие узлы в обоих легких / Persistent nodules in both lungs	2 года; жива и здорова / 2 years; alive and well
4	1,5 года / 1.5 years	Мужской / Male	Сильная одышка / Severe dyspnea	Несколько дней / Few days	Кистозная рабдомио- саркома / Cystic rhabdomyo- sarcoma	Киста в нижней доле левого легкого, сдавли- вающая верхнюю долю / Cyst in left lower lobe compressing left upper lobe	Болезни нет / No disease	4 года; жив и здоров / 4 years; alive and well
5	53 года / 53 years	Женский / Female	Нет / None	Симптомов нет; узлы на рентгено- грамме за 6 лет до торако- томии / No symp- toms; nodules on X-ray 6 years before thoracotomy	Внутри- легочная мезо- телиома / Intrapul- monary mesothe- lioma	Несколько узлов в правом и левом легких, самый крупный 1,5 см / Several nodules in right and left lungs, the largest 1.5 cm	Увеличение размера и количества узлов (8 лет) / Increase in size and number of nodules (8 years)	28 лет; погиб в автомобильной катастрофе / 28 years; died in automobile accident

расположенная пристеночно, неправильной овальной формы, размерами 5,7×1,8 см. В стенке полости структура неправильной формы плотностью 0–5 HU, не накапливающая контрастный препарат в процессе исследования.

Дифференциальный диагноз:

- неинвазивный аспергиллез;
- опухоль легкого (в частности, аденокарцинома кистозного типа);
- легочный секвестр (пневматоцеле) как следствие объемного деструктивного процесса;
- многокамерная эмфизематозная булла.

Рекомендации: сопоставить с клинико-лабораторными данными, провести позитронно-эмиссионную томографию, совмещенную с КТ (ПЭТ/КТ).

Также в архиве был найден цифровой **рентгеновский снимок** органов грудной клетки за 9 мес до КТ-исследования, где данное образование визуализировалось, однако не было отражено врачом в протоколе (рис. 2).

Характер изменений оставался неясным, в связи с чем через 1 мес было проведено **ПЭТ/КТ-исследование с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой**, при котором отмечались низкие значения метаболизма радиофармпрепарата, максимальный стандартизированный уровень захвата 2,23.

Предварительно обсуждалась возможность легочного аспергиллеза (мицетомы), кистозной формы аденокарциномы легкого, метастатического поражения легкого.

В связи с неопределенностью диагноза и высокими рисками верификации при трансторакальной аспирационной биопсии пациентке выполнена **атипичная резекция верхней доли правого легкого**. При ревизии выявлено исходящее из верхней доли образование на ножке желтоватого цвета размерами 2,5×1,5 см с эмфизематозными вздутиями легочной ткани вокруг.

Микроскопическое описание:

- фрагменты ткани легкого с фокусами хронической эмфиземы, полнокровием с очаговыми кровоизлияниями и очаговым пневмосклерозом;
- фрагменты доброкачественного образования с выраженным фиброзом, скоплением жировой ткани, морфологическая картина мезенхимальной (фиброматозной) гамартомы легкого (ICD-O: 8992/0 – pulmonary hamartoma).

Послеоперационный период протекал без осложнений, на момент написания статьи никаких жалоб пациентка не отмечала.

Обсуждение / Discussion

Патофизиология

В литературе МКГЛ определяется как патологический процесс в виде дисбаланса в росте эндотермального респираторного эпителия и мезо-

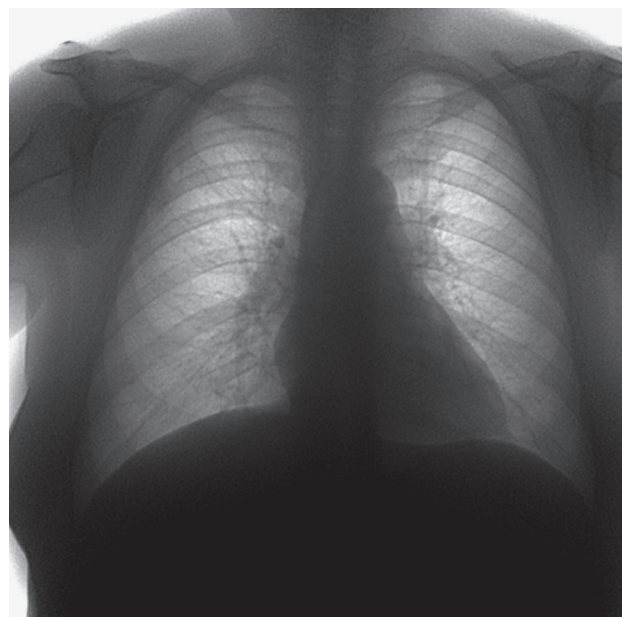


Рис. 2. Позитивная рентгенограмма органов грудной клетки 70-летней пациентки. В правом легком визуализируется неоднородная тень образования средней интенсивности, размерами 1,9×4,8 см, с четким полициклическим ровным контуром, расположенная субплеврально в проекции верхней доли

Fig. 2. Positive chest X-ray of a 70-year-old female patient. In the right lung, an inhomogeneous, medium-intensity shadow of a mass, 1.9×4.8 cm in size, with a clear polycyclic smooth contour is visualized, located subpleural in the projection of the upper lobe

дермальных сосудистых элементов, приводящий к образованию очагов и кист [1]. Ввиду редкости данной патологии достоверных данных о ее патогенезе на данный момент нет. Однако выдвигаются теории, которые пытаются объяснить ее происхождение. Наиболее ранняя и популярная заключается в том, что очаги и кисты представляют собой разные стадии одного и того же заболевания, при этом сначала возникают именно очаги. По мере увеличения очагов, особенно после достижения диаметра более 1,0 см, очаги трансформируются в кисты [1]. Кисты и очаги в МКГЛ выстланы нормальным респираторным эпителием. Также очаги могут со временем образовывать каверны, что еще больше расширяет дифференциально-диагностический ряд [3].

Кисты и очаги чаще встречаются в обоих легких, но на ранних стадиях поражения могут быть и только в одном легком. Обычно наблюдается медленный рост патологического образования. При обнаружении в детстве клинические проявления могут быть выявлены через несколько десятилетий [1].

X.W. Guo et al. [4] экстраполируют выводы R. Erber et al. [5] о том, что распределение респираторного эпителия при внутрилегочных неэпителиальных новообразованиях может быть двух типов. При первом типе респираторный эпителий

распространяется в основном в периферической части опухоли, а при втором он обнаруживается во всей опухоли, хотя и в разной степени. Различные типы гистологического распределения респираторного эпителия по-разному визуализируются при КТ.

При первом типе респираторный эпителий располагается по краю опухоли и соединяется с прилежащей легочной тканью сосудистой ножкой, кисты представляют собой расширенные бронхиолы, выстланные эпителиальными клетками с прилежащей стромой из веретенообразных клеток. Высказано предположение, что механизм обратного клапана бронхиол этого участка вызывает образование кист [6].

Второй тип гистологического распределения является основой кист при преимущественно кистозно-солидной структуре образования, когда во время операции не обнаруживается четкая ножка между опухолью и легочной тканью. Кисты в таких гамартомах являются результатом роста в сочетании с дегенеративными изменениями, которые приводят к появлению щелевидных пространств или в конечном итоге расширяются в кисты [7]. По сравнению с поражениями первого типа поражения второго типа показали смешанное распределение солидного и кистозного компонента без явных границ при визуализации. Такие визуализирующие признаки гамартоты значительно усложняют предоперационную диагностику, а окончательный диагноз зависит от морфологического и иммуногистохимического исследований.

Клинические проявления

Спектр клинических проявлений варьирует от кровохарканья, пневмоторакса, гемоторакса, боли в груди и одышки до серьезных осложнений, таких как внезапное массивное неконтролируемое внутрикистозное кровотечение и иногда даже злокачественная трансформация [8]. Однако может быть и полное отсутствие симптоматики, как у пациентки в представленном нами случае.

Рентгенологические проявления

МКГЛ может иметь различные рентгенологические проявления, которые варьируются в зависимости от выраженности кальцификации, кистозного и жирового компонентов, а также локализации в легком.

Данную патологию необходимо дифференцировать от других состояний, которые имеют сходные клиничко-рентгенологические проявления. Помимо тех заболеваний, с которыми проводилась дифференциальная диагностика в данном случае, к ним относятся, например, плевропульмональная бластома, кистозно-аденоматозная мальформация (КАМ) и лимфангиомиоматоз (ЛАМ). Поэтому для подтверждения диагноза необходима биопсия легкого. МКГЛ могут напоминать КАМ рентгеноло-

гически и гистологически. Основные отличия ЛАМ заключаются в гистологической структуре, изменения представлены фиброзной тканью и другими зрелыми элементами, тогда как строма кистозных гамартот состоит из значительного количества примитивных мезенхимальных клеток [9]. Кроме того, ЛАМ обычно возникают у женщин репродуктивного возраста. При КТ органов грудной клетки обычно определяются равномерно распределенные в обоих легких кисты без очагов [8].

Также некоторые авторы отмечают, что для дифференциальной диагностики МКГЛ, в том числе для обнаружения жирового компонента в структуре, может быть полезна магнитно-резонансная томография органов грудной клетки [10].

Лечение и прогноз

Однозначных рекомендаций по поводу хирургического вмешательства при МКГЛ в настоящий момент нет. Одни авторы считают, что рутинная хирургическая резекция не требуется из-за многоочагового и обычно доброкачественного характера заболевания, однако ввиду возможности злокачественной трансформации рекомендовано тщательное динамическое наблюдение [8].

Другие исследователи полагают, что резекция легкого является наиболее важной мерой лечения пациентов с МКГЛ [11], так как крупные кистозно-солидные легочные гамартоты часто располагаются под висцеральной плеврой и отделены от грудной полости лишь одним ее тонким слоем, поэтому кистозная часть более подвержена разрыву, что может привести к вторичному пневмотораксу [6].

Благодарность

Авторы выражают благодарность Сергею Александровичу Ульянову за помощь в подготовке описания клинического случая.

Заключение / Conclusion

Хотя кистозные гамартоты обычно носят доброкачественный характер, они могут привести к тяжелым осложнениям и даже летальному исходу. Данную патологию следует включить в дифференциальный диагноз при визуализации атипичного кистозно-солидного образования в легких. Эти гамартоты могут иметь различные особенности при КТ в зависимости от типа гистологического распределения респираторного эпителия. Однозначного мнения по поводу необходимости оперативного вмешательства на данный момент нет, при отсутствии клинических проявлений рекомендовано наблюдение. Повышение информированности врачей о данной патологии, в том числе с помощью демонстрации нашего клинического случая, позволит чаще диагностировать и правильно определять дальнейшую тактику ведения пациентов.

Литература / References

1. Mark EJ. Mesenchymal cystic hamartoma of the lung. *N Engl J Med*. 1986; 315(20): 1255–9. <http://doi.org/10.1056/NEJM198611133152004>.
2. Hedlund GL, Bisset GS, Bove KE. Malignant neoplasms arising in cystic hamartomas of the lung in childhood. *Radiology*. 1989; 173(1): 77–9. <http://doi.org/10.1148/radiology.173.1.2781034>.
3. Mogi A, Miyanaga T, Kosaka T, et al. Thoracoscopic resection of a mesenchymal cystic hamartoma of the lung. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2011; 59(9): 619–22. <http://doi.org/10.1007/s11748-010-0740-6>.
4. Guo XW, Jia XD, Ji AD, et al. Large cystic-solid pulmonary hamartoma: a case report. *World J Clin Cases*. 2022; 10(8): 2650–6. <http://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i8.2650>.
5. Erber R, Haller F, Hartmann A, et al. Prominent entrapment of respiratory epithelium in primary and metastatic intrapulmonary non-epithelial neoplasms: a frequent morphological pattern closely mimicking adenofibroma and other biphasic pulmonary lesions. *Virchows Arch*. 2020; 477: 195–205. <http://doi.org/10.1007/s00428-020-02796-7>.
6. Saadi MM, Barakeh DH, Husain S, et al. Large multicystic pulmonary chondroid hamartoma in a child presenting as pneumothorax. *Saudi Med J*. 2015; 36: 487–9. <http://doi.org/10.15537/smj.2015.4.10210>.
7. Miura K, Hori T, Yoshizawa K, et al. Cystic pulmonary hamartoma. *Ann Thorac Surg*. 1990; 49: 828–9. [http://doi.org/10.1016/0003-4975\(90\)90038-8](http://doi.org/10.1016/0003-4975(90)90038-8).
8. Zhu H, Huang S, Zhou X. Mesenchymal cystic hamartoma of the lung. *Ann Thorac Surg*. 2012; 93(6): 145–7. <http://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.12.041>.
9. Souza Frederico F, Chen E. Mesenchymal cystic hamartoma of the lung. *J Thorac Imaging*. 2009; 24(1): 52–5. <http://doi.org/10.1097/RTI.0b013e31818c8834>.
10. Yuan L, Wang S, Wei J, et al. Mesenchymal cystic hamartoma of the lung: a case report. *Medicine (Baltimore)*. 2022; 101(1): e28242. <http://doi.org/10.1097/MD.00000000000028242>.
11. Guo W, Zhao YP, Jiang YG, et al. Surgical treatment and outcome of pulmonary hamartoma: a retrospective study of 20-year experience. *J Exp Clin Cancer Res*. 2008; 27(1): 8. <http://doi.org/10.1186/1756-9966-27-8>.



Радиомика в диагностике узловых образований щитовидной железы

**Токмачева А.А.¹, Вялкин Д.С.², Троц А.А.³, Тараканова Е.Е.¹,
Давлетова Ю.И.¹, Абдуллина Э.Л.¹, Степанадзе В.Б.⁴, Ахметова А.И.¹,
Шагиева Н.Э.¹, Ускова В.Д.¹, Коновалова В.С.¹, Магданова А.Р.¹**

¹ ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России,
ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России,
ул. Студенческая, 10, Воронеж, 394036, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России,
пер. Нахичеванский, 29, Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
Московский пр-т, 15, Чебоксары, 428015, Российская Федерация

Токмачева Ангелина Алексеевна, ассистент кафедры ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0009-0006-2708-0305>

Вялкин Дмитрий Сергеевич, ассистент кафедры ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России;
<https://orcid.org/0009-0001-6668-8544>

Троц Алина Алексеевна, ординатор ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0009-0002-4901-3382>

Тараканова Елизавета Евгеньевна, студентка ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0002-3753-3412>

Давлетова Юлия Ильдаровна, студентка ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0003-1967-7487>

Абдуллина Элина Ленаровна, студентка ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0003-0016-3312>

Степанадзе Вахтанг Бежанович, студент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»;
<https://orcid.org/0000-0002-4586-2021>

Ахметова Альмира Ильгамовна, ординатор кафедры ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0009-0003-0385-209X>

Шагиева Нурия Эльвировна, студентка ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0003-0119-4516>

Ускова Варвара Дмитриевна, студентка ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0003-2225-5218>

Коновалова Виктория Сергеевна, студентка ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0001-9497-0419>

Магданова Айгуль Рустановна – студентка ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0002-3753-3412>

Резюме

Узлы щитовидной железы (УЩЖ) широко распространены во всем мире: по данным патологоанатомических исследований, их могут иметь от 50% до 60% взрослых. В настоящее время в клинике для диагностики УЩЖ обычно используются ультразвуковое исследование, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и радионуклидная диагностика (например, позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией). Эти методы в основном применяются для диагностики доброкачественности и злокачественности узлов, степени инвазии в прилегающие ткани и метастазирования в лимфатические узлы. Благодаря развитию искусственного интеллекта, машинного обучения и усовершенствованию оборудования для медицинской визуализации в последние годы популярным направлением исследований стала радиомика. Она позволяет получать из медицинских изображений различные количественные характеристики, выделяя невидимые черты и значительно расширяя возможности идентификации и прогнозирования. Радиомика обладает высоким потенциалом в выявлении и прогнозировании УЩЖ. В статье представлена информация о разработке и рабочем

процессе радиомики. Обобщены данные о применении различных методов визуализации для выявления доброкачественных и злокачественных УЩЖ, оценки инвазивности и метастазирования в лимфатические узлы, а также о некоторых новых достижениях в области молекулярного уровня и глубокого обучения. Также приведены недостатки методики радиомики и перспективы ее дальнейшего развития.

Ключевые слова: узлы щитовидной железы; рак щитовидной железы; радиомика; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; ультразвуковое исследование; искусственный интеллект; обзор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Токмачева А.А., Вялкин Д.С., Троц А.А., Тараканова Е.Е., Давлетова Ю.И., Абдуллина Э.Л., Степанадзе В.Б., Ахметова А.И., Шагиева Н.Э., Ускова В.Д., Коновалова В.С. Радиомика в диагностике узловых образований щитовидной железы. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(4): 270–8. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-270-278>

Для корреспонденции: Токмачева Ангелина Алексеевна, E-mail: vkomissiya@inbox.ru

Статья поступила 06.04.2023

После доработки 04.10.2023

Принята к печати 05.12.2023

Radiomics in the Diagnosis of Thyroid Nodules

Angelina A. Tokmacheva¹, Dmitry S. Vyalkin², Alina A. Trots³, Elizaveta E. Tarakanova¹, Yulia I. Davletova¹, Elina L. Abdullina¹, Vakhtang B. Stepnadze⁴, Almira I. Akhmetova¹, Nuriya E. Shagieva¹, Varvara D. Uskova¹, Victoria S. Konovalova¹, Aigul R. Magdanova¹

¹ Bashkir State Medical University,
ul. Lenina, 3, Ufa, 450008, Russian Federation

² Burdenko Voronezh State Medical University,
ul. Studencheskaya, 10, Voronezh, 394036, Russian Federation

³ Rostov State Medical University
Nakhichevanskiy pereulok, 29, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

⁴ Ulyanov Chuvash State University,
Moskovskiy prospekt, 15, Cheboksary, 428015, Russian Federation

Angelina A. Tokmacheva, Assistant Professor, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0009-0006-2708-0305>

Dmitry S. Vyalkin, Assistant Professor, Burdenko Voronezh State Medical University;
<https://orcid.org/0009-0001-6668-8544>

Alina A. Trots, Resident, Rostov State Medical University;
<https://orcid.org/0009-0002-4901-3382>

Elizaveta E. Tarakanova, Student, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0002-3753-3412>

Yulia I. Davletova, Student, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0003-1967-7487>

Elina L. Abdullina, Student, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0003-0016-3312>

Vakhtang B. Stepnadze, Student, Ulyanov Chuvash State University;
<https://orcid.org/0000-0002-4586-2021>

Almira I. Akhmetova, Resident, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0009-0003-0385-209X>

Nuriya E. Shagieva, Student, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0003-0119-4516>

Varvara D. Uskova, Student, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0003-2225-5218>

Victoria S. Konovalova, Student, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0001-9497-0419>

Aigul R. Magdanova, Student, Bashkir State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0002-3753-3412>

Abstract

The thyroid nodules (TNs) are widespread throughout the world: according to the pathological studies, they can be found in 50–60% of adults. Currently, ultrasound, computed tomography, magnetic resonance imaging and radionuclide diagnostics, such as positron emission tomography with computed tomography, are usually used to diagnose TNs in clinic. These techniques are mainly used to diagnose the nodule benignity and malignancy, the degree of invasion into adjacent tissues and metastases to lymph nodes. Thanks to

the development of artificial intelligence, machine learning and the improvement of medical imaging equipment, radiomics has become a popular area of research in recent years. It allows to obtain various quantitative characteristics from medical images, highlighting invisible features and significantly expanding the possibilities of identifying and predicting. Radiomics has a high potential in detecting and predicting TNs. We present the information on the development and workflow of radiomics. The article summarizes the application of various imaging techniques to identify benign and malignant TNs, determine invasiveness and metastases to lymph nodes, as well as some new advances in the field of molecular level and deep learning. The disadvantages of radiomics method are also given as well as prospects for its further development.

Keywords: thyroid nodules; thyroid cancer; radiomics; computed tomography; magnetic resonance imaging; ultrasound; artificial intelligence; review.

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

For citation: Tokmacheva AA, Vyalkin DS, Trots AA, Tarakanova EE, Davletova Yul, Abdullina EL, Stepnadze VB, Akhmetova AI, Shagieva NE, Uskova VD, Konovalova VS. Radiomics in the diagnosis of thyroid nodules. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(4): 270–8 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-270-278>

For corresponding: Angelina A. Tokmacheva, E-mail: vkomissiya@inbox.ru

Received April 6, 2023

Revised October 4, 2023

Accepted December 5, 2023

Введение / Introduction

Узлы щитовидной железы (УЩЖ) широко распространены во всем мире: по данным патолого-анатомических исследований, их могут иметь от 50% до 60% взрослых [1]. Доброкачественные УЩЖ без хирургических показаний, как правило, не требуют специального лечения. Напротив, злокачественные УЩЖ должны подвергаться плановому хирургическому лечению после установления диагноза, а при наличии метастазов в лимфатических узлах следует выполнять шейную диссекцию.

Рак щитовидной железы (РЩЖ) является наиболее распространенным злокачественным новообразованием эндокринной системы [2]. В общей структуре онкологической заболеваемости в Российской Федерации в 2020 г. он составил 2,1% (2019 г. – 2,2%; 2008 г. – 1,8%), что подтверждает постоянный рост числа больных с этой патологией в последние годы с соотношением 4,7:1 между женским и мужским населением [3]. Наиболее распространенный его тип – папиллярный рак щитовидной железы (ПРЩЖ), который довольно часто имеет благоприятный прогноз, однако в случае рецидивов прогноз неблагоприятный. В 10–15% случаев ПРЩЖ является рецидивирующим и имеет агрессивные характеристики, включая экстра-тироидную инвазию, латеральное метастазирование в лимфатические узлы шеи, резистентность к терапии и отдаленные метастазы [4].

Медицинская визуализация стала обычной клинической практикой для получения информации о характеристиках тканей человека неинвазивным и воспроизводимым способом. Для диагностики УЩЖ обычно используются ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и радионуклидная диагностика (например,

позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с КТ).

Однако текущая стратификация риска для диагностической визуализации УЩЖ субъективна, так как в значительной степени она зависит от эмпирического суждения клинициста и в различных изображениях содержится большое количество неиспользованной цифровой информации. Многие исследователи пытались разработать объективные методы, в том числе модели искусственного интеллекта (ИИ), для извлечения ранее не использованных данных в изображениях, чтобы помочь решить эту проблему.

Применение радиомики в диагностике и лечении УЩЖ / Radionics in TNs diagnosis and treatment

Дифференциальная диагностика доброкачественных и злокачественных новообразований

Ультразвуковое исследование. С постоянным совершенствованием УЗИ-инструментов применение высокочастотного ультразвука к малым органам стало неотъемлемой частью неинвазивной диагностики [5]. Благодаря высокой чувствительности, безопасности, простоте и скорости УЗИ является методом выбора для скрининга УЩЖ. В рекомендациях Американской ассоциации щитовидной железы (American Thyroid Association, ATA) 2015 г. подчеркивается важность УЗИ для этих целей [6]. В последние годы предложены новые методы, такие как УЗИ с контрастным усилением и УЗ-эластография, чтобы значительно повысить точность диагностики УЩЖ [7, 8]. Большинство исследований было сосредоточено на разработке радиомических показателей с использованием УЗИ-изображений и их изучении в качестве допол-

нительного инструмента повышения эффективности систем стратификации риска.

J. Liang et al. провели радиомический анализ УЗИ-изображений и сравнили их со стандартами оценки Американского колледжа радиологии (American College of Radiology, ACR) TI-RADS¹. Ультразвуковая радиомика показала хорошую дискриминационную и прогностическую ценность, а анализ кривой принятия решения продемонстрировал, что модель, использующая оценку радиомики, дает больше преимуществ, чем модель оценки ACR [9].

В работе J. Yoon et al. использовался многомерный логистический регрессионный анализ для создания двух моделей прогнозирования: одна основана на клинических переменных, а другая – на клинических переменных в сочетании с радиомикой. Результаты показали, что площадь под кривой (area under curve, AUC) прогностической модели, состоящей из клинических переменных и радиометрической оценки, была значительно выше, чем у модели, состоящей только из клинических переменных (0,839 против 0,583) [10].

Y. Shi et al. осуществили аналогичный эксперимент и создали три модели: модель группового обучения клинической визуализации, объединенную модель группы клинической визуализации и комбинированные изображения с номограммами. Авторы пришли к выводу, что совместная модель клинической визуализации omics имеет более высокую прогностическую ценность и чистую эффективность, чем две другие [11].

Магнитно-резонансная томография имеет высокое контрастное разрешение, обеспечивает хорошую визуализацию мягких тканей и может быть всесторонней, многоугольной и многоплоскостной для дифференциальной диагностики УЩЖ, при этом отсутствует ионизирующее излучение по сравнению с КТ. МРТ является наиболее чувствительным методом визуализации для диагностики ранних метастатических заболеваний печени и головного мозга. Метод также обычно используется для определения степени поражения костного мозга при злокачественных новообразованиях костей. Однако из-за длительного времени работы, артефактов движения и других проблем МРТ редко применяется для диагностики УЩЖ.

Q. Wang et al. использовали диффузионно-взвешенную визуализацию с высоким значением b-фактора, анализ основных компонентов (principal component analysis, PCA) и коэффициент корреляции Пирсона для уменьшения размер-

ности и построили десять моделей: SVM (support vector machines), скрытое распределение Дирихле (latent Dirichlet distribution, LDA), автокодировщик (autoencoder, AE), «случайный лес» (random forest, RF), логистическая регрессия (logistic regression, LR), LASSO (least absolute shrinkage and selection operator), дерево решений, генное программирование и наивный байесовский анализ. Авторы оценивали чувствительность, специфичность, точность и четыре индекса AUC. Для стандартизации применяли NormUnit, для уменьшения размерности – PCA, для скрининга собственных значений – ANOVA (analysis of variance). В результате было выбрано 15 собственных значений; дифференциально-диагностический эффект модели оказался лучшим, точность составила 85,71%, чувствительность – 80,00%, специфичность – 100,00%, AUC – 0,925 [12].

L. Xia et al. выбрали T2-взвешенные изображения (T2-BI) и изображения с измеряемым коэффициентом диффузии (apparent diffusion coefficient, ADC). Авторы применили факторный анализ для проверки функций, а затем дополнительно отфильтровали указанные выше функции для построения модели SVM. Точность модели составила 88%, чувствительность – 98%, специфичность – 80%, AUC – 0,92. Всего было проверено 15 признаков, разделенных на общие, морфологические и текстурные, связанные с пространственным распределением, включая GLZLM (grey level zone length matrix), GLRLM (gray level run length matrix) и т.д. С точки зрения важности признаков модели опорных векторов с полиномиальной функцией ядра характеристики CONVENTIONAL_Q2 в изображениях ADC и CONVENTION-AL_Q3 имеют большое значение для распознавания ПРЩЖ. В то же время CONVENTIONAL_std-t является наиболее важной недавно обнаруженной характеристикой T2-BI для дифференциации узлового зоба от ПРЩЖ [13].

Компьютерная томография. Узловые образования щитовидной железы могут быть обнаружены случайно при проведении КТ или МРТ по другим показаниям. УЩЖ выявляются примерно в 16% случаев при КТ органов грудной клетки. КТ с контрастным усилением может показать характерное усиление контрастности щитовидной железы, узлов и окружающих тканей, что имеет большое значение для качественной диагностики узловых образований. Использование КТ-изображений позволяет избежать ошибок УЗИ, ассоциированных с субъективностью исследования. Кроме того, стандартизация изображения выше, а обученная модель обладает более выраженной способностью к обобщению.

Y. Wu et al. идентифицировали доброкачественные и злокачественные УЩЖ на основании однослойных КТ-изображений в артериальную

¹ TI-RADS (Thyroid Imaging Reporting and Data System) – система описания и обработки данных лучевых исследований щитовидной железы.

фазу с контрастным усилением и исключили очаги кальцификации и кистозного некроза. Обнаружено, что значения текстурных признаков на основе GLCM (gray level co-occurrence matrix) значительно различаются между доброкачественными и злокачественными узлами, а чувствительность и специфичность выше, когда граничное значение энтропии равно 5,00 [14].

Тем не менее W. Guo et al. не исключили кистозный некроз и кальцификации узлов при зарисовке областей интереса с помощью однослойных изображений с КТ-усилением. Результаты показали, что эффективность дифференциальной диагностики выше при использовании энтропии 6,09 в качестве граничного значения [15]. Энтропия является наиболее объективной характеристикой параметра текстуры, отражающей сложность и неоднородность внутренней структуры опухоли. Значение пикселя представляет количество пикселей, содержащихся в изображении. Чем оно выше, тем четче будет изображение. Асимметрия, пиковое состояние и стандартное отклонение отражают распределение значений пикселей.

Используя метод измерения объема, Y. Hu et al. извлекли значения признаков 3D-текстуры улучшенных КТ-изображений 41 УЩЖ, включая асимметрию, эксцесс, энтропию, неоднородность, стандартное отклонение и среднюю интенсивность. Среди них разница в энтропии между доброкачественными и злокачественными УЩЖ была очевидной; значение энтропии выше 3,79 указывало на то, что узлы с большей вероятностью злокачественны [16].

D. Zhang et al. собрали и проанализировали данные 203 пациентов с микроузлами щитовидной железы и использовали уменьшение размерности LASSO Logistic для анализа и сравнения шести моделей: RF, SVM, KNN (k-nearest neighbor), дерево решений, байесовский анализ и Logistic. Авторы оценивали точность, специфичность, чувствительность и AUC дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных микро-УЩЖ на разных моделях. Сделан вывод, что усиленное КТ-изображение на основе модели RF обладает наибольшей диагностической эффективностью УЩЖ [17].

D. Du et al. применили тот же метод для выявления аденомы щитовидной железы и ПРЩЖ размером более 1 см. Были построены шесть моделей радиомики, включая RF, SVM, KNN, дерево решений и Logistic. Точность, специфичность и чувствительность каждой модели в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных микро-УЩЖ были выше, чем результаты обычных расширенных КТ-исследований. Простая КТ и улучшенная модель визуализации RF имели бо-

лее высокую ценность в дифференциальной диагностике ПРЩЖ и многоузлового зоба [18].

В приведенных выше исследованиях обсуждалась возможность создания омической модели визуализации на основе существующих КТ-изображений пациентов в соответствии с эффективностью модели для повышения диагностической точности клиницистов при дифференциации доброкачественных и злокачественных УЩЖ и максимизации ценности КТ-исследования щитовидной железы.

Оценка инвазии и метастазирования в лимфатические узлы

Хотя ПРЩЖ считается индолентной опухолью, некоторые раковые клетки метастазируют в лимфатические узлы, окружающие щитовидную железу, в основном в центральные и латеральные шейные лимфатические узлы. Однако чрезмерная диссекция лимфатических узлов приведет к развитию осложнений. Чем больше объем хирургического вмешательства, тем выше вероятность таких осложнений, как повреждение надгортанного нерва, возвратных гортанных нервов и парамедианных нервов, перманентный гипопаратиреоз и т.д. Таким образом, предоперационная оценка метастазирования в лимфатические узлы является важным показателем прогноза, объема и тактики хирургического вмешательства по поводу РЩЖ. Точная предоперационная диагностика метастазов в лимфатические УЩЖ имеет решающее значение для определения стадии и индивидуального плана лечения.

Ультразвуковое исследование. Существует два способа диагностики метастазирования в шейные лимфатические узлы. Один основан на изображении первичного поражения, а другой – на изображении метастатического лимфатического узла. Хотя более точно предсказать инвазивность ПРЩЖ возможно путем извлечения радиомических характеристик метастатических лимфатических узлов, частота их обнаружения низка и существуют ограничения. Таким образом, большинство моделей прогнозирования определяют инвазивность на основе ультразвуковых радиомических характеристик первичного ПРЩЖ.

В исследовании S. Zhou et al. точность, чувствительность и специфичность при определении метастатических лимфатических узлов на основе характеристик первичного ПРЩЖ составили 0,731, 0,714 и 0,74 соответственно, что было намного выше по сравнению с двухмерным УЗИ в обычных исследованиях [19].

Некоторые авторы дополнительно проанализировали ультразвуковую радиомику в сочетании с номограммой. X. Wang et al. разделили пациентов на группу с экстратиреоидным распространением

и группу без него в соответствии с результатами гистологического исследования, установили радиомическую номограмму и оценили ее точность и клиническую применимость. Анализ кривой решения показал, что номограмма ультразвуковой радиомики имеет хорошее клиническое прикладное значение [20].

Y. Tong et al. использовали тот же метод для построения номограммы на основе изображений метастатических лимфатических узлов [21]. Был сделан вывод о том, что признаки радиомики значительно коррелировали с метастазами в латеральные шейные лимфатические узлы в двух группах ($p < 0,001$). Обучающий и проверочный наборы данных демонстрируют хорошие возможности распознавания и калибровки, а AUC составляет 0,946 и 0,914 соответственно.

MPT-исследование. У многих больных РЩЖ эффективность MPT шеи и средостения напрямую не сравнивалась с КТ. MPT часто применяется в качестве метода визуализации второй линии у пациентов с неизвестными образованиями, выявленными при КТ-исследовании, чтобы лучше их охарактеризовать. Существует много работ, посвященных оценке метастазирования в шейные лимфатические узлы на основе MPT, в большинстве из которых рассматриваются центральные лимфатические узлы.

Однако в некоторых ранних исследованиях текстура использовалась только для статистического анализа. Например, H. Zhang et al. применили метод текстурного анализа гистограммы первого порядка и GLCM второго порядка для анализа текстуры изображений на этапе T2-ВИ и извлекли 9 параметров текстуры [22]. Авторы обнаружили, что энтропия, стандартное отклонение, корреляция и угловой момент второго порядка значительно различались у пациентов с РЩЖ и метастазами в шейных лимфатических узлах и у больных с РЩЖ без метастазов. Энтропия отражает неравномерность текстуры изображения, и чем сложнее текстура, тем больше энтропия. Угловой момент второго порядка, также известный как энергия, представляет собой сумму квадратов значений элементов GLCM, отражающих однородность распределения серого изображения и толщины текстуры. Чем больше значение, тем более однородным является изображение.

X. Yao et al. применили аналогичный метод для анализа более значительного числа T2-ВИ и выбрали 8 параметров текстуры, среди которых энтропия, секундный угловой момент и корреляция были статистически значимыми, за исключением стандартного отклонения [23]. Это согласовывалось с результатами исследования H. Zhang et al. [22].

H. Qin et al. отобрали омические характеристики 109 T2-ВИ; оптимальные характеристики определялись с помощью корреляционного теста Спирмена, проверки гипотез и метода «случайного леса». Авторы построили 8 диагностических моделей. Достоверность модели была подтверждена ROC-анализом (receiver operating characteristic – рабочая характеристика приемника). По результатам исследования был сделан вывод, что комбинированная модель имеет лучшую диагностическую эффективность при оценке метастазов РЩЖ в лимфатические узлы [24].

КТ-исследование. Визуализирующие исследования, такие как КТ и MPT, также помогают врачам оценить метастазы в лимфатических узлах перед операцией, особенно в областях, которые трудно оценить с помощью УЗИ (например, задняя часть глотки, средостение и нижние яремные лимфатические узлы). Хирург должен знать место поражения, морфологическую плотность, инвазию капсулы и метастазы УЩЖ в лимфатические узлы.

S. Shen et al. использовали технологию вейвлет-преобразования для анализа КТ-изображений венозной фазы у пациентов с РЩЖ. Результаты показали, что чувствительность определения метастазов в центральные лимфатические узлы в обучающей и контрольной группах составила 62,84% и 64,95% соответственно. Параметр SALGLE (small area low grey level emphasis) может использоваться в качестве независимого предиктора факторов риска [25].

G.Y. Su et al. ретроспективно проанализировали КТ-изображения артериальной и венозной фаз у 27 пациентов с метастазами РЩЖ в латеральные лимфатические узлы шеи и 32 пациентов с метастазами РЩЖ в нелатеральные лимфатические узлы шеи, применив ROC-анализ и множественный логистический регрессионный анализ. Основываясь на анализе гистограммы GLCM, авторы сделали вывод, что эксцесс имеет лучшую диагностическую площадь AUC (0,884) и специфичность (92,59%). И наоборот, средняя интенсивность серого цвета имела наилучшую диагностическую чувствительность (90,62%). Средняя интенсивность серого в артериальной фазе ($p = 0,006$; отношение рисков (OR) 24,297) и эксцесс в венозной фазе ($p = 0,014$; OR 19,651) были независимыми предикторами метастазов в шейные лимфатические узлы [26].

J. He et al. ретроспективно оценили обычные и КТ-изображения с контрастным усилением у 197 пациентов с РЩЖ и отобрали 107 признаков простой, артериальной и венозной фаз. Метод SelectKBest в Python использовался для построения алгоритма RF [27]. Авторы заключили, что особенности визуализации трех указанных стадий могут определить наличие метастазов

в лимфатических узлах, а эффективность простого сканирования лучше, чем в артериальной и венозной фазах.

H. Zhao et al. ретроспективно проанализировали 173 лимфатических узла с помощью простой КТ и двухфазной КТ с контрастным усилением. Из них 89 были метастатическими и 84 неметастатическими. Авторы использовали алгоритм языка R, встроенный в платформу научных исследований Дарвина. Для анализа алгоритма были отобраны 6 признаков артериальной фазы и 5 признаков венозной фазы, показавших наибольшую эффективность [28].

Y. Zhou et al. ретроспективно изучили результаты двухэнергетической КТ (ДЭКТ) 255 лимфатических узлов (143 неметастатических и 112 метастатических). Используя уменьшение размерности данных LASSO, логистическое моделирование и анализ решений по номограмме, авторы пришли к выводу, что анализ изображений ДЭКТ превосходит возможности КТ в предоперационной диагностике метастазов шейных лимфатических узлов у пациентов с ПРЩЖ [29].

Глубокое обучение

Что касается глубокого обучения, Y. Zhou et al. разработали базовую модель сверточной нейронной сети (convolutional neural network, CNN), модель трансферного обучения (transfer learning, TL) и новую модель под названием «радиомика глубокого обучения щитовидной железы» (deep learning radiomics of thyroid, DLRT) и сравнили их с данными врачей-рентгенологов. Результаты показали, что AUC трех указанных моделей радиомики больше, чем у рентгенологов [29]. Общая производительность DLRT является наиболее высокой.

H. Zhou et al. разработали модели классификатора на основе искусственной нейронной сети и SVM [30]. Авторы ретроспективно оценивали УЗИ-снимки 348 узлов у 340 пациентов. Два опытных рентгенолога независимо друг от друга просмотрели каждое изображение и классифицировали узлы в соответствии с рекомендациями ATA 2015 г. Отнесение узла к категории крайне подозрительных считалось положительным диагнозом злокачественности. Узлы были сегментированы вручную, и из каждой интересующей области было выделено 96 рентгенологических признаков. Десять значимых признаков были выбраны и использованы в качестве конечных входных переменных в разработанных моделях классификатора, основанных на искусственной нейронной сети и SVM. Были рассчитаны и сопоставлены диагностические показатели рентгенологов и обеих моделей классификатора. Чувствительность, специфичность и точность моделей, основанных на нейронной сети и SVM, составили 32,3%, 90,1% и 74,1%

и 41,7%, 79,4% и 69,0% соответственно, в то время как те же показатели у рентгенологов – 24,0%, 84,0% и 64,8%.

Проблемы радиомики и пути их решения / Problems of radiomics and ways to solve them

Большинство исследований, посвященных радиомике, являются ретроспективными, одноцентровыми и включают небольшую выборку. В будущем необходимо проведение проспективных многоцентровых исследований с большой выборкой, чтобы подтвердить эффективность радиомики и использовать в качестве диагностического инструмента УЩЖ.

Как правило, исследователи делят зону интереса только на максимальное поперечное сечение узлов. Необходимо усилить анализ гетерогенности всей опухоли. Поэтому в дальнейших работах важно принять метод сегментации с хорошей повторяемостью и высокой надежностью. Недавно был использован трехмерный текстурный анализ, который отображает поражения в каждом слое опухоли. Данный метод в значительной степени позволяет избежать субъективизма врачей, а измеренные значения более стабильны и полностью отражают гетерогенность опухолей. Исследования показали, что значения ADC, рассчитанные с помощью полнообъемной области интереса, имеют более высокую диагностическую эффективность, чем значения, рассчитанные с помощью однослойной области исследования твердого компонента.

Отсутствие единых стандартов радиомики

Исследователи в области радиомики должны найти компромисс между объемом данных и спецификацией включения, чтобы гарантировать существенный объем данных и поддерживать изучение больших выборок, множественных признаков, последовательностей и методов. Поэтому необходимо создание открытой базы данных научных исследований. Базы могут связывать огромные объемы радиомикологических данных от миллионов пациентов для формирования обширных сетей быстрого обучения. Тем не менее существуют также значительные препятствия для управления данными.

Проблема «черного ящика»

Обученные модели алгоритмов обычно обладают высокой точностью, но из-за сложности данных алгоритма мы не можем иметь глубокого понимания внутренней работы этих моделей и возникают необъяснимые проблемы «черного ящика». Традиционные медицинские решения основаны на знании патофизиологии, но без понимания основополагающих принципов врачам и пациентам трудно их принять.

Кроме того, без биологических экспериментов и клинических исследований регулирующим органам сложно одобрить применение диагностических инструментов на основе ИИ. В модели отсутствует интерпретируемость, и она не может оценить важность каждой функции для результата прогнозирования, не говоря уже о том, чтобы объяснить, существует ли интерактивная связь между отдельными элементами.

Поэтому еще есть возможности для совершенствования применения ИИ. Он не может полностью заменить врачей в процессе диагностики и лечения пациентов. Непрозрачность алгоритма «черного ящика» сочетается с многими этическими проблемами, которые стали предметом исследований.

Заключение / Conclusion

Хотя радиомика все еще сталкивается со многими проблемами на пути к широкому использованию в клинической практике, преимущества высокой воспроизводимости и простоты реализации указывают на то, что она имеет большой потенциал для клинического применения. Радиомика может предоставить дополнительные рекомендации по диагностике, лечению и прогнозированию заболеваний щитовидной железы за счет углубленного анализа информации изображений. Важным направлением будущего развития радиомики является поиск проверенного и надежного алгоритма после многократного тестирования и уточнения в проспективных многоцентровых исследованиях с большой выборкой, что закладывает прочную основу для прецизионной медицины.

Литература [References]

1. Миронов С.П., Сергиенко В.Б. Сцинтиграфия при узловой патологии щитовидной железы. Вестник рентгенологии и радиологии. 2022; 103(4–6): 108–16. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-108-116>. [Mironov SP, Sergienko VB. Scintigraphy in thyroid nodular pathology. Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2022; 103(4–6): 108–16 (in Russ). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-108-116>.]
2. Станякина Е.Е., Романов И.С., Гогиева Э.Х. и др. Эффективность метода определения уровня тиреоглобулина в смыве из пункционной иглы в дифференциальной диагностике метастазов высокодифференцированного рака щитовидной железы в лимфатических узлах шеи. Опухоли головы и шеи. 2022; 12(3): 10–6. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2022-12-3-10-16>. [Stanyakina EE, Romanov IS, Gogieva EK, et al. The effectiveness of the method for determining the level of thyroglobulin in needle washouts of fine-needle aspiration biopsy in the differential diagnosis of metastases of highly differentiated thyroid cancer in the lymph nodes of the neck. Head and Neck Tumors. 2022; 12(3): 10–6 (in Russ). <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2022-12-3-10-16>.]
3. Гордиенко В.П., Побережский А.В. Эпидемиологическая характеристика рака щитовидной железы у жителей восточных регионов Российской Федерации. Тихоокеанский медицинский журнал. 2022; 4: 63–71. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-4-63-71>. [Gordienko VP, Poberezhetsky AV. Thyroid cancer in the Far Eastern Federal District of Russia. Pacific Medical Journal. 2022; 4: 63–71 (in Russ). <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-4-63-71>.]
4. Gul M, Bonjoc KC, Gorlin D, et al. Diagnostic utility of radiomics in thyroid and head and neck cancers. Front Oncol. 2021; 11: 639326. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.639326>.
5. Sun L, Li M. TSH suppression therapy may affect bone health. How to manage differentiated thyroid cancer scientifically? Chinese General Practice. 2021; 24(8): 941–6. <https://doi.org/10.12114/j.issn.1007-9572.2021.00.074>.
6. Grani G, Sponziello M, Pecce V, et al. Contemporary thyroid nodule evaluation and management. J Clin Endocrinol Metab. 2020; 105(9): 2869–83. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa322>.
7. Tessler FN, Middleton WD, Grant EG, et al. ACR Thyroid Imaging, Reporting and Data System (TI-RADS): White Paper of the ACR TI-RADS Committee. J Am Coll Radiol. 2017; 14(5): 587–95. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.01.046>.
8. Fresilli D, David E, Pacini P, et al. Thyroid nodule characterization: how to assess the malignancy risk. Update of the literature. Diagnostics (Basel). 2021; 11(8): 1374. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11081374>.
9. Liang J, Huang X, Hu H, et al. Predicting malignancy in thyroid nodules: radiomics score versus 2017 American College of Radiology thyroid imaging, reporting and data system. Thyroid. 2018; 28(8): 1024–33. <https://doi.org/10.1089/thy.2017.0525>.
10. Yoon J, Lee E, Kang SW, et al. Implications of US radiomics signature for predicting malignancy in thyroid nodules with indeterminate cytology. Eur Radiol. 2021; 31(7): 5059–67. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07670-3>.
11. Shi Y, Jiang Y, Wang J, et al. Prediction of benign and malignant nodules of thyroid TI-RADS 4–5 based on ultrasonographic nomogram. Chin J Ultrasound Med. 2021; 37(12): 1328–32.
12. Wang Q, Shi Q, Xian X, et al. Application of machine learning in differential diagnosis of nodular hashimoto thyroiditis and thyroid micropapillary carcinoma based on small sample thyroid high b-value diffusion-weighted imaging omics. Chin J Med Imaging. 2021; 29(11): 1064–9.
13. Xia L, Liang Z, Yao G, et al. Value of support vector machine model based on magnetic resonance texture analysis for differential diagnosis of thyroid nodule larger than 1 cm. Shandong Med J. 2021; 61(31): 77–80.
14. Wu Y, Jin J, Feng Y. Analysis of the texture features of enhanced CT in the identification of benign and malignant thyroid nodules. J Southeast Univ (Medical Edition). 2016; 35(1): 112–6.

15. Guo W, Luo H, Zhao Y, et al. CT texture analysis technology to identify benign and malignant thyroid nodules feasibility study. *Int J Med Radiol.* 2017; 40(1): 3–5.
16. Hu Y, Huang Z, Xie Y, Wang X. Value of first-order ct texture analysis in differentiating benign and malignant thyroid nodules. *J Clin Radiol.* 2019; 38(3): 422–5.
17. Zhang DAW. Differential diagnosis of benign and malignant thyroid micronodules based on CT image omics. *Anhui Medical University.* 2020; 56(4): 652655.
18. Du D, Li X, Liu B, et al. CT image omics of thyroid adenoma and the diagnostic value of papillary carcinoma. *J Anhui Med Univ.* 2019; 54(6): 950–3.
19. Zhou S, Liu T, Zhou J. Preliminary study on application of radiomics in thyroid carcinoma. *Oncoradiology.* 2017; 26(2): 102–5.
20. Wang X, Agyekum EA, Ren Y, et al. A radiomic nomogram for the ultrasound-based evaluation of extrathyroidal extension in papillary thyroid carcinoma. *Front Oncol.* 2021; 11: 625646. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.625646>.
21. Tong Y, Li J, Huang Y, et al. Ultrasound-based radiomic nomogram for predicting lateral cervical lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma. *Acad Radiol.* 2021; 28(12): 1675–84. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.07.017>.
22. Zhang H, Zhang H, Shu Z, et al. The value of MRI T2WI image texture analysis in predicting cervical lymph node metastasis of thyroid papillary carcinoma. *Chin J Clin Imaging.* 2020; 31(8): 568–71.
23. Yao X, Zhou Q, Zhang Z, Zhou J. Value of MRI texture combined with cripto-1 and SOX2 proteins in the diagnosis of cervical lymph node metastasis of thyroid papillary carcinoma. *Chin J Med Phys.* 2022; 39(2): 224–8.
24. Qin H, Que Q, Lin P, et al. Magnetic resonance imaging (MRI) radiomics of papillary thyroid cancer (PTC): a comparison of predictive performance of multiple classifiers modeling to identify cervical lymph node metastases before surgery. *Radiol Med.* 2021; 126(10): 1312–7. <https://doi.org/10.1007/s11547-021-01393-1>.
25. Shen S, Han D, Zhao L, et al. Prediction of lymph node metastasis in the central group based on small ripple analysis of CT venous phase image of thyroid papillary carcinoma nodules. *Chin J Radiol.* 2019; 11: 946–51.
26. Su GY, Xu XQ, Zhou Y, et al. Texture analysis of dual-phase contrast-enhanced CT in the diagnosis of cervical lymph node metastasis in patients with papillary thyroid cancer. *Acta Radiol.* 2021; 62(7): 890–6. <https://doi.org/10.1177/0284185120946711>.
27. He J, Lu Q, Xu X, Hu S. Study on the value of CT imaging features in predicting cervical lymph node metastasis of papillary thyroid. *J Shanghai Jiao Tong Univ (Medical Science).* 2021; 41(9): 1233–9.
28. Zhao H, Ye J, Duan S, et al. CT image omics of thyroid papillary carcinoma and adenoma identify. *Chin J Med Imaging.* 2021; 27(2): 102–6.
29. Zhou Y, Su GY, Hu H, Ge YQ. Diagnosis of cervical lymph node metastasis of papillary thyroid carcinoma based on dual energy CT iodogram. *J Int Med Radiol.* 2021; 44(1): 119.
30. Zhou H, Jin Y, Dai L, et al. Differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules using deep learning radiomics of thyroid ultrasound images. *Eur J Radiol.* 2020; 127: 108992. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.108992>.



Динамическая гепатохолесцинтиграфия с применением радиофармпрепарата Бромезида® ^{99m}Tc

Миронов С.П., Сергиенко В.Б.

Научно-исследовательский институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова
ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова»
Минздрава России,
ул. Академика Чазова, 15а, Москва, 121552, Российская Федерация

Миронов Сергей Петрович, д. м. н., профессор, врач-радиолог лаборатории радиоизотопной диагностики и терапии отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии Научно-исследовательского института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

Сергиенко Владимир Борисович, д. м. н., профессор, руководитель отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии Научно-исследовательского института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Резюме

Сцинтиграфия печени и желчевыделительной системы с использованием радиофармпрепаратов (РФП), меченных короткоживущим технецием-^{99m}Tc, применяется с середины 1970-х гг. и сохраняет свое диагностическое значение до настоящего времени. В лекции уделено внимание ключевым аспектам фармакокинетики аналогов лидокаина, основанных на N-замещениях иминодиуксусной кислоты. Рассмотрена методология и диагностическая значимость гепатохолесцинтиграфии с применением препарата Бромезида® ^{99m}Tc (меброфенин), включающей непрерывную регистрацию пассажа РФП, анатомическую и функциональную характеристику печени, желчных протоков, желчного пузыря и двенадцатиперстной кишки. Обсуждается сцинтиграфическая семиотика при кистах общего желчного протока, остром и хроническом холецистите, дискинезии желчного пузыря и двенадцатиперстной кишки. Представленное клиническое наблюдение иллюстрирует возможности сцинтиграфии с РФП Бромезида® ^{99m}Tc при аномалии формы желчного пузыря.

Ключевые слова: гепатохолесцинтиграфия; Бромезида® ^{99m}Tc; меброфенин; киста общего желчного протока; холецистит; дуоденогастральный рефлюкс; дискинезия желчного пузыря.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Миронов С.П., Сергиенко В.Б. Динамическая гепатохолесцинтиграфия с применением радиофармпрепарата Бромезида® ^{99m}Tc. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(4): 279–86. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-279-286>

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

Статья поступила 16.11.2023

После доработки 04.12.2023

Принята к печати 05.12.2023

Dynamic Hepatocholescintigraphy with Bromesida® ^{99m}Tc

Sergey P. Mironov, Vladimir B. Sergienko

Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, Chyazov National Medical Research Center for Cardiology,
ul. Akademika Chazova, 15a, Moscow, 121552, Russian Federation

Sergey P. Mironov, Dr. Med. Sc., Professor, Radiologist, Laboratory of Radioisotope Diagnostics and Therapy, Department of Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, Chyazov National Medical Research Center for Cardiology;
<https://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

Vladimir B. Sergienko, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Department of Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, Chyazov National Medical Research Center for Cardiology;
<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Abstract

Hepatobiliary scintigraphy using radiopharmaceuticals (RPh) labeled with short-lived technetium-99m (^{99m}Tc) has been used since the mid-1970s and still retains its diagnostic value. The lecture focuses on key aspects of the pharmacokinetics of lidocaine analogs based on N-substitutions of iminodiacetic acid. The methodology and diagnostic significance of hepatocholescintigraphy with Bromesida $^{\circ}$ ^{99m}Tc (mebrofenin), including computer registration of RPh passage, anatomical and functional characteristics of liver, bile ducts, gallbladder and duodenum, are considered. Scintigraphic semiotics in choledochal cysts, acute and chronic cholecystitis, gallbladder and duodenum dyskinesia, are discussed. The presented clinical case illustrates the possibilities of Bromesida $^{\circ}$ ^{99m}Tc scintigraphy in the gallbladder form anomaly.

Keywords: hepatocholescintigraphy; Bromesida $^{\circ}$ ^{99m}Tc ; mebrofenin; choledochal cyst; cholecystitis; duodenogastric reflux; gallbladder dyskinesia.

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

For citation: Mironov SP, Sergienko VB. Dynamic hepatocholescintigraphy with Bromesida $^{\circ}$ ^{99m}Tc . *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(4): 279–86 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-4-279-286>

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

Received November 16, 2023

Revised December 4, 2023

Accepted December 5, 2023

Введение / Introduction

Предположение, что функция печени может быть оценена измерением способности печеночных клеток захватывать и выводить в составе желчи внутривенно введенные краски, было выдвинуто еще в начале прошлого века [1]. В 1923 г. экспериментально, а позже и в клинике была показана возможность использования для этой цели краски бенгальской розы [2]. Это дало толчок к развитию таких диагностических методов, как нагрузка с бромсульфалеином и вофавердином (индоцианиновая зелень), хроматическое дуоденальное зондирование с метиленовой синькой, рентгеноконтрастное исследование. Именно красочные пробы явились предпосылкой радионуклидных исследований с использованием меченых красителей. Меченная радиоактивным йодом-131 бенгальская розовая была синтезирована в 1955 г. [3].

В течение последующих 20–25 лет красители, меченные йодом-131, являлись основой радионуклидных методов исследования гепатобилиарной системы и, без сомнения, сформировали методические основы современных скинтиграфических методов исследования печени и желчевыводительной системы. Известные недостатки йода-131 как радиоактивной метки, обуславливающие низкую разрешающую способность методов визуализации, предопределяли необходимость его замены. К сожалению, меченные короткоживущим йодом-123 бромсульфалеин и индицианиновая зелень не получили распространения из-за малой доступности и высокой стоимости получения их на циклотроне.

Поиск альтернативных радиофармпрепаратов (РФП) привел к открытию в начале 1970-х гг. целой серии гепатобилиарных РФП, аналогичных красителям по своему поведению в организме, но меченных короткоживущим технецием-99m (^{99m}Tc).

Наибольшее внимание привлекли соединения на основе N-замещений иминодиуксусных кислот (iminodiacetic acid, IDA). Эти бифункциональные РФП содержат липофильную часть и хелатную группу. Последняя способна прочно связывать радиоактивные переходные металлы, в частности ^{99m}Tc . Липофильная часть представлена ацетанилидами (аналог анестетика лидокаина).

Существует легенда, что открытие ^{99m}Tc -гепатобилиарных РФП произошло случайно и было связано с поиском кардиотропных РФП, альтернативных хлориду таллия-201. В ходе исследований было обнаружено, что лидокаин, меченный ^{99m}Tc , в силу низкого накопления миокардом не подходит для его визуализации, однако обладает высоким гепатобилиарным клиренсом [4]. В 1975 г. в результате химической модификации лидокаина был синтезирован ^{99m}Tc -диметилIDA, или HIDA (hepato-IDA) [5], нашедший широкое клиническое применение [6, 7].

Дальнейшие замещения на бензольном кольце аналогов лидокаина привели к появлению обширного спектра разновидностей HIDA, среди которых диэтилIDA (DIDA), диизопропилIDA (DISIDA), парабутылIDA (BIDA) и многие другие.

Кинетика гепатобилиарных РФП / Kinetics of hepatobiliary RPhs

Дериваты IDA, как и меченые красители, по сути являются фармакологическим имитатором билирубина. После внутривенного введения, как и билирубин, они образуют комплексы с белками крови (преимущественно с альбуминами) и транспортируются ими к печени. В перисинаусоидальном пространстве дериваты IDA отделяются от альбумина, извлекаются гепатоцитами путем рецептор-опосредованного эндоцитоза,

транспортируются к желчному полюсу гепатоцита и выводятся в составе желчи. В отличие от билирубина, многие аналоги меченых красителей не подвергаются конъюгации с глюкуроновыми соединениями и секретируются в желчные протоки в неизменном виде.

Производные IDA различаются по времени прохождения через гепатоцит, величине билиарной концентрации и почечной экскреции. Это обусловлено различием их молекулярной массы, внутримолекулярным соотношением гидрофильных и липофильных групп, прочностью связи с транспортными белками крови [8].

В 1983 г. группа ученых из Института научных исследований Сквипба (штат Нью Джерси, США) протестировали 33 производных HIDA при их различных структурных комбинациях. Результатом работы явился синтез ^{99m}Tc -3-бром-2,4,6-триметилфенилкарбамоилметилIDA (меброфенин). Было установлено, что это соединение обладает высокой гепатоспецифичностью, быстрым внутриклеточным транзитом и максимальной устойчивостью к конкуренции с билирубином за гепатобилиарную экскрецию в условиях гипербилирубинемии [9]. Сравнительные исследования на добровольцах подтвердили экспериментальные данные и открыли путь к его клиническому применению [10].

В силу фармакокинетических характеристик (наиболее высокая среди аналогов HIDA печеночная экстракция (98%) и минимальный (1%) почечный клиренс) ^{99m}Tc -меброфенин получил широкое распространение во всем мире и до сих пор сохраняет свое значение как РФП выбора для сцинтиграфии гепатобилиарной системы [11]. В Российской Федерации ^{99m}Tc -меброфенин выпускается под торговым наименованием Бромезида® ^{99m}Tc (ООО «Диамед») и позволяет проводить исследования при уровне билирубина в крови выше 150 мкмоль/л [12].

Методика гепатохолесцинтиграфии с РФП Бромезида® ^{99m}Tc / Hepatocholescintigraphy technique with Bromesida® ^{99m}Tc

Общая схема исследования. Показанием к проведению гепатохолесцинтиграфии (ГХС) является абдоминальный болевой синдром. Методическая особенность – непрерывность регистрации кинетики РФП в течение всего времени исследования. Общая продолжительность процедуры обычно не превышает 60 мин и зависит от времени визуализации желчного пузыря и характера его опорожнения. Пациент обследуется натошак (или не менее чем через 4 ч после приема пищи) в положении лежа на спине. Бромезида® ^{99m}Tc активностью 111–185 МБк вводится внутривенно под детектором гамма-камеры. Одновременно включается регистрация данных. Через 10–15 мин после визуализа-

ции желчного пузыря пациент, не меняя положения, принимает желчегонный завтрак в жидком виде (жирные сливки, раствор сорбита или ксилита), и исследование продолжается до визуально определяемого процесса опорожнения желчного пузыря.

Анализ изображений позволяет оценить пассаж меченого соединения по системе «печень – протоки – желчный пузырь – кишечник» и охарактеризовать некоторые анатомо-функциональные особенности желчевыделительной системы. На основе кривых «активность/время» с выбранных зон интереса рассчитываются количественные параметры функции печени и желчного пузыря:

- период полувыведения РФП печенью (норма до 30 мин) отражает экскреторную способность печени и проходимость желчных путей и определяется как интервал времени, в течение которого скорость счета, соответствующая времени максимального накопления РФП (норма до 15 мин), уменьшится вдвое;

- время визуализации желчного пузыря (норма до 25 мин) зависит от функции печени, проходимости шеечно-протоковой зоны желчного пузыря и тонуса сфинктера Одди;

- длительность латентного периода, или время от приема желчегонного завтрака до начала опорожнения желчного пузыря (норма до 15 мин), зависит от вида желчегонного завтрака и состояния гастродуоденальной зоны;

- показатель двигательной функции (ПДФ) желчного пузыря рассчитывается как процент выведенного РФП за 30 мин фазы опорожнения относительно максимального счета (норма 35–55%); в англоязычной литературе используется термин «фракция выброса желчного пузыря» (gallbladder ejection fraction, GBEF).

Нормальные анатомо-функциональные характеристики. В первые 15 мин исследования изображение печени достигает максимальной контрастности, отмечается поступление РФП в желчный пузырь и магистральные желчные протоки. Общий желчный проток визуализируется с частотой до 90%, левый и правый долевые протоки – до 80% и 40% соответственно. Желчный пузырь овальной или грушевидной формы обычно визуализируется в проекции 5–6-го сегментов печени. Заполнение его отделов происходит практически одновременно. Активная эвакуация РФП из желчного пузыря начинается через 2–15 мин после желчегонного завтрака, носит равномерный характер, одновременно возрастает выход РФП в кишечник. В обычных условиях регистрации данных контуры двенадцатиперстной кишки (ДПК) не отчетливы. Как правило, визуализируется только часть подковы и горизонтальная часть ДПК, причем длительность визуализации отделов не превышает 5–10 мин.

Сцинтиграфическая семиотика при патологии желчевыделительной системы / Scintigraphic semiotics in biliary system pathology

Киста общего желчного протока – наиболее частый вариант врожденных кистозных изменений внепеченочных желчных протоков. В 60% наблюдений диагностируется в детском возрасте и преимущественно у девочек [13]. Сцинтиграфическим признаком кистозного расширения общего желчного протока является изменение его ширины от 2 до 8 см. Расширение может иметь шарообразную или мешковидную форму, быть изолированным или сочетаться с дилатацией долевых протоков (рис. 1).

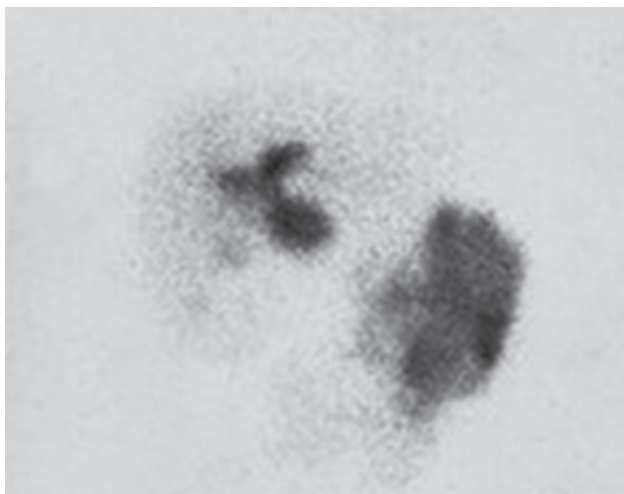


Рис. 1. Сцинтиграфический признак смешанной формы кисты общего желчного протока – сочетание типичного сферического расширения общего желчного протока и цилиндрической дилатации обоих долевых протоков

Fig. 1. Scintigraphic sign of a mixed form of common bile duct cyst: a combination of typical spherical expansion of common bile duct and fusiform dilatation of both lobar ducts

Аномалии формы желчного пузыря врожденного или приобретенного характера (перетяжки, перегибы, перегородки) манифестируются изменением контуров и формы изображения органа, а также процесса его заполнения. Последнее происходит как бы в два этапа – сначала РФП концентрируется в верхних отделах желчного пузыря, формируя признак «колпачка», затем отмечается заполнение более дистальных отделов. Визуализируемый орган в зависимости от локализации и выраженности патологии может напоминать песочные часы или матрешку. Частота указанных признаков при анатомическом дефекте в области шейки достигает 70%, тела – 60%, дна – 12%. Приведем данные сцинтиграфического исследования пациента с указанной патологией.

Описание случая. Пациент 48 лет направлен на радиологическое исследование для уточнения функциональной компенсированности аномалии формы желчного пузыря (перетяжка в области тела), выявленной при ультразвуковом исследовании.

ГХС с РФП Бромезида® ^{99m}Tc проведена на сцинтилляционной гамма-камере DDC-16 DUNE Picker, синхронизированной с системой записи и обработки данных «Сцинтипро». Пациент обследован натошак в положении лежа на спине. Регистрация данных проведена с периодом 1 кадр в минуту после внутривенного введения РФП активностью 148 МБк. Желчегонный завтрак (30 мг ксилита, растворенного в 100 мл теплой воды) пациент, не меняя положения, выпил на 30-й минуте. Общая длительность процедуры составила 50 мин.

Результаты ГХС. Форма и положение печени обычные, ее экскреторная функция не нарушена ($T_{\text{макс}}$ 12 мин., $T_{1/2}$ 28 мин). Визуализируются общий желчный и левый долевой протоки обычной ширины, выведение РФП через них не нарушено. Желчный пузырь обычного положения, визуализируется своевременно (15-я минута). Отмечается «двухэтапное» заполнение желчного пузыря и изменение его сцинтиграфической формы («песочные часы»). Опорожнение желчного пузыря произошло в ответ на желчегонный завтрак, латентный период не изменен ($T_{\text{лат}}$ 2 мин), скорость опорожнения ускорена (ПДФ 80%). Активный выход РФП в кишечник совпадает с этапом опорожнения желчного пузыря (рис. 2).

Заключение. Функциональных изменений печени не выявлено. Гипермоторная дискинезия желчного пузыря. Сцинтиграфические признаки аномалии формы желчного пузыря.

Сцинтиграфическая семиотика / Scintigraphic semiotics

Дискинезии желчного пузыря относят к группе функциональных нарушений, понимая под этим изменения его моторной функции. Сцинтиграфическое исследование позволяет дифференцировать эти нарушения на гипомоторную и гипермоторную дискинезии. Гипомоторная дискинезия диагностируется при ПДФ ниже 35%, гипермоторная дискинезия – при ПДФ выше 55%. Точность радиологической оценки двигательной функции желчного пузыря при анализе кривой «активность/время» выше, чем визуальное сравнение площадей изображения желчного пузыря до и после желчегонного завтрака, поскольку позволяет дифференцировать и количественно характеризовать переменную длительность латентного периода.

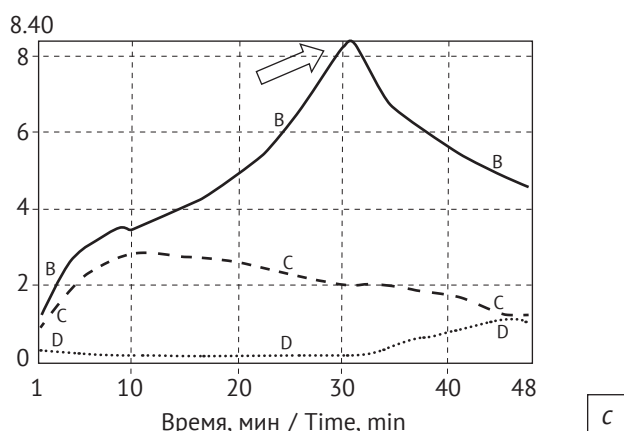
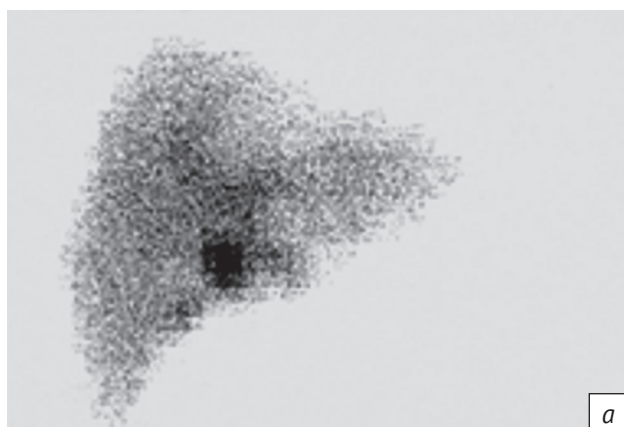


Рис. 2. Результаты гепатохоlescintiграфии с радиофарм-препаратом Бромезида® ^{99m}Tc у пациента с аномалией формы желчного пузыря:

a, b – анатомический дефект манифестирован «двухэтапным» заполнением желчного пузыря и изменением его формы («песочные часы»); *c* – кривые «активность/время» позволяют дифференцировать и количественно характеризовать этапы желчевыделения (стрелкой показано время желчегонного завтрака)

Fig. 2. Hepatocholescintigraphy data with Bromesida® ^{99m}Tc in a patient with a gallbladder form anomaly: *a, b* – the anatomical defect is manifested by “two-stage” gallbladder filling and change of its shape (“hourglass”); *c* – activity-time curves make it possible to differentiate and quantify the stages of bile excretion (an arrow indicates the time of the choleretic breakfast)

Дискинезии двенадцатиперстной кишки

характеризуются нарушением нормального поступательного движения содержимого кишки. В процессе ГХС выявляются рефлюксы из нижегоризонтальной части ДПК, поскольку именно туда поступает РФП в составе желчи. В зависимости от выраженности ретроградных перемещений меченой желчи можно выделить дуодено-дуоденальные и дуодено-гастральные рефлюксы. **Дуодено-дуоденальный рефлюкс (ДДР)** – ретроградное перемещение РФП в нисходящую и верхнюю части ДПК, манифестируется длительной визуализацией этих отделов и формированием признака «депо» РФП. **Дуоденогастральный рефлюкс (ДГР)** характеризуется появлением фокуса повышенной радиоактивности в проекции желудка (латеральные отделы изображения левой доли печени), нередко в сочетании с ДДР (рис. 3). Функциональные и воспалительные изменения ДПК с частотой до 85% сопровождаются удлинением латентного периода более 15 мин. Возможно, это связано с нарушениями процессов всасывания холекинетических пищевых веществ и снижением выработки эндогенного холецистокинина в области патологии.

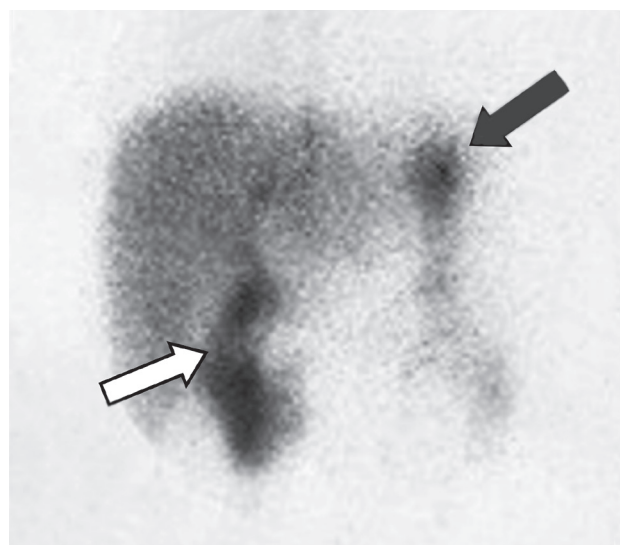


Рис. 3. Сцинтиграфический вариант дискинезии двенадцатиперстной кишки (ДПК). Дуодено-дуоденальный рефлюкс (белая стрелка) – «депо» ^{99m}Tc -HIDA в проекции верхней и нисходящей частей ДПК. Дуодено-гастральный рефлюкс (черная стрелка) – фокус радиоактивности в проекции желудка

Fig. 3. Scintigraphic variant of duodenal dyskinesia. Duodenal-duodenal reflux (white arrow) – the “depot” sign of ^{99m}Tc -HIDA in the projection of duodenal upper and descending parts. Duodenal-gastric reflux (black arrow) – the focus of radioactivity in the projection of the stomach

Воспаление желчного пузыря. Сцинтиграфия гепатобилиарной системы не имеет самостоятельного диагностического значения в распознавании и дифференциальной диагностике холецистита. Принципиальные возможности ГХС с РФП Бромезида® ^{99m}Tc заключаются в оценке тяжести заболевания на основе признаков, характеризующих функцию печени и желчного пузыря. Сцинтиграфическая картина при *хроническом бескаменном холецистите* чаще отличается тремя визуальными признаками, выявляемыми отдельно или в различных сочетаниях: поздняя визуализация желчного пузыря, уменьшенное его изображение, диспаритет времени визуализации желчного пузыря, общего желчного протока и выхода РФП в кишечник [14, 15]. Выраженность указанных признаков в конечном итоге отражает степень нарушения проходимости шеечно-протоковой зоны, независимо от причины. В результате при полной обтурации пузырного протока возникает сцинтиграфический феномен «отключенный желчный пузырь», т.е. длительное отсутствие его визуализации в сочетании с активным выходом гепатобилиарных РФП в кишечник. Констатация данного феномена более точна на отсроченных (не менее 2 ч) изображениях (рис. 4). «Отключенный желчный пузырь» – важный сцинтиграфический признак при *остром холецистите*, отражающий один из патофизиологических этапов острого воспаления: обструкцию пузырного протока. Причиной обструкции более чем у 90% пациентов является калькулезный холецистит, однако прямых сцинтиграфических признаков желчнокаменной болезни при ГХС выявить не удастся. «Отключенный желчный пузырь» рассматривается также как дифференциально-диагностический

признак острого холецистита и других состояний, обуславливающих болевой синдром (почечная колика, панкреатит). Считается, что визуализация желчного пузыря с высокой вероятностью (специфичность 99,2%, чувствительность 95,2%, точность 97,6%) исключает диагноз острого холецистита. Ложно-отрицательная трактовка (4,8%) в основном обусловлена задержкой РФП в ДПК, лоханке правой почки или добавочном пузырном протоке, имитирующих изображение желчного пузыря. Ложно-положительная трактовка (0,58%) может быть связана с недавним приемом пищи или, наоборот, длительным голоданием [16, 17].

Другие диагностические методики / Other diagnostic techniques

Представленная методика ГХС с РФП Бромезида® ^{99m}Tc , предусматривающая интегральную анатомо-функциональную оценку системы «печень – желчные протоки – желчный пузырь – двенадцатиперстная кишка», не исчерпывает клинического применения ^{99m}Tc -мекрофенина.

Существуют разнообразные методические варианты и приемы, направленные на решение конкретных диагностических задач. Среди последних дифференциальная диагностика неонатальной гипербилирубинемии [18], послеоперационная диагностика синдрома афферентной петли и желчеистечения [19], расчет фракции выброса желчного пузыря для прогнозирования клинического ответа на холецистэктомию [20].

В контексте широко обсуждаемой взаимосвязи неалкогольной жировой болезни печени с атеросклерозом [21] представляют интерес данные о корреляционной связи сцинтиграфических

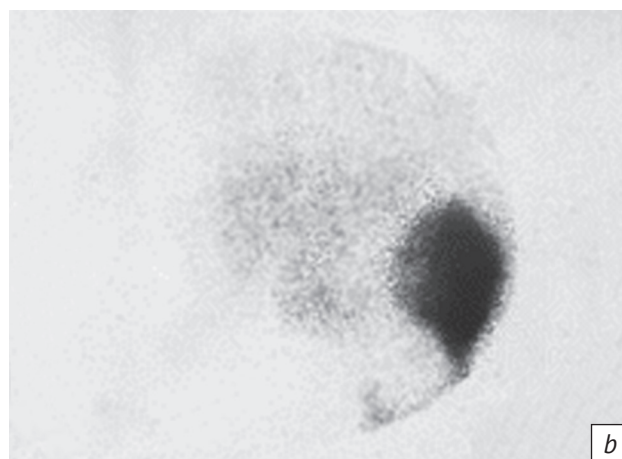


Рис. 4. Сцинтиграфический признак «отключенный желчный пузырь»: длительное отсутствие визуализации желчного пузыря в сочетании с активным выходом радиофармпрепарата (РФП) в кишечник. Изображения через 1 ч (а) и 2 ч (б) после внутривенного введения РФП Бромезида® ^{99m}Tc

Fig. 4. Scintigraphic “non-functional gallbladder” sign: prolonged absence of the gallbladder visualization in combination with prompt radiopharmaceutical excretion into the intestine. The images after 1 hour (a) and 2 hours (b) of intravenous administration of Bromesida® ^{99m}Tc

параметров функции печени и стадий стеатогепатита [22]. Существенно повышает информативность стандартной ГХС с ^{99m}Tc -меброфенином использование гибридных технологий (однофотонной эмиссионной компьютерной томографии) для диагностики нарушений пассажа желчи после реконструктивных операций на желчевыводящих путях [23] и оценки функционального резерва печени перед частичной гепатэктомией [24, 25].

Закключение / Conclusion

Динамическая ГХС с РФП Бромезида® ^{99m}Tc позволяет решать широкий круг клинических задач. Они включают как функциональную характеристику печени, желчного пузыря и верхних отделов

желудочно-кишечного тракта, так и диагностику некоторых органических изменений внепеченочных отделов билиарной системы. Следует подчеркнуть, что корректная постановка диагностических задач и адекватное их решение тесно связаны с особенностями фармакокинетики используемых аналогов HIDA. Это следует учитывать при планировании ГХС с другими разновидностями гепатобилиарных РФП.

Благодарность / Acknowledgement

Авторы выражают благодарность профессорам Ю.Н. Касаткину и Н.Н. Ходареву – пионерам использования сцинтиграфии в отечественной гепатологии.

Литература [References]

1. Abel JJ, Rowntree LG. On the pharmacological action of some phtaleins and their devaties with especial reference to their behavior as purgatives. *Int J Pharmac Exp Ther.* 1909; 1(2): 231–64.
2. Dalprat G. Studies on liver functions: rose bengal elimination from blood as influenced by liver injury. *Arch Int Med.* 1923; 32: 401.
3. Taplin GV, Meredith OM, Kade H. The radioactive (^{131}I -tagged-Rose Bengal uptake) excretion test for the liver function using external gamma-ray scintillation counting techniques. *J Lab Clin Med.* 1955; 45(5): 665–78.
4. Ziessman HA. Hepatobiliary scintigraphy in 2014. *J Nucl Med.* 2014; 55(6): 967–75. <https://doi.org/10.2967/jnumed.113.131490>.
5. Loberg MD, Cooper M, Harvey E, et al. Development of new radiopharmaceuticals based on N-substitution of iminodiacetic acid. *J Nucl Med.* 1976; 17(7): 633–8.
6. Ryan J, Cooper M, Loberg M, et al. Technetium-99m-labeled N-(2,6-dimethylphenylcarbamoylmethyl) iminodiacetic acid (Tc-99m HIDA): a new radlopharmaceutical for hepatobiliary imaging studies. *J Nucl Med.* 1977; 18(10): 997–1004.
7. Касаткин Ю.Н., Миронов С.П., Миронова Е.С. Сцинтиграфия гепатобилиарной системы с $\text{HIDA-}^{99m}\text{Tc}$. Медицинская радиология. 1980; 25(4): 54–7. [Kasatkin Yu.N., Mironov SP, Mironova ES. Scintigraphy of the hepatobiliary system with $\text{HIDA-}^{99m}\text{Tc}$. *Medical Radiology.* 1980; 25(4): 54–7 (in Russ).]
8. Cox PH. The radiopharmacological behavior of IDA-derivatives in normal animals. In: Cox PH (Ed.) *Cholescintigraphy. Development in nuclear med. Part 1.* Springer: Netherlands; 1982: 96–116.
9. Nunn AD, Loberg MD, Conley RA. A structure-distribution-relationship approach leading to the development of Tc-99m mebrofenin : an improved cholescintigraphic agent. *J Nucl Med.* 1983; 24(5): 423–30.
10. Klingensmith WC, Fritzberg AR, Spitzer VM, et al. Work in progress: clinical evaluation of $\text{Tc-99m-trimethylbromo-IDA}$ and $\text{Tc-99m-diisopropyl-IDA}$ for hepatobiliary imaging. *Radiology.* 1983; 146(1): 181–4. <https://doi.org/10.1148/Radiology.146.1.6681569>.
11. Tulchinsky M, Ciak BW, Delbeke D, et al. SNM practice guideline for hepatobiliary scintigraphy. *J Nucl Med Technol.* 2010; 38(4): 210–8. <https://doi.org/10.2967/jnmt.110.082289>.
12. Крашутский В.В. Компьютерная гепатобилигастросцинтиграфия – радионуклидный метод изучения функций гепатоцитов, желчного пузыря, сфинктеров Люткенса, Одди, внутрипеченочных желчных протоков, дуоденогастрального рефлюкса и эвакуаторной функции желудка в одном исследовании с технецием-99m-броммезидой. Госпитальная медицина: наука и практика. 2019; 1(2): 7–17. [Krasutsky V.V. Computer hepatobiliscintigraphy – radionuclide method of studying the function of hepatocytes, gall bladder, sphincters of lutkens, oddi, intrahepatic bile ducts, duodenal reflux and evacuation function of the stomach in one study with technetium-99m-bromezida. *Hospital Medicine: Science and Practice.* 2019; 1(2): 7–17 (in Russ).]
13. Farooq MA, Khan SA, Malik MI. Choledochal cyst in children, presentation and outcome – 10 years' experience from a tertiary care center in Pakistan. *Pak J Med Sci.* 2023; 39(2): 456–9. <https://doi.org/10.12669/pjms.39.2.6196>.
14. Chamarthy M, Freeman LM. Hepatobiliary scan findings in chronic cholecystitis. *Clin Nucl Med.* 2010; 35: 244–51. <https://doi.org/10.1097/RLU.0b013e3181d18ef5>.
15. Freitas JE. Cholescintigraphy in acute and chronic cholecystitis. *Semin Nucl Med.* 1982; 12(1): 18–26. [https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(82\)80026](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(82)80026).
16. Weissmann HS, Badia J, Sugarman LA, et al. Spectrum of $^{99m}\text{Tc-IDA}$ cholescintigraphic patterns in acute cholecystitis. *Radiology.* 1981; 138(1): 167–75. <https://doi.org/10.1148/radiology.138.1.7192874>.
17. Rodriguez LE, Santaliz-Ruiz LE, De La Torre-Bisot G, et al. Clinical implications of hepatobiliary scintigraphy and ultrasound in the diagnosis of acute cholecystitis. *Int J Surg.* 2016; 35: 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2016.09.084>.
18. Kianifar HR, Tehranian S, Shojaei P, et al. Accuracy of hepatobiliary scintigraphy for differentiation of neonatal hepatitis from biliary atresia: systematic review and meta-analysis of the literature. *Pediatr Radiol.* 2013; 43 (8): 905–19. <https://doi.org/10.1007/s00247-013-2623-3>.

19. Muthukrishnan A, Shanthly N, Kumar S. Afferent loop syndrome: the role of ^{99m}Tc -mebrofenin hepatobiliary scintigraphy. *Clin Nucl Med*. 2000; 25(6): 492–4. <https://doi.org/10.1097/00003072-200006000-00029>.
20. Ziessman HA. Functional hepatobiliary disease: chronic acalculous gallbladder and chronic acalculous biliary disease. *Semin Nucl Med*. 2006; 36(2): 119–32. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2005.12.001>.
21. Finney AS, Das S, Kumar D, et al. The interplay between nonalcoholic fatty liver disease and atherosclerotic cardiovascular disease. *Front Cardiovasc Med*. 2023; 10: 1116861. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1116861>.
22. Salgado WJ, Donadelli CAM, Santos JS, Nonino CB. Influence of Roux-en-Y gastric bypass on the hepatocellular function and bile flow of obese patients assessed by scintigraphy with DISIDA. *Obes Surg*. 2016; 26(11): 2718–23. <https://doi.org/10.1007/s11695-016-2176-2>.
23. Васина Е.А., Кулезнева Ю.В., Мелехина О.В. и др. Гепатобилиосцинтиграфия в оценке оттока желчи у пациентов с билиодигестивным анастомозом. *Анналы хирургической гепатологии*. 2022; 27(2): 82–93. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2022-2-82-93>. [Vasina EA, Kulezneva JV, Melekhina OV, et al. Hepatobiliary scintigraphy in the assessment of bile outflow in patients with biliodigestive anastomosis. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii / Annals of HPB Surgery*. 2022; 27(2): 82–93 (in Russ). <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2022-2-82-93>.]
24. Graaf W, Lienden KP, Gulik TM, Benning RJ. ^{99m}Tc -mebrofenin hepatobiliary scintigraphy with SPECT for the assesment of hepatic function and liver functional volume before partial hepatectomy. *J Nucl Med*. 2010; 51(2): 229–36. <https://doi.org/10.2967/jnumed.109.069724>.
25. Шабунин А.В., Каралкин А.В., Греков Д.Н., Дроздов П.А. Гибридные технологии в определении функционирующего объема печени перед обширными резекциями. *Медицинская визуализация*. 2015; 4: 39–45. [Shabunin AV, Karalkin AV, Grekov DN, Drozdov PA. Hybrid technology in determining of functioning volume liver before major resection. *Medical Visualization*. 2015; 4: 39–45 (in Russ).]



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)*



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

КОНГРЕСС РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА РЕНТГЕНОЛОГОВ И РАДИОЛОГОВ

8-10/11/2023

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



гостиница «Park Inn by Radisson Pribaltiyskaya», ул. Кораблестроителей, д.14

8-10 НОЯБРЯ 2023 ГОДА СОСТОЯЛСЯ КОНГРЕСС RORR

1378 ОЧНЫХ УЧАСТНИКА
4900 ОНЛАЙН ПОДКЛЮЧЕНИЙ
21 СТРАНА
358 ГОРОДОВ
82 РЕГИОНА

ЖДЕМ ВАС НА СЛЕДУЮЩИЙ КОНГРЕСС RORR
6-8 НОЯБРЯ 2024 В МОСКВЕ



Записи трансляции по ссылке
rorr.congress-ph.online

✉ +7(812) 677-31-56
☎ welcome@congress-ph.ru



**Телеуправляемый
рентгенодиагностический аппарат
P-600 «ПОЛИДИАГНОСТ»**



**Мобильный
рентгенохирургический аппарат
P-600 «ОПЕРВИЗ»**



**Универсальный
рентгенодиагностический
аппарат
P-600 «УНИАРМ»**



**Рентгенодиагностический
аппарат на два
рабочих места
P-600 «ДУОГРАФ»**



**Флюорографический
рентгенодиагностический
аппарат
P-600 «ФЛЮОРО»**