

Вестник рентгенологии и радиологии

Рецензируемый научно-практический журнал

Том 105, № 5, 2024

Journal of Radiology and Nuclear Medicine

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Vol. 105, No. 5, 2024

Вестник рентгенологии и радиологии

Рецензируемый научно-практический журнал

Журнал включен ВАК в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 3.1.25. «Лучевая диагностика (медицинские науки)». Официальный журнал Российского общества рентгенологов и радиологов. Представлен в Российском индексе научного цитирования. Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-71544 от 13.11.2017 г.

Периодичность 1 раз в два месяца.

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

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

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

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

Главный редактор

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

Редакционная коллегия

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

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

Journal of Radiology and Nuclear Medicine

Vestnik rentgenologii i radiologii

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Founded in 1920.

Official Journal of Russian Society of Radiology.

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

Issued bimonthly.

The journal accepts articles on specialty 3.1.25. "Radiation Diagnostics (medical sciences)". Registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Registration certificate PI No. FS77-71544, November 13, 2017.

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

Founder 1:	Russian Society of Radiology
Address:	129344, Moscow, Verkhoyanskaya street, 18, bld. 2, floor 0, apartment 2, room 4
Founder 2:	Limited Liability Company "LUCHEVAYA DIAGNOSTIKA"
Address:	121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33
Publisher:	Limited Liability Company "LUCHEVAYA DIAGNOSTIKA"
	121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33
The cost of one issue:	Free price
Address, phone of edition:	121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33, phone: +7 (985) 120-70-06
Subscription index:	81601 – in the Ural-Press catalog

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

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

Editor-in-Chief

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

Editorial board

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

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

Оригинальные статьи**Андронников Е.А., Алексеева Т.В., Михалкина Н.Г., Сюндюков А.Р., Преображенская Е.В.**

Использование цветового Т2-картирования при МРТ-исследовании у детей с рецидивирующими вывихами надколенника в послеоперационном периоде238

Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Плешков М.О., Кудлай Д.А., Воронин Е.А., Качанов Д.А., Толмачев И.В., Кошмелева М.В., Трифонова Е.И.

Радиомический анализ ультразвуковых изображений периферических нервов у пациентов молодого возраста с сахарным диабетом 1-го типа в сравнении со здоровыми лицами245

Халилов М.А., Мошкин А.С., Мошкина Л.В.

Закономерности морфометрии магистральных артерий шеи с данными эхокардиографии255

Обзоры**Малия Х.И., Бурова И.В., Литвиненко Е.А., Гогуа М.Г., Семочкин М.Н., Соловьева Е.Р., Барышникова Д.В., Курильчик С.А.**

Характерные рентгенологические признаки опухолевых и опухолеподобных поражений костной ткани челюстно-лицевой области262

Саибу С.Ф.

Перспективы применения искусственного интеллекта в маммографии282

Юбилей**Миронов С.П., Сергиенко В.Б.**

К 130-летию со дня рождения основателя первой кафедры медицинской радиологии профессора В.К. Модестова287

Original research

**Evgeniy A. Andronnikov, Tatiana V. Alekseeva, Natalia G. Mikhalkina,
Ayrat R. Syundyukov, Elena V. Preobrazhenskaya**

The Use of Color T2 Mapping in MRI Examination of Children with Recurrent Patellar Dislocations in the Postoperative Period 238

**Svetlana V. Fomina, Iuliia G. Samoilova, Maksim O. Pleshkov, Dmitry A. Kudlay,
Evgeniy A. Voronin, Dmitriy A. Kachanov, Ivan V. Tolmachev, Marina V. Koshmeleva,
Ekaterina I. Trifonova**

Radiomics Analysis of Ultrasound Images of Peripheral Nerves in Young Patients with Type 1 Diabetes Mellitus in Comparison with Healthy Controls 245

Maksud A. Khalilov, Andrey S. Moshkin, Lyubov V. Moshkina

Patterns of Neck Main Arteries Morphometry and Echocardiography Data 255

Reviews

**Khamida I. Maliya, Ilona V. Burova, Elena A. Litvinenko, Malkhaz G. Gogua,
Maksim N. Semochkin, Ekaterina R. Solovyeva, Daria V. Baryshnikova, Svetlana A. Kurilchik**

Characteristic Radiological Signs of Tumor and Tumor-Like Lesions of Maxillofacial Bone Tissue..... 262

Siuzanna F. Saibu

Prospects for the Application of Artificial Intelligence in Mammography..... 282

Anniversary

Sergey P. Mironov, Vladimir B. Sergienko

130 Years Since the Birth of Professor V.K. Modestov, the Founder of the First Medical Radiology Department..... 287



Использование цветового T2-картирования при МРТ-исследовании у детей с рецидивирующими вывихами надколенника в послеоперационном периоде

Андронников Е.А.¹, Алексеева Т.В.¹, Михалкина Н.Г.¹, Сяндюков А.Р.^{1,2}, Преображенская Е.В.¹

¹ ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, ул. Федора Гладкова, 33, Чебоксары, 428020, Чувашская Республика, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Московский пр-т, 45, Чебоксары, 428017, Чувашская Республика, Российская Федерация

Андронников Евгений Александрович, врач-рентгенолог, заведующий рентгеновским отделением ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-3151-4368>

Алексеева Татьяна Васильевна, врач-рентгенолог ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-1993-5290>

Михалкина Наталия Геннадьевна, врач-рентгенолог ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0001-7065-1480>

Сяндюков Айрат Рашитович, к.м.н., заведующий детским травматолого-ортопедическим отделением ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной медицины ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»;
<http://orcid.org/0000-0001-8276-9216>

Преображенская Елена Васильевна, начальник научно-образовательного отдела ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

Резюме

Актуальность. Нестабильность надколенника в детском и подростковом возрасте, возможно, связана с нарушением его трекинга, что зачастую приводит к развитию рецидивирующего вывиха и быстрому прогрессированию дегенеративно-дистрофических изменений хрящевой ткани. Стандартный протокол магнитно-резонансной томографии (МРТ) на начальных биохимических этапах трансформации хрящевого матрикса недостаточно эффективен для оценки формы надколенника, степени развития фасеток, состояния суставного хряща, целостности поддерживающих связок надколенника. Количественное время релаксации T2 при МР-картировании хряща – неинвазивный маркер хрящевой дегенерации, чувствительный к биохимическому составу и степени гидратации ткани. T2-картирование может дополнить исследование ввиду высокой диагностической значимости на ранних этапах развития артроза.

Цель: оценка состояния суставного хряща надколенника после стабилизирующего артроскопического оперативного вмешательства при рецидивирующем вывихе надколенника у детей с использованием МРТ с цветовым T2-картированием.

Материал и методы. В исследование включены 22 подростка 15–17 лет (13 юношей, 9 девушек) с привычным вывихом надколенника. Всем пациентам проведено стабилизирующее хирургическое лечение. До операции выполняли клинические тесты, рентгенографические исследования в трех проекциях, ультразвуковое исследование и компьютерную томографию коленных суставов. МРТ коленного сустава до хирургического вмешательства, на 3-и сутки и через 6 мес после операции дополняли цветовым картированием хрящевой ткани надколенника с вычислением времени T2-релаксации.

Результаты. Локальные участки в нагружаемых зонах хряща надколенника со средним временем T2-релаксации 35,5 мс до операции выявлены у всех пациентов. На 3-и сутки при корректном положении надколенника время T2-релаксации увеличилось до 37,8 мс, через 6 мес у 86,4% пациентов отмечено его снижение, в том числе в 73,7% случаев – до 28,6 мс в среднем.

Заключение. МРТ с цветовым T2-картированием позволяет оценить восстановление структуры хряща после стабилизирующего оперативного лечения. Замедление процессов хондродегенерации и регенеративный эффект отмечаются уже через 6 мес после операции.

Ключевые слова: магнитно-резонансное контрастирование; протонно-взвешенные изображения; надколенник; удерживатель надколенника; суставной хрящ; хондромалиция; магнитно-резонансное картирование; артроскопия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Андронников Е.А., Алексеева Т.В., Михалкина Н.Г., Сяндюков А.Р., Преображенская Е.В. Использование цветового Т2-картирования при МРТ-исследовании у детей с рецидивирующими вывихами надколенника в послеоперационном периоде. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(5): 238–244. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-238-244>

Для корреспонденции: Андронников Евгений Александрович, E-mail: andronnikovevgenij@mail.ru

Статья поступила 04.10.2024

После доработки 13.12.2024

Принята к печати 14.12.2024

The Use of Color T2 Mapping in MRI Examination of Children with Recurrent Patellar Dislocations in the Postoperative Period

**Evgeniy A. Andronnikov¹, Tatiana V. Alekseeva¹, Natalia G. Mikhalkina¹,
Ayrat R. Syundyukov^{1,2}, Elena V. Preobrazhenskaya¹**

¹ Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty,
ul. Fedora Gladkova, 33, Cheboksary, 428020, Chuvash Republic, Russian Federation

² Chuvash State University named after I.N. Ulyanov,
Moskovskiy prospekt, 45, Cheboksary, 428017, Chuvash Republic, Russian Federation

Evgeniy A. Andronnikov, Radiologist, Head of X-ray Department, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0002-3151-4368>

Tatiana V. Alekseeva, Radiologist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0002-1993-5290>

Natalia G. Mikhalkina, Radiologist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0001-7065-1480>

Ayrat R. Syundyukov, Cand. Med. Sc., Head of Pediatric Traumatology and Orthopaedic Department, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty; Associate Professor, Chair of Traumatology, Orthopedics and Extreme Medicine, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov;
<http://orcid.org/0000-0001-8276-9216>

Elena V. Preobrazhenskaya, Head of Scientific and Educational Department, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

Abstract

Background. Patellar instability in childhood and adolescence may be associated with a violation of its tracking, which often leads to the development of recurrent dislocation and rapid progression of degenerative-dystrophic changes in cartilage tissue. The standard protocol of magnetic resonance imaging (MRI) at the initial biochemical stages of cartilage matrix transformation is not effective enough to assess the shape of the patella, the degree of facet development, the state of articular cartilage, and the integrity of the supporting ligaments of the patella. Quantitative relaxation time T2 during cartilage MR mapping is a noninvasive marker of cartilage degeneration, sensitive to biochemical composition and degree of tissue hydration. T2 mapping can complement the study due to its high diagnostic significance in the early stages of arthrosis development.

Objective: to assess the condition of patellar articular cartilage after stabilizing arthroscopic surgery for recurrent patellar dislocation in children using MRI with color T2 mapping.

Material and methods. The study included 22 adolescents aged 15–17 years (13 boys, 9 girls) with habitual patellar dislocation. All patients underwent stabilizing surgical treatment. Before the operation, clinical tests, X-ray examinations in three projections, ultrasound and computed tomography of knee joints were performed. Knee joint MRI before, on day 3 and 6 months after surgery was supplemented with color mapping of patellar cartilage tissue with calculation of T2 relaxation time.

Results. Local areas in the loaded areas of patellar cartilage with an average T2 relaxation time of 35.5 ms before surgery were detected in all patients. On day 3, with the correct position of the patella, the T2 relaxation time increased to 37.8 ms. After 6 months, 86.4% of patients showed a decrease, including in 73.7% of cases – up to 28.6 ms on average.

Conclusion. MRI with color T2 mapping makes it possible to assess the restoration of cartilage structure after stabilizing surgical treatment. A slowdown in the processes of chondro-degeneration and a regenerative effect are noted as early as 6 months after surgery.

Keywords: magnetic resonance contrast; proton-weighted images; patella; patellar retainer; articular cartilage; chondromalacia; magnetic resonance mapping; arthroscopy.

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

For citation: Andronnikov EA, Alekseeva TV, Mikhalkina NG, Syundyukov AR, Preobrazhenskaya EV. The use of color T2 mapping in MRI examination of children with recurrent patellar dislocations in the postoperative period. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(5): 238–244 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-238-244>

For corresponding: Evgeniy A. Andronnikov, E-mail: andronnikovevgenij@mail.ru

Received October 4, 2024

Revised December 13, 2024

Accepted December 14, 2024

Введение / Introduction

Привычный вывих надколенника является актуальной проблемой детской травматологии и ортопедии, наиболее часто наблюдаемой среди пациентов в возрасте 10–17 лет. Распространенность этого состояния – от 5 до 50 случаев на 100 тыс. населения в год [1, 2]. По другим данным, частота вывихов надколенника у детей составляет 29 случаев на 100 тыс. населения, что в 6 раз больше, чем во взрослом возрасте (5,8 случая на 100 тыс. населения) [3, 4].

Вывих надколенника (как первичный, так и повторный) ведет к повреждению хрящевого покрова. Рецидивирующий вывих надколенника, частота которого составляет 3–5% всех патологических состояний коленного сустава, – опасное нарушение, вызывающее тяжелые дисфункции нижних конечностей и требующее хирургического лечения [5].

Нестабильность надколенника в детском и подростковом возрасте, возможно, связана с нарушением его трекинга, которое является проявлением дисплазии. Нарушенный трекинг надколенника зачастую приводит к развитию рецидивирующего вывиха, при котором суставной хрящ все время находится под нагрузкой, что влечет за собой быстрое прогрессирование дегенеративно-дистрофических изменений хрящевой ткани. При этом неоказание своевременной и квалифицированной медицинской помощи ведет к хондромалиции, формированию пателлофemorальной артроза, который, в свою очередь, способствует развитию выраженного болевого синдрома, нарушению функции коленного сустава уже в детском возрасте [3]. Хондромалиция является одной из причин, вызывающих боли в переднем отделе коленного сустава, однако иногда она протекает и бессимптомно. Заболевание может быть вызвано рядом факторов: патологическое наклонное положение, подвывих надколенника, смещение и дисбаланс мышечно-сухожильных групп, тендиноз квадрицепса, патологическая медиапателлярная складка, травматизация жировой подушки [6].

Методом выбора лечения нестабильности надколенника является хирургическое вмешательство (известно более 150 оперативных методик), направленное на усиление медиального связочного аппарата надколенника. Сегодня все более широкое применение получают методы малоин-

вазивного лечения при рецидивирующих вывихах надколенника [7]. Малоинвазивная пластика медиальной пателлофemorальной связки (medial patellofemoral ligament, MPFL) с применением артроскопического релиза позволяет восстановить утраченную анатомическую структуру, стабилизирующую надколенник (MPFL), и одновременно осуществить дебридмент поврежденного хряща без больших кожных разрезов.

Распознать повреждение хряща на ранней стадии рентгенологическими методами невозможно. Магнитно-резонансная томография (МРТ) заняла основное место в ряду диагностических исследований, назначаемых пациентам с привычным вывихом надколенника и жалобами на боль в передних отделах коленного сустава. Она позволяет оценить форму надколенника, степень развития его фасеток, состояние суставного хряща, целостность поддерживающих связок надколенника.

Стандартное МР-обследование коленного сустава с акцентом на суставной хрящ включает получение T2- и протонно-взвешенных (PD) изображений с использованием программ жироподавления, а также T1-взвешенные градиентные последовательности в сагиттальной, коронарной и (обязательно) аксиальной плоскостях. Применение такого протокола обследования оказывается недостаточно эффективным, особенно на начальных биохимических этапах трансформации хрящевого матрикса.

Основными методиками, позволяющими проводить оценку состояния хрящевой ткани на этапе изменения структуры и концентрации коллагена, протеогликанов и межклеточной жидкости, являются МР-картирование суставного хряща T2, T1 (T1rho), количественное измерение его толщины, а также отсроченное МР-контрастирование суставного хряща препаратами гадолиния (delayed gadolinium-enhanced MR imaging of cartilage, dGERMIC) [8].

Количественное время релаксации T2 служит неинвазивным маркером хрящевой дегенерации, не требующим введения контрастирующих веществ и чувствительным к биохимическому составу и степени гидратации ткани [2, 9–11]. Имобилизация водных протонов в хрящевой ткани с помощью матрикса «коллаген – протеогликан» способствует затуханию T2, в то время как подвижные водные протоны синовиальной жидкости

сохраняют высокий сигнал T2. Потеря коллагена и протеогликанов при дегенерации хряща увеличивает подвижность молекул воды, тем самым повышая интенсивность сигнала на T2-взвешенных изображениях. Таким образом, время релаксации T2 – это параметр, характеризующий гидрофильность ткани суставного хряща и анизотропию распределения коллагена [8].

T2-картирование суставного хряща, незначительно увеличивая время исследования, может дополнить стандартный объем импульсных последовательностей ввиду высокой диагностической значимости на ранних этапах развития артроза.

Цель – оценка состояния суставного хряща надколенника после стабилизирующего артроскопического оперативного вмешательства при рецидивирующем вывихе надколенника у детей с использованием МРТ с цветовым T2-картированием.

Материал и методы / Material and methods

Проспективное сплошное одноцентровое исследование проведено в условиях ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Чебоксары) на основании клинических данных пациентов детского травматолого-ортопедического отделения в медицинской информационной системе.

В группу исследования включены 22 подростка в возрасте 15–17 лет (13 юношей и 9 девушек) с привычным вывихом надколенника. Всем пациентам проведено хирургическое вмешательство в объеме артроскопического латерального релиза и пластики медиального удерживателя надколенника. В 7 случаях дополнительно осуществлялась медиализация бугристости большеберцовой кости.

Всем пациентам выполняли пластику MPFL трансплантатом из сухожилия полусухожильной мышцы. Обязательным условием являлось проведение артроскопического латерального релиза, который позволяет снизить нагрузку на хрящ надколенника. В ряде случаев было необходимо медиализировать собственную связку надколенника, чтобы восстановить биомеханику его движения.

В рамках дооперационного обследования всем пациентам проводили клинические тесты, рентгенографические исследования в трех проекциях (прямой, боковой и аксиальной в положении сгибания в коленном суставе под углом 45°), ультразвуковое исследование и компьютерную томографию коленных суставов.

МРТ коленного сустава до операции, на 3-и сутки после нее и через 6 мес выполняли на аппарате Magnetom Aera 1.5T (Siemens, Германия) в стандартных режимах (T2 TSE, PD TSE, PD TSE FS, T1 TSE – в трех плоскостях). Участникам исследования не разрешалось выполнять упражнения высокой интенсивности, связанные с коленным суставом, за

24 ч до обследования. Пациенты находились в положении лежа, центр спирали располагался на одной линии с нижним краем надколенника. Длинная ось коленного сустава была параллельна длинной оси таблицы сканирования, чтобы свести к минимуму влияние эффекта magic angle.

Целью проведения МРТ-исследования на 3-и сутки после операции являлась оценка корректности проведения натяжения и изометрии трансплантата MPFL. Для более глубокого изучения процессов хондродегенерации надколенника МРТ была дополнена цветовым картированием хрящевой ткани с вычислением времени T2-релаксации.

В дооперационном периоде выявляли локальные участки в нагружаемых зонах суставного хряща надколенника. Оценивали дислокацию надколенника, повреждение его связочного аппарата, признаки пателлофemorального импинджмента, дегенерацию суставного хряща надколенника. Затем картировали пателлофemorальное сочленение с составлением цветной T2-карты суставного хряща. Для этого зоны интереса (region of interest, ROI) были выставлены через равные промежутки на аксиальном срезе надколенника с ориентированием на выявленные нагружаемые проблемные зоны. В качестве контрольных значений использованы ROI ненагружаемых (интактных) участков. Далее проводили количественную оценку результатов картирования в проблемных зонах хряща.

Полученные данные регистрировали в виде электронных таблиц, визуализацию структуры данных и их анализ выполняли в MS Office Excel 2007 (Microsoft, США) и в программе Graf Pad. Для описания количественных показателей осуществляли проверку на нормальность распределения по критерию Колмогорова–Смирнова. При нормальном распределении для описания признака использовали его среднее значение и среднеквадратичное отклонение (CO), а при распределении, отличающемся от нормального, – медиану и верхний и нижний квартили (Me (Q1–Q3)). В обоих случаях применяли 95% доверительный интервал (ДИ). Значимость различий при нормальном распределении оценивали по t-критерию Стьюдента, а при его отсутствии – по непараметрическому критерию Манна–Уитни. Категориальные данные описывали условными кодами неизмеряемых категорий, не подлежащих упорядочиванию.

Результаты / Results

В дооперационном периоде у всех пациентов выявлены локальные участки в нагружаемых зонах суставного хряща надколенника (рис. 1) с увеличенным временем T2-релаксации: среднее значение 35,5 мс (CO 1,1; 95% ДИ 35,5–36,5).

На 3-и сутки (в раннем послеоперационном периоде) установлена корректность натяжения

трансплантата, точки его проведения определены верно, надколенник находился строго над межмыщелковой бороздой. Отмечено увеличение среднего времени T2-релаксации до 37,8 мс (СО 2,1; 95% ДИ 37,0–39,0).

Через 6 мес после операции время T2-релаксации у 3 (13,6%) пациентов не изменилось, у 19 (86,4%) определялось снижение времени T2-релаксации, в том числе у 14 (73,7%) оно варьировалось в пределах 27–30 мс и составило в среднем 28,6 мс (СО 1,1; 95% ДИ 28,4–29,6), у 5 (26,3%) – от 31 до 32 мс, в среднем 31,4 мс (СО 0,5; 95% ДИ 30,3–31,7). Пример представлен на рисунке 2.

Обсуждение / Discussion

Целью всех хирургических вмешательств являлась реставрация трекинга надколенника. При восстановлении его физиологической биомеханики обеспечивается равномерная нагрузка на фасетки надколенника и мыщелки бедра, снижается гиперпрессия, что положительно влияет на регенерацию хрящевой ткани.

В работе K. Małeck et al. (2023 г.) акцентируется внимание на том, что любая нестабильность надколенника, связанное с этим хирургическое лечение и потенциальная ротационная нестабильность в феморотибиальном суставе могут ускорить общую дегенерацию суставного хряща, и не только в пателлофеморальном суставе [12].

МРТ коленного сустава рекомендуется всем пациентам с подозрением на вывих надколенника для выявления повреждения MPFL, нарушения хряща на надколеннике и наружном мыщелке бедренной кости, дисфункцию внутренней головки четырехглавой мышцы бедра [13].

Диагностические возможности артроскопии превосходят возможности МРТ в выявлении и стадировании повреждений суставного хряща при остеоартрозе, хондромалиции надколенника, остеохондральных повреждениях. МРТ позволяет определить диффузное и локальное истончение суставного хряща (в том числе с формированием кратера и реактивным отеком субхондральной кости), но часто пропускает I стадию хондромалиции (размягчение хряща), хорошо выявляемую артроскопически. В ряде исследований показано, что при оценке суставного хряща для МРТ характерна высокая частота ложноположительных результатов, связанных с вариантами нормального строения хряща и распространенностью слабовыраженных артефактов, принимаемых за повреждения. Поэтому все большую актуальность приобретает использование цветового МР-картирования суставного хряща [14].

T.C. Mamisch et al. (2010 г.) продемонстрировали, что цветовое картирование хрящевой ткани с вычислением времени T2-релаксации способствует раннему выявлению дегенерации хряща,



Рис. 1. Цветовое T2-картирование хряща надколенника до оперативного вмешательства. Время T2-релаксации для зоны локальных изменений хряща составляет 36 мс

Fig. 1. Color T2 mapping of patellar cartilage before surgery. The T2 relaxation time for the zone of local cartilage changes is 36 ms

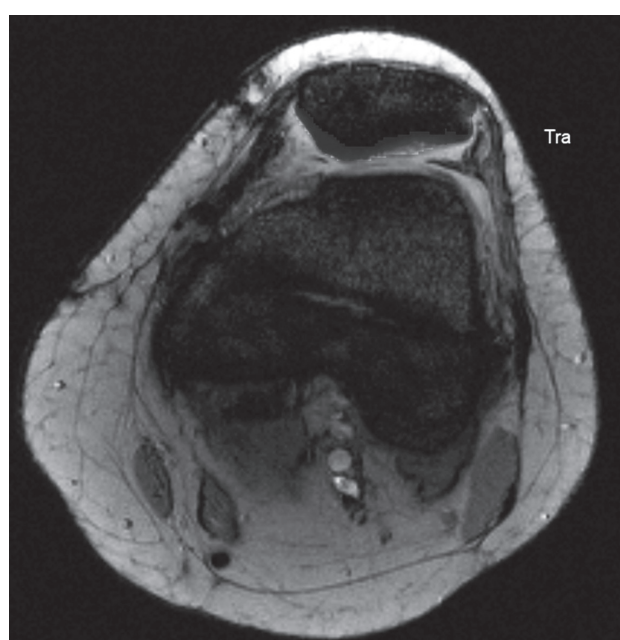


Рис. 2. Цветовое T2-картирование хряща надколенника через 6 мес после оперативного вмешательства. Время T2-релаксации аналогичной зоны хряща составляет 27 мс

Fig. 2. Color T2 mapping of patellar cartilage 6 months after surgery. The T2 relaxation time for the zone of local cartilage changes is 27 ms

позволяет эффективно отслеживать прогрессирование заболевания и дает возможность оценить результативность лечения остеоартритов [9, 11, 15].

К сожалению, этот метод применяется в клинической практике не так часто, и работ по этой теме в научной литературе не так много. K. Małecki et al. (2023 г.) в исследовании толщины суставного хряща надколенника с помощью МР-картирования у 33 пациентов (20 девочек, 13 мальчиков, 39 коленных суставов) в сравнении с 20 здоровыми лицами в возрасте 20–30 лет получили данные, позволившие точно оценить тяжесть дегенеративных изменений через 10 лет после реконструкции большой приводящей мышцы MPFL [12]. В нашем случае использование данного метода позволило выявить степень дегенерации суставного хряща надколенника у пациентов с рецидивирующим вывихом надколенника до операции и оценить динамику его состояния на этапе наблюдения неинвазивным, в отличие от артроскопии, путем.

Как известно, время T2-релаксации для неизмененного хряща составляет 27–30 мс, тогда как при нарушениях биохимического состава суставного хряща этот показатель увеличивается [9, 16]. Полученные нами данные на дооперационном этапе (время T2-релаксации 34–37 мс) демонстрируют наличие дегенеративно-дистрофических процессов в суставном хряще надколенника у всех исследуемых пациентов. Увеличение времени T2-релаксации до 35–41 мс на 3-и сутки после операции расценено нами как реактивные послеоперационные изменения хряща. Стабилизация показателя у 13,6% пациентов и его снижение у 86,4% через 6 мес после операции свидетель-

ствуют о преобладании регенеративных процессов над дегенеративными, то есть об успешном восстановлении биохимической структуры хрящевой ткани надколенника [17].

Необходимо отметить, что проведенное хирургическое лечение позволило устранить гиперпрессию и восстановить трекинг надколенника, а цветовое T2-картирование при МРТ-исследовании дало возможность оценить восстановление хряща даже на малом сроке наблюдения – 6 мес. Улучшение биохимического состава хряща надколенника через полгода после операции у более чем 86% пациентов можно считать хорошим результатом.

Ограничениями исследования являлись небольшая выборка, отсутствие оценки хряща на обычных МРТ-изображениях, отсутствие хирургической и гистологической корреляции и малый срок наблюдения после хирургического лечения.

Закключение / Conclusion

МРТ с цветовым T2-картированием не только позволила нам оценить адекватность проведенного хирургического вмешательства, но и доказала, что данный метод исследования является рациональным высокочувствительным неинвазивным способом диагностики ранних дегенеративных процессов в гиалиновом хряще при привычном вывихе надколенника. С помощью этого метода можно провести оценку восстановления структуры хряща после артроскопической реконструкции медиального удерживателя надколенника. Замедление процессов хондродегенерации и регенеративный эффект отмечаются уже через 6 мес после операции.

Литература

- Lee DY, Park YJ, Song SY, et al. Which technique is better for treating patellar dislocation? A systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy*. 2018; 34(11): 3082–93.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.06.052>.
- Alsayyad MAI, Ali Shehata KA, Khattab RT. Role of adding T2 mapping sequence to the routine MR imaging protocol in the assessment of articular knee cartilage in osteoarthritis. *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2021; 52: 78. <https://doi.org/10.1186/s43055-021-00453-w>.
- Саутенко А.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. и др. Нестабильность надколенника у детей: результаты оперативного лечения. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2018; 3–4: 58–64. <https://doi.org/10.17116/vto201803-04158>.
- Саутенко А.А., Огарёв Е.В., Меркулов В.Н. и др. Современные методы лучевой диагностики нестабильности надколенника у детей. Выбор способа лечения. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2018; 6(2): 29–36. <https://doi.org/10.17816/PTORS6229-36>.
- Клименко И.Г. Диспластический рецидивирующий вывих надколенника (синдром нарушения равновесия). *Acta Biomedica Scientifica*. 2013; 5: 29–32.
- Акильжанов К.Р., Жанаспаев М.А. Диагностика ортопедической патологии пателлофemorального сустава. *Обзор литературы. Наука и здравоохранение*. 2018; 20(5): 31–41.
- Карасева Т.Ю., Карасев Е.А. Результат артроскопически асстилируемого лечения больной с наружным вывихом надколенника. *Гений ортопедии*. 2011; 4: 128–32.
- Трофимова А.С., Трофимов Е.А., Кахели М.А. Лучевая диагностика остеоартроза. *Лучевая диагностика и терапия*. 2016; 3: 25–32. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2016-3-25-32>.
- Мазуров В.И., Трофимова А.С. Применение методики цветового картирования хрящевой ткани для оценки эффективности терапии остеоартрита. *Вестник Новгородского государственного университета*. 2016; 6: 44–8.
- Беляева И.Б., Мазуров В.И., Трофимов Е.А., Трофимова А.С. Вопросы ранней диагностики и лечения остеоартрита, развившегося у больных ревматоидным артритом. *Эффективная фармакотерапия*. 2018; 33: 64–9.
- Zhao H, Li H, Liang S, et al. T2 mapping for knee cartilage

- degeneration in young patients with mild symptoms. *BMC Med Imaging*. 2022; 22(1): 72. <https://doi.org/10.1186/s12880-022-00799-1>.
12. Matecki K, Niedzielski K, Korczyk-Stepnicka A, et al. A clinical, radiological and isokinetic evaluation in patients with recurrent patellar dislocation undergoing MPFL reconstruction according to Avikainen: a prospective study evaluating early degenerative changes after a minimum 10-year follow-up period. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023; 24(1): 147. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06249-5>.
 13. Вывих надколенника. Клинические рекомендации (утв. Минздравом России 25.08.2021). Ассоциация травматологов-ортопедов России, 2021. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/657_1 (дата обращения 09.09.2024).
 14. Морозов С.П., Терновой С.К., Городниченко А.И. и др. Магнитно-резонансная томография в диагностике повреждений и заболеваний коленного сустава. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2008; 2: 58–62.
 15. Mamisch TC, Trattng S, Quirbach S, et al. Quantitative T2 mapping of knee cartilage: differentiation of healthy control cartilage and cartilage repair tissue in the knee with unloading – initial results. *Radiology*. 2010; 254(3): 818–26. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090335>.
 16. Пирназаров М.М., Садиков А.А., Турсункулов И.А. и др. Результаты МРТ-исследования степени дистрофических повреждений хрящевой ткани коленного сустава у спортсменов. *Life Sciences and Agriculture*. 2021; 3: 1–6.
 17. Богомякова О.Б., Тавлуй М.А., Савелов А.А. МР-методика Т2-картирования в оценке степени активности процесса при воспалительных миопатиях. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2020; 9(3): 21–9. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-3-21-29>.

References

1. Lee DY, Park YJ, Song SY, et al. Which technique is better for treating patellar dislocation? A systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy*. 2018; 34(11): 3082–93.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.06.052>.
2. Alsayyad MAI, Ali Shehata KA, Khattab RT. Role of adding T2 mapping sequence to the routine MR imaging protocol in the assessment of articular knee cartilage in osteoarthritis. *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2021; 52: 78. <https://doi.org/10.1186/s43055-021-00453-w>.
3. Sautenko AA, El'tsin AG, Mininkov DS, et al. Patella instability in children: surgical treatment results. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2018; 3–4: 58–64 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/vto201803-04158>.
4. Sautenko AA, Ogarev EV, El'tsin AG, et al. Current methods of patellar instability imaging in children. Selection of the best treatment approach. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2018; 6(2): 29–36 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/PTORS6229-36>.
5. Klimenko IG. Dysplastic consecutive patella dislocation (syndrome of patella disequilibrium). *Acta Biomedica Scientifica* 2013; 5: 29–32 (in Russ).
6. Akilzhanov KR, Zhanaspaev MA. Diagnostics of orthopedic pathology of patellofemoral joint. Literature review. *Science & Healthcare*. 2018; 20(5): 31–41 (in Russ).
7. Karaseva TYu, Karasev EA. A result of arthroscopically assisted treatment of a female patient with an outer dislocation of the patella. *Orthopaedic Genius*. 2011; 4: 128–32 (in Russ).
8. Trofimova AS, Trofimov EA, Kakheli MA. Radiologic diagnostics of osteoarthritis. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2016; 3: 25–32 (in Russ). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2016-3-25-32>.
9. Mazurov VI, Trofimova AS. Using the color mapping of cartilage to assess the effectiveness of osteoarthritis treatment. *Vestnik NOVUSU*. 2016; 6: 44–8 (in Russ).
10. Belyayeva IB, Mazurov VI, Trofimov YeA, Trofimova AS. Problems of early diagnosis and treatment of osteoarthritis, developed in patients with rheumatoid arthritis. *Effective Pharmacotherapy*. 2018; 33: 64–9 (in Russ).
11. Zhao H, Li H, Liang S, et al. T2 mapping for knee cartilage degeneration in young patients with mild symptoms. *BMC Med Imaging*. 2022; 22(1): 72. <https://doi.org/10.1186/s12880-022-00799-1>.
12. Matecki K, Niedzielski K, Korczyk-Stepnicka A, et al. A clinical, radiological and isokinetic evaluation in patients with recurrent patellar dislocation undergoing MPFL reconstruction according to Avikainen: a prospective study evaluating early degenerative changes after a minimum 10-year follow-up period. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023; 24(1): 147. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06249-5>.
13. Patellar dislocation. Clinical guidelines (approved by the Ministry of Health of Russia on August 25, 2021). Association of Orthopaedists and Traumatologists of Russia, 2021. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/657_1 (in Russ) (accessed 09.09.2024).
14. Morozov SP, Ternovoy SK, Gorodnichenko AI, et al. Magnitono-resonance tomography in the diagnostics of traumas and pathologies in the knee joint. *Kremlin Medicine Journal*. 2008; 2: 58–62 (in Russ).
15. Mamisch TC, Trattng S, Quirbach S, et al. Quantitative T2 mapping of knee cartilage: differentiation of healthy control cartilage and cartilage repair tissue in the knee with unloading – initial results. *Radiology*. 2010; 254(3): 818–26. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090335>.
16. Pirnazarov MM, Sadikov AA, Tursunkulov IA, et al. The results of an MRI examination of the degree of dystrophic damage to the cartilaginous tissue of the knee joint in athletes. *Life Sciences and Agriculture*. 2021; 3: 1–6 (in Russ).
17. Bogomyakova OB, Tavlu MA, Savelov AA. Experience of application of T2-mapping MRI assessment of inflammatory myopathies. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2020; 9(3): 21–9 (in Russ). <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-3-21-29>.



Радиомический анализ ультразвуковых изображений периферических нервов у пациентов молодого возраста с сахарным диабетом 1-го типа в сравнении со здоровыми лицами

Фомина С.В.¹, Самойлова Ю.Г.¹, Плешков М.О.¹, Кудлай Д.А.^{2,3,4}, Воронин Е.А.¹, Качанов Д.А.¹, Толмачев И.В.¹, Кошмелева М.В.¹, Трифонова Е.И.¹

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Московский тракт, 2, Томск, 634050, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119048, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Российская Федерация

⁴ ФГБУ «Государственный научный центр «Институт иммунологии» ФМБА России, Каширское ш., 24, Москва, 115522, Российская Федерация

Фомина Светлана Викторовна, канд. мед. наук, доцент, заведующая отделением – врач ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0001-7517-3393>

Самойлова Юлия Геннадьевна, д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Плешков Максим Олегович, канд. мед. наук, мл. науч. сотр. отдела разработки медицинского программного обеспечения научно-технологического центра «Цифровая медицина и киберфизика» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-4131-0115>

Кудлай Дмитрий Анатольевич, д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, профессор кафедры фармакологии Института фармакологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, зам. декана по инновационной и трансляционной работе факультета фундаментальной медицины, профессор кафедры фармакогнозии и промышленной фармакологии факультета фундаментальной медицины ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», вед. науч. сотр. лаборатории персонализированной медицины и молекулярной иммунологии № 71 ФГБУ «Государственный научный центр «Институт иммунологии» ФМБА России; <https://orcid.org/0000-0003-1878-4467>

Воронин Евгений Анатольевич, лаборант-исследователь отдела разработки медицинского программного обеспечения научно-технологического центра «Цифровая медицина и киберфизика» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России;

Качанов Дмитрий Андреевич, ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Толмачев Иван Владиславович, канд. мед. наук, руководитель научно-технологического центра «Цифровая медицина и киберфизика» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-2888-5539>

Кошмелева Марина Владиславовна, канд. мед. наук, доцент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

Трифорова Екатерина Ивановна, ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Резюме

Актуальность. Ранняя диагностика диабетической полинейропатии в детском возрасте является актуальной задачей здравоохранения. Радиомический анализ ультразвуковых (УЗ) изображений – перспективный диагностический инструмент оценки морфологической структуры периферических нервов при сахарном диабете 1-го типа (СД1).

Цель: оценка возможности использования радиомического анализа в диагностике изменений периферических нервов на основе УЗ-изображений у пациентов молодого возраста с СД1.

Материал и методы. Исследовано 126 УЗ-изображений периферических нервов верхних и нижних конечностей пациентов с СД1 (n=10) в возрасте 10–17 лет и контрольной группы (n=10) (четыре локализации, серошкальный режим).

Результаты. Радиомический анализ позволил выявить различия в текстуре периферических нервов конечностей у молодых пациентов с СД1 при сравнении со здоровыми лицами.

Заключение. Метод радиомического анализа является перспективным диагностическим инструментом в оценке изменений периферических нервов при СД1 у детей и подростков.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика; сахарный диабет; радиомика; периферические нервы; подростки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Плешков М.О., Кудлай Д.А., Воронин Е.А., Качанов Д.А., Толмачев И.В., Кошмелева М.В., Трифонова Е.И. Радиомический анализ ультразвуковых изображений периферических нервов у пациентов молодого возраста с сахарным диабетом 1-го типа в сравнении со здоровыми лицами. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(5): 245–254. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-245-254>

Для корреспонденции: Фомина Светлана Викторовна, E-mail: statfom@mail.ru

Статья поступила 28.12.2024

После доработки 11.01.2025

Принята к печати 12.01.2025

Radiomics Analysis of Ultrasound Images of Peripheral Nerves in Young Patients with Type 1 Diabetes Mellitus in Comparison with Healthy Controls

Svetlana V. Fomina¹, Iuliia G. Samoilova¹, Maksim O. Pleshkov¹, Dmitry A. Kudlay^{2,3,4}, Evgeniy A. Voronin¹, Dmitriy A. Kachanov¹, Ivan V. Tolmachev¹, Marina V. Koshmeleva¹, Ekaterina I. Trifonova¹

¹ Siberian State Medical University,
Moskovskiy trakt, 2, Tomsk, 634050, Russian Federation

² Sechenov University,
ul. Trubetskaya, 8, str. 2, Moscow, 119048, Russian Federation

³ Lomonosov Moscow State University,
Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russian Federation

⁴ National Research Center – Institute of Immunology, FMBA of Russia,
Kashirskoe shosse, 24, Moscow, 115522, Russian Federation

Svetlana V. Fomina, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Head of Department – Doctor of Ultrasound Diagnostics, Siberian State Medical University;

<http://orcid.org/0000-0001-7517-3393>

Iuliia G. Samoilova, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University;

<http://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

Maksim O. Pleshkov, Cand. Med. Sc., Junior Researcher, Department of Medical Software Development, Scientific and Technological Center “Digital Medicine and Cyberphysics”, Siberian State Medical University;

<http://orcid.org/0000-0002-4131-0115>

Dmitry A. Kudlay, Dr. Med. Sc., Corr. Member of RAS, Professor, Chair of Pharmacology, Institute of Pharmacy, Sechenov University; Deputy Dean for Innovation and Translational Affairs, Faculty of Fundamental Medicine, Professor, Chair of Pharmacognosy and Industrial Pharmacy, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University; Leading Researcher, Laboratory of Personalized Medicine and Molecular Immunology No. 71, National Research Center – Institute of Immunology, FMBA of Russia;

<https://orcid.org/0000-0003-1878-4467>

Evgeniy A. Voronin, Laboratory Researcher, Department of Medical Software Development, Scientific and Technological Center “Digital Medicine and Cyberphysics”, Siberian State Medical University;

Dmitriy A. Kachanov, Assistant Professor, Chair of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University;

<http://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

Ivan V. Tolmachev, Cand. Med. Sc., Head of Scientific and Technological Center “Digital Medicine and Cyberphysics”, Siberian State Medical University;

<http://orcid.org/0000-0002-2888-5539>

Marina V. Koshmeleva, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University;

<https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>

Ekaterina I. Trifonova, Assistant Professor, Chair of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University; <http://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

Abstract

Background. Early diagnosis of diabetic polyneuropathy in childhood is an urgent healthcare problem. Radiomics analysis of ultrasound images is a promising diagnostic tool for assessing the morphological structure of peripheral nerves in type 1 diabetes mellitus (T1DM).

Objective: to evaluate the possibility of using radiomics analysis in the diagnosis of peripheral nerve changes based on ultrasound images in T1DM patients of young age.

Material and methods. A total of 126 ultrasound images of peripheral nerves of the upper and lower limbs in T1DM patients aged 10–17 years ($n=10$) and controls ($n=10$) (four locations, greyscale mode) were studied.

Results. Radiomics analysis revealed differences in the texture of peripheral nerves of the limbs in young T1DM patients when compared with healthy individuals.

Conclusion. The method of radiomics analysis is a promising diagnostic tool for assessing changes in peripheral nerves in children and adolescents with T1DM.

Keywords: ultrasound diagnostics; diabetes mellitus; radiomics; peripheral nerves; adolescents.

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

For citation: Fomina SV, Samoilova IG, Pleshkov MO, Kudlay DA, Voronin EA, Kachanov DA, Tolmachev IV, Koshmeleva MV, Trifonova EI. Radiomics analysis of ultrasound images of peripheral nerves in young patients with type 1 diabetes mellitus in comparison with healthy controls. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(5): 245–254 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-245-254>

For corresponding: Svetlana V. Fomina, E-mail: statfom@mail.ru

Received December 28, 2024

Revised January 11, 2025

Accepted January 12, 2025

Введение / Introduction

Диабетическая полинейропатия (ДПН) сопровождается нарушениями периферических нервов, чаще всего нижних конечностей. Она характеризуется снижением чувствительности, появлением болей, трофическими изменениями кожных покровов. Все эти проявления длительное время могут быть слабовыраженными, что приводит к потере времени для лечения. Диагностика первичных изменений является актуальной задачей, в первую очередь для пациентов молодого возраста [1, 2].

Патогенез нарушения периферических нервов при сахарном диабете остается дискуссионным. Большинство ученых сходятся во мнении об аксональном и смешанном механизме повреждений нервов в ответ на ишемию, вызванную хронической гипергликемией [3, 4].

Постановка диагноза ДПН осуществляется по данным клинических и инструментальных исследований [4]. Среди последних стандартом является метод функциональной диагностики – электронейромиография, которая характеризует функции периферических нервов, способность проведения импульсов. Несмотря на высокую эффективность оценки функции, метод обладает свойствами высокой операторозависимости, инвазивности и требует соблюдения определенных условий, таких как температура кожи, температура в помещении [5]. Кроме того, отмечается нежелание пациентов детского и подросткового возраста проходить исследования для оценки нарушений в динамике. Методы визуальной лучевой

диагностики регистрируют изменения периферических нервов, включая их размеры, васкуляризацию, жесткость [6].

Наибольшую популярность в диагностических алгоритмах периферических нервов занимает ультразвуковая (УЗ) диагностика как широкодоступный, безопасный, безболезненный, высокоинформативный диагностический инструмент. При ультразвуковых исследованиях (УЗИ) нервов у детей и подростков с сахарным диабетом 1-го типа (СД1) регистрируются изменения в более крупных нервах (седалищном, большеберцовом) в виде повышения жесткости при эластографии сдвиговой волны, увеличения размеров, площади поперечного сечения [3, 4, 6]. Характеристики периферических нервов малого калибра остаются «в тени», несмотря на патогенетические аспекты их первичного поражения. Использование современных походов УЗ-диагностики, датчиков высокой частоты (более 17 МГц), недоплеровской васкуляризации (регистрирующей скорость кровотока от 1 см/с), эластографии сдвиговой волны не позволяет уверенно верифицировать изменения периферических нервов малого калибра при СД1 [6, 7].

М.Г. Данилова и др. приводят отдельные отличительные характеристики нервов у пациентов с СД в серошкальном режиме, но в клинической практике широкого применения эти критерии не нашли по причине высокой операторозависимости и эффекта анизотропии, который характерен для УЗ-визуализации периферических нервов [8].

Анализ ситуации свидетельствует о необходимости поиска нового подхода к оценке УЗ-изображения периферических нервов дистальных участков у пациентов с СД1. Стремительное развитие цифровых инструментов и технологий в лучевой диагностике создает предпосылки для использования радиомического анализа в оценке диабетических изменений периферических нервов.

Радиомика – это метод извлечения большого количества количественных признаков, также называемых радиомическими показателями (РП), из медицинских изображений с использованием специализированных математических алгоритмов. Радиомика помогает выявить характеристики изображения, преимущественно связанные с его текстурой и не видные при визуальной оценке. Таким образом, радиомика преобразует изображение в многомерные количественные данные, что позволяет многократно увеличить объем информации, извлекаемой из каждого медицинского изображения [9].

Процедура применения радиомики включает несколько основных этапов: получение цифрового медицинского изображения, сегментация области интереса, непосредственно извлечение РП, отбор значимых РП и, наконец, построение и валидация модели классификатора [10].

Изначально областью применения радиомики была классификация различных опухолей в онкологии, однако в последние годы методика используется и для диагностики разнообразных неонкологических патологий, включая нарушения опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистые, эндокринные заболевания и др. [11]. Из-за специфики применения радиомики в онкологии наиболее часто используемые модальности включают различные варианты томографии – магнитно-резонансную, компьютерную, позитронно-эмиссионную. Тем не менее существуют исследования, основанные на радиомике УЗ-изображений, иногда называемые ультрасомикой (utrasomics: ultrasound + radiomics) [12, 13]. Наконец, насколько нам известно, в настоящее время в научной литературе нет данных о применении радиомики для диагностики ДПН на основе УЗ-изображений.

Цель – оценка возможности использования радиомического анализа в диагностике изменений периферических нервов на основе УЗ-изображений у пациентов молодого возраста с СД1.

Материал и методы / Material and methods

Исследование проведено в клиниках ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, протокол исследования одобрен этическим комитетом (заключение № 9518 от 28 августа 2023 г.).

Группы пациентов

Проанализированы УЗ-изображения периферических нервов 20 пациентов в возрасте 10–17 лет. Все они были распределены на две группы: в 1-ю группу (наблюдения) входили данные пациентов с установленным диагнозом СД1 (n=10), во 2-ю группу (контроля) – данные здоровых детей и подростков (n=10).

Критерии включения в группу наблюдения: наличие диагноза СД1 (диагноз впервые установлен не менее чем за 12 мес до включения в исследование), уровень гликозилированного гемоглобина более 7% (отсутствие достижения целевых показателей). Критерии исключения из исследования: дети с травмами нижних конечностей (с зафиксированным повреждением нервов нижних конечностей) в анамнезе или имеющие установленный диагноз нейропатии недиабетического характера (алкогольная, В12-дефицитная и др.), с другими системными заболеваниями, обследуемые со злокачественными новообразованиями.

В группу наблюдения вошли 4 девочки и 6 мальчиков в возрасте 10–17 лет (средний возраст 15,3 года). В группу контроля включены 5 девочек и 5 мальчиков в возрасте 13–17 лет (средний возраст 16,5 года). Длительность СД1 у пациентов 1-й группы составляла от 3 до 14 лет: менее 5 лет – у 2 пациентов, 5–10 лет – у 5, более 10 лет – у 3 (в среднем 8 лет).

Методика УЗИ

Всем пациентам проведено УЗИ периферических нервов верхних и нижних конечностей на приборе высокого класса Canon Aplio i 700 (Япония) с линейным высокочастотным датчиком 18 МГц. В радиомиксный анализ вошли УЗ-снимки, выполненные в серошкальном режиме (рис. 1).

Методика УЗИ периферических нервов включала следующие аспекты: соблюдение правил перпендикулярности УЗ-луча по отношению к зоне исследования для минимизации эффекта анизотропии нервов, малое количество геля (без создания гелевой «подушки»), избегание узких мест (туннелей) для исключения влияния туннельной нейропатии на результат оценки нервов. Учитывая особенности методики, для анализа были выбраны дистальные участки периферических нервов в анатомических зонах, указанных в таблице 1.

Осмотр срединного нерва проводили при положении пациента лежа на спине, руки вдоль туловища с небольшим отведением и открытой внутренней поверхностью. Большеберцовый нерв в нижней трети бедра и малоберцовый нерв исследовали при положении пациента лежа на животе. Большеберцовый нерв на уровне лодыжки осматривали при положении пациента лежа на спине со свободным отведением стопы наружу.

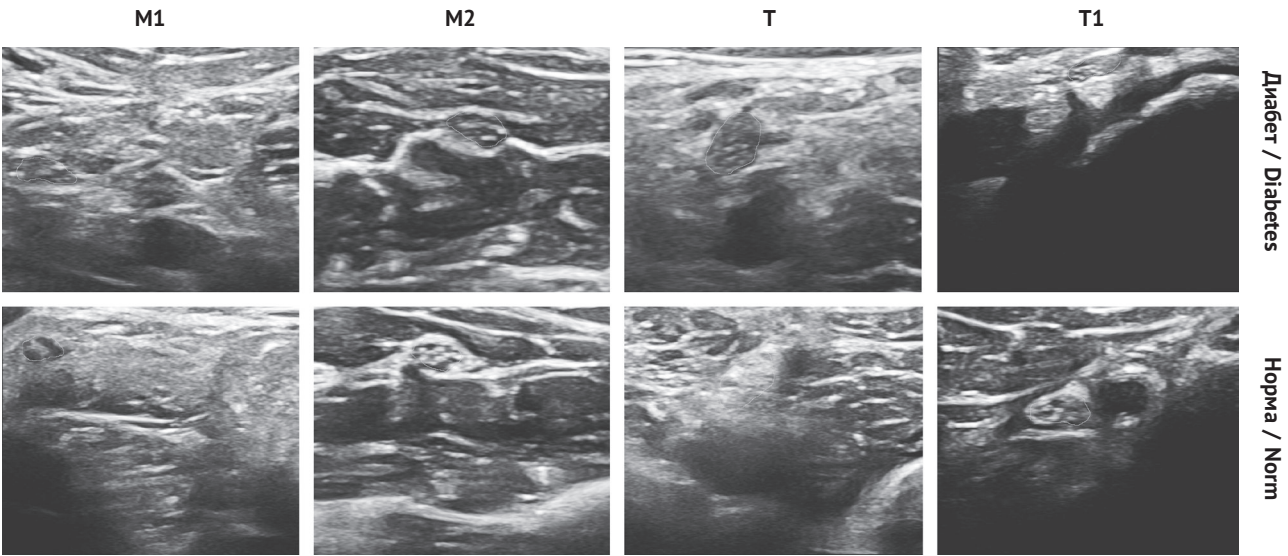


Рис. 1. Ультразвуковые изображения периферических нервов в четырех исследуемых локализациях у пациента с сахарным диабетом (верхний ряд) и у здорового контроля (нижний ряд). M1 – малоберцовый нерв на бедре; M2 – срединный нерв на предплечье; T – большеберцовый нерв на бедре; T1 – большеберцовый нерв на лодыжке

Fig. 1. Ultrasound images of peripheral nerves at the four regions of interest in a patient with type 1 diabetes mellitus (upper row) and healthy control (lower row). M1 – peroneal nerve on the thigh; M2 – median nerve on the forearm; T – tibial nerve on the thigh; T1 – tibial nerve on the ankle

Таблица 1

Анатомические зоны ультразвукового исследования периферических нервов верхней и нижней конечностей

Table 1

Anatomical zones of ultrasound examination of peripheral nerves of the upper and lower limbs				
Конечность / Limb	Нерв / Nerve	Обозначение / Designation	Зона осмотра / Inspection area	Число изображений / Number of images
Верхняя / Upper	Срединный / Median	M2	Средняя треть предплечья / The middle third of the forearm	26
Нижняя / Lower	Большеберцовый / Tibial	T	Нижняя треть бедра на 2 см ниже бифуркации седалищного нерва / The lower third of the thigh 2 cm below the bifurcation of the sciatic nerve	39
	Малоберцовый / Peroneal	T1	Медиальная лодыжка до входа в тарзальный канал / Medial ankle before entering the tarsal canal	27
		M1	Нижняя треть бедра до входа в фибулярный канал / The lower third of the thigh before entering the fibular canal	34

Обработка УЗ-изображений

Предобработка

Полученные снимки представляли собой плоские (2D) цветные изображения с разрешением 1280×960 пикселей, сохраненные вместе с метаинформацией в формате dicom. Каждый dicom-файл был анонимизирован путем обрезки верх-

ней полосы изображения высотой 70 пикселей, содержащей персональную информацию о пациенте, и сохранения в формат nrrd, который не хранит метаинформацию, для дальнейшей сегментации. Анонимизированное изображение имело разрешение 1280×890 пикселей. Затем каждое цветное изображение (три канала: R, G, B; 8 бит

на канал) было конвертировано в черно-белое (1 канал, 8 бит на канал) с использованием библиотеки *sitk*, функции *VectorMagnitude*.

Сегментация

Сегментация проводилась вручную врачом ультразвуковой диагностики с 15-летним опытом в УЗ-диагностике нервов в свободном программном обеспечении 3D Slicer [14]. В результате сегментации для каждого изображения была получена маска, показывающая область интереса (region of interest, ROI). Каждая результирующая маска имела точно такое же разрешение, как и сегментируемое изображение (1280×890).

Извлечение РП

Для извлечения РП использовали самостоятельно разработанный скрипт на языке Python 3.11, а также модуль *PyRadiomics* 3.0.1 [15]. К оригинальному изображению применяли 12 фильтров: *gradient*, *exponential*, *squareroot*, *square*, *wavelet* (HHH, HHL, HLH, HLL, LHH, LHL, LLH, LLL). Из каждого УЗ-изображения извлекали семь классов РП: *First Order*, *Shape*, *GLCM*, *GLDM*, *GLRLM*, *GLSZM*, *NGTDM*. Всего 1239 РП было извлечено из каждого изображения.

Отбор значимых РП

Перед отбором показателей была проведена z-нормализация по каждому вычисленному РП. Для определения значимых РП использовали следующие методы: *Lasso*-регрессия, метод *Boruta*, *ROC*-анализ. Для уменьшения потенциальной мультиколлинеарности показателей между отобранными РП рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона. РП, имеющие коэффициент корреляции по модулю больше 0,6, удаляли из рассмотрения. Значимые РП сравнивали при помощи критерия Манна-Уитни, *p*-значения <0,05 считали статистически значимыми.

Построение модели классификатора

Классификацию нормы и диабета проводили при помощи логистической регрессии на основе отобранных ранее значимых показателей. Качество построенных моделей оценивали на основе следующих метрик: площадь под *ROC*-кривой (*AUC*), *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1*. Для каждого классификатора была построена *ROC*-кривая, а для каждого значимого РП – диаграмма «ящик с усами».

AUC обычно используется для демонстрации качества модели, где значение 0,5 означает абсолютно случайное гадание (шанс 50/50), а значение 1 – идеальную классификацию. Таким образом, модели, для которых значения *AUC* выше 0,8, считаются хорошими, а выше 0,9 – отличными [16].

Результаты / Results

В результате применения методов *Lasso* и *Boruta* было отобрано от 1 до 86 значимых показателей в зависимости от локализации УЗ-диагностики (табл. 2). Сводные данные по значимым РП, полученные с использованием методов *Lasso*, *Boruta*, *ROC*-анализа, представлен в таблице 3. Некоторые РП были отобраны сразу несколькими методами (в таблице 2 выделены полужирным шрифтом), далее мы будем их называть условно устойчивыми:

- *M1 original_shape_Maximum3DDiameter* (*p*=0,0008);
- *M1 original_ngtdm_Coarseness* (*p*=0,0009);
- *M2 original_glcmlnverseVariance* (*p*=0,003);
- *T exponential_glrmlnRunEntropy* (*p*=0,001);
- *T gradient_glszm_SizeZoneNonUniformityNormalized* (*p*=0,01);
- *T1 original_firstorder_90Percentile* (*p*=0,004);
- *T1 wavelet-HHH_glszm_SmallAreaEmphasis* (*p*=0,01).

Обнаружено не более двух устойчивых показателей для каждой локализации. Четыре из семи устойчивых РП соответствовали изображению без фильтрации (*original*), еще по одному показателю были рассчитаны из изображений, обработанных фильтрами *exponential*, *wavelet* и *gradient*. Два устойчивых РП принадлежат группе *glszm*, остальные – *shape*, *glcm*, *ngtdm* *glrlm*, *first order*.

Сравнение значений семи найденных устойчивых РП в двух группах приведено на рисунке 2. Можно заметить, что для группы с СД1 значения показателей *original_shape_Maximum3DDiameter*, *exponential_glrmlnRunEntropy* и *wavelet-HHH_glszm_SmallAreaEmphasis* оказались выше, чем в контрольной группе. В то же время значения остальных показателей (*original_firstorder_90Percentile*, *gradient_glszm_SizeZoneNonUniformityNormalized*, *original_ngtdm_Coarseness* и *original_glcmlnverseVariance*) оказались выше в контрольной группе. Различия в значениях всех семи устойчивых РП оказались статистически достоверными (*p*<0,05).

Метрики качества построенных моделей классификаторов приведены в таблице 3. В качестве ключевого индикатора использовалась *AUC*. В среднем модели, построенные на РП, отобранных по методу *Boruta*, показали более высокое качество на основании всех рассматриваемых метрик (*AUC_Lasso*=0,82 против *AUC_Boruta*=0,83).

Несмотря на малый объем выборки, на предварительном этапе удалось получить удовлетворительные результаты. Используемый подход позволяет дифференцировать УЗ-снимки периферических нервов пациентов с СД1 и здоровых лиц контрольной группы.

В результате *ROC*-анализа максимальные значения *AUC* каждого отдельного показателя лежали в диапазоне от 0,74 до 0,85 (см. табл. 3). РП с наилучшими показателями классификации включали *original_ngtdm_Coarseness*, *original_*

Таблица 2

Сводная таблица радиомических показателей, отобранных с использованием трех методов (Lasso, Boruta и ROC-анализ) и полученных по четырем локализациям ультразвуковых исследований периферических нервов

Table 2

Summary table of radiomics parameters identified using three methods (Lasso, Boruta, and ROC analysis) and obtained from four localizations of ultrasound examinations of peripheral nerves

Локализация / Localization	Метод отбора показателей / Indicator selection method		
	Lasso	Boruta	ROC (top 5) / ROC (top 5)
M1	1. original_shape_Elongation 2. original_ngtdm_Coarseness 3. original_shape_Maximum3DDiameter 4. squareroot_gldm_GrayLevelNonUniformity 5. wavelet-HHL_glszm_LargeAreaHighGrayLevelEmphasis 6. square_glrml_RunEntropy 7. wavelet-HLH_glszm_SmallAreaHighGrayLevelEmphasis	1. original_shape_Maximum3DDiameter 2. original_shape_Maximum2DDiameterSlice 3. original_ngtdm_Coarseness 4. wavelet-LLL_ngtdm_Coarseness	1. original_ngtdm_Coarseness 2. wavelet-LHL_ngtdm_Coarseness 3. wavelet-LHH_ngtdm_Coarseness 4. wavelet-LHH_ngtdm_Strength 5. wavelet-HLH_ngtdm_Coarseness
M2	1. original_glcm_InverseVariance	1. original_glcm_InverseVariance 2. squareroot_firstorder_MeanAbsoluteDeviation	1. original_glcm_InverseVariance 2. wavelet-HLL_glcm_MCC 3. squareroot_glcm_Idn 4. squareroot_firstorder_10Percentile 5. squareroot_glcm_Id
T	1. original_shape_Maximum2DDiameterColumn ... (84) 86. exponential_glrml_RunEntropy	1. gradient_glszm_SizeZoneNonUniformity Normalized 2. exponential_glrml_RunEntropy	1. gradient_glszm_SizeZoneNonUniformity Normalized 2. wavelet-HHL_ngtdm_Strength 3. gradient_glszm_SmallAreaEmphasis 4. wavelet-HLL_glrml_LongRunHighGrayLevelEmphasis 5. original_glszm_HighGrayLevelZoneEmphasis
T1	1. wavelet-HHH_glszm_SizeZoneNonUniformity 2. wavelet-HHH_glszm_SmallAreaEmphasis 3. wavelet-HHH_glszm_SmallAreaLowGrayLevelEmphasis 4. wavelet-LLL_ngtdm_Contrast	1. original_firstorder_90Percentile 2. wavelet-HHH_glszm_SmallAreaEmphasis 3. square_gldm_GrayLevelNonUniformity 4. square_glszm_SmallAreaEmphasis 5. exponential_gldm_GrayLevelNonUniformity 6. squareroot_firstorder_90Percentile	1. square_glcm_SumEntropy 2. original_firstorder_90Percentile 3. wavelet-HHL_ngtdm_Coarseness 4. wavelet-LLL_firstorder_90Percentile 5. square_firstorder_Entropy

Примечание. Полуужирным шрифтом выделены показатели, отобранные одновременно несколькими методами.

Note. Indicators selected by several methods at the same time are highlighted in bold.

glcm_InverseVariance, gradient_glszm_SizeZoneNonUniformityNormalized, square_glcm_SumEntropy для локализаций M1, M2, T и T1 соответственно.

Наиболее высокое качество метрики классификаторов показали при локализации большеберцовых нервов на уровне лодыжки (T1), дистальный участок нерва: AUC=0,87 (рис. 3).

Обсуждение / Discussion

В данном исследовании при помощи УЗ-диагностики были визуализированы периферические нервы в четырех локализациях (M1, M2, T и T1) у 20 подростков, разделенных на две группы: СД1 и контроль. Затем УЗ-изображения были проанализированы с использованием методов радиоми-

Таблица 3

Метрики качества моделей-классификаторов, построенных на значимых радиомических показателях

Table 3

Quality metrics for classifier models built on significant radiomics parameters

Локализация / Localization	Модель 1 (показатели Lasso) / Model 1 (Lasso indicators)			Модель 2 (показатели Boruta) / Model 2 (Boruta indicators)			ROC-анализ / ROC analysis	
	AUC	Se	Sp	AUC	Se	Sp	РП / RP	Максимальная AUC / Maximal AUC
M1	0,80	0,78	0,81	0,84	0,83	0,62	original_ngtdm_Coarseness	0,84
M2	0,85	0,00	1,00	0,79	0,83	0,79	original_glcm_InverseVariance	0,85
T	0,78	0,83	0,62	0,81	0,44	0,86	gradient_glszm_SizeZoneNonUniformityNormalized	0,74
T1	0,86	0,83	0,80	0,87	0,92	0,80	square_glcm_SumEntropy	0,83
Среднее	0,82	0,61	0,81	0,83	0,76	0,77	–	–

Примечание. AUC (area under curve) – площадь под ROC-кривой; Se (sensitivity) – чувствительность; SP (specificity) – специфичность; РП – радиомический показатель.

Note. AUC – area under ROC curve; Se – sensitivity; SP – specificity; RI – radiomics parameter.

ки и машинного обучения. Кроме того, для каждой из четырех локализаций был проведен ROC-анализ каждого РП, построены две модели-классификатора, а также рассчитаны метрики качества разработанных моделей. В результате проведенного анализа идентифицированы семь РП, значимых для идентификации СД1 у подростков на основе УЗ-изображений периферических нервов:

- M1: original_shape_Maximum3DDiameter, original_ngtdm_Coarseness;
- M2: original_glcm_InverseVariance;
- T: exponential_glrIm_RunEntropy, gradient_glszm_SizeZoneNonUniformityNormalized;
- T1: original_firstorder_90Percentile, wavelet_HHH_glszm_SmallAreaEmphasis.

Рассмотрим некоторые отобранные в результате исследования РП.

M1: Coarseness (грубость) является мерой средней разницы между центральным вокселем и его окрестностью и показателем пространственной скорости изменения. Более высокое значение в контрольной группе указывает на более низкую скорость пространственного изменения и локально более однородную текстуру. **Maximum3DDiameter** определяет максимальный диаметр сегментированной ROI. Предполагается, что геометрические размеры ROI на изображении могут иметь индивидуальные различия, а также зависеть от мето-

да сегментации изображения. Поэтому показатели формы предлагается на данном этапе не рассматривать как значимые. **M2: Inverse Variance (обратная дисперсия)** описывает функцию вероятности второго порядка области изображения, а именно представляет собой обратную дисперсию количества раз, когда комбинация двух уровней серого появляется в двух пикселях изображения на определенном расстоянии и в определенном направлении. **T: Size-Zone Non-Uniformity Normalized (неравномерность размеров зон)** измеряет изменчивость объемов зон размера уровней серого по всему изображению, при этом более низкое значение указывает на большую однородность объемов зон размера уровня серого на изображении. Зона уровня серого определяется как количество связанных вокселей, которые имеют одинаковую интенсивность уровня серого. В группе СД1 этот РП имеет более низкое значение, что как раз говорит о большей однородности зон одинаковой интенсивности. **RunEntropy (энтропия пробега)** измеряет неопределенность/случайность в распределении длин серий и уровней серого. Более высокое значение наблюдается в группе СД1 и указывает на большую неоднородность в узорах текстуры нервной ткани. **T1: SmallAreaEmphasis (акцент на малых площадях)** – это мера распределения зон малого размера. Большее значение

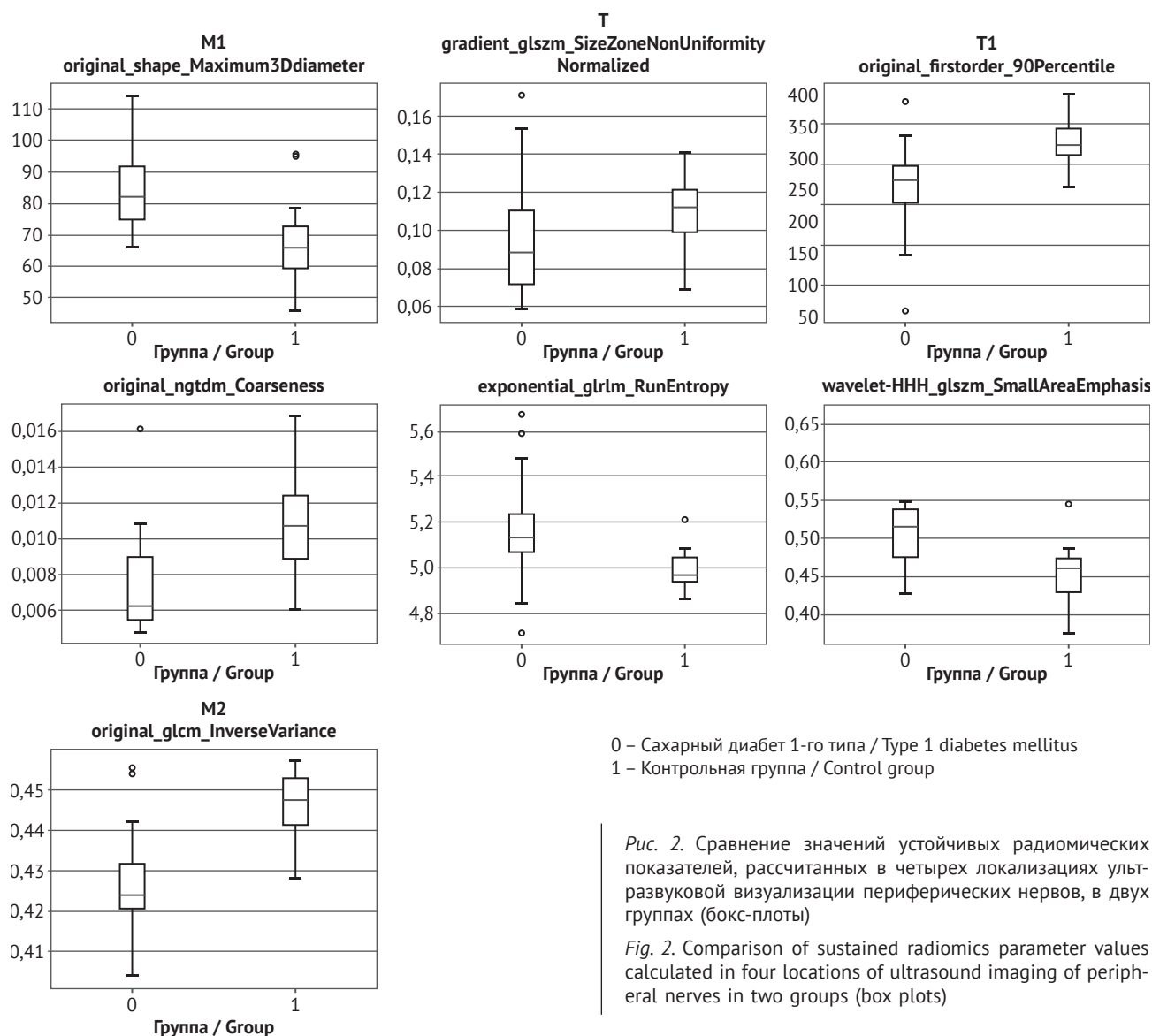


Рис. 2. Сравнение значений устойчивых радиомических показателей, рассчитанных в четырех локализациях ультразвуковой визуализации периферических нервов, в двух группах (бокc-плоты)

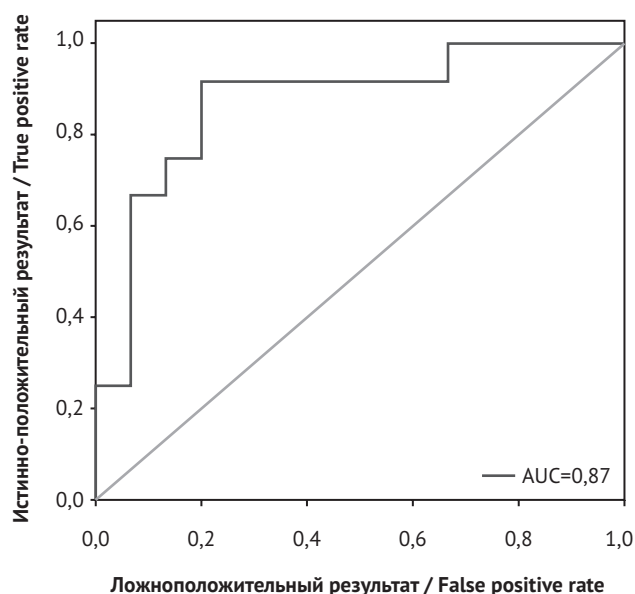
Fig. 2. Comparison of sustained radiomics parameter values calculated in four locations of ultrasound imaging of peripheral nerves in two groups (box plots)

в группе СД1 свидетельствует о большем количестве зон меньшего размера и более тонкой текстуре. **90Percentile** указывает на значение 90 квантиля распределения интенсивности в ROI. Таким образом, можно заключить, что УЗ-изображения периферических нервов в группе пациентов с СД1 имеют более тонкую структуру, большее количество зон небольшого размера, большую неоднородность в узорах текстуры и большую неоднородность текстуры в целом.

Учитывая идентичность УЗ-изображения с гистологическим строением периферических нервов, зоны небольшого размера могут соответствовать отдельным фасцикулам с аксонами [8]. Зареги-

Рис. 3. ROC-кривая модели классификатора сахарного диабета 1-го типа, построенного на радиомическом показателе Boruta, для локализации T1

Fig. 3. ROC curve for type 1 diabetes mellitus classifier model built on the Boruta radiomics parameter for T1 localization



стрированное при радиомическом анализе уменьшение размеров зон нервов с неоднородностью узоров текстуры у пациентов с СД1 в сравнении со здоровыми лицами, а также наиболее выраженные изменения в сегментах Т1 (большеберцовый нерв на уровне лодыжки) и М2 (срединный нерв на предплечье) соответствуют литературным данным о преобладании аксонального типа поражения в патогенезе ДПН с первичными изменениями дистальных аксонов. Ученые считают, что нарушение кровоснабжения длинных аксонов приводит к развитию дистальной сенсорной дегенерации нервных волокон с утратой аксонов, развитием эндоневральной микроангиопатией [3, 4]. Принимая во внимание детский и подростковый возраст исследуемых пациентов с СД1 и наличие текстурных изменений периферических нервов по данным радиомического анализа в сравнении с группой здоровых лиц, можно сделать вывод о значимом влиянии на исследуемые нервы хронической гипергликемии, сопровождаемой ранними морфологическими изменениями.

Заключение / Conclusion

В представленном исследовании обнаружены различия в УЗ-текстуре периферической нервной ткани у детей и подростков с СД1 по сравнению с контрольной группой, согласующиеся с библиографическими данными о патогенезе развития ДПН. Дальнейшие исследования с валидизацией на более обширном наборе данных позволят лучше понять морфологические изменения нервов при СД1 в молодом возрасте.

Развитие комплексных радиомических моделей с дополнением УЗ-изображений клинично-лабораторными данными может лечь в основу как скрининга ДПН, так и категориального динамического наблюдения изменений периферических нервов при СД1. Учитывая безболезненность, безопасность, широкую доступность УЗИ, данный подход можно считать наиболее перспективным диагностическим инструментом в детской практике оценки ДПН в сравнении с методами функциональной (электронейромиография) и лучевой (МРТ) диагностики.

Литература [References]

- Goyal K, Aggarwal P, Gupta M. Ultrasound evaluation of peripheral nerves of the lower limb in diabetic peripheral neuropathy. *Eur J Radiol.* 2021; 145: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.110058>.
- Tandon A, Khullar T, Maheshwari S, et al. High resolution ultrasound in subclinical diabetic neuropathy: a potential screening tool. *Ultrasound.* 2021; 29(3): 150–61. <https://doi.org/10.1177/1742271X20958034>.
- Kallinikou D, Soldatou A, Tsentidis C, et al. Diabetic neuropathy in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus: diagnosis, pathogenesis, and associated genetic markers. *Diabetes Metab Res Rev.* 2019; 35(7): e3178. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3178>.
- Sloan G, Selvarajah D, Tesfaye S. Pathogenesis, diagnosis and clinical management of diabetic sensorimotor peripheral neuropathy. *Nat Rev Endocrinol.* 2021; 17: 400–20. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00496-z>.
- Никитин С.С., Муртазина А.Ф., Дружинин Д.С. Блок проведения возбуждения по периферическому нерву как электрофизиологический феномен: обзор литературы. *Нервно-мышечные болезни.* 2019; 9(1): 12–23. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-1-12-23>. [Nikitin SS, Murtazina AF, Druzhinin DS. Conduction block as an electrophysiological phenomenon: a review of the literature. *Neuromuscular Diseases.* 2019; 9(1): 12–23 (in Russ). <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-1-12-23>.]
- Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г. и др. Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа. *Медицинская визуализация.* 2024; 28(4): 133–41. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>. [Fomina SV, Zavadovskaya VD, Samoilova IG, et al. Possibilities of ultrasound elastography of peripheral nerves in children with type 1 diabetes mellitus. *Medical Visualization.* 2024; 28(4): 133–41 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>.]
- Senarai T, Pratipanawatr T, Yurasakpong L, et al. Cross-sectional area of the tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy patients: a systematic review and meta-analysis of ultrasonography studies. *Medicina.* 2022; 58(12): 1696. <https://doi.org/10.3390/medicina58121696>.
- Данилова М.Г., Салтыкова В.Г., Усенко Е.Е., Абоян И.А. Ультразвуковое исследование локтевого нерва у детей различных возрастных групп. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2019; 2: 61–79. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2019-2-61-79>. [Danilova MG, Saltykova VG, Usenko EE, Aboian IA. Ulnar nerve ultrasound in different age groups children. *Ultrasound & Functional Diagnostics.* 2019; 2: 61–79 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2019-2-61-79>.]
- Hatt M, Le Rest CC, Tixier F, et al. Radiomics: data are also images. *J Nucl Med.* 2019; 60(Suppl 2): 38S–44S.
- Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol.* 2017; 14(12): 749–62. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.141>.
- McCague C, Ramlee S, Reinius M, et al. Introduction to radiomics for a clinical audience. *Clin Radiol.* 2023; 78(2): 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.08.149>.
- Jiang H, Chen L, Zhao YJ, et al. machine learning-based ultrasonics for predicting subacromial impingement syndrome stages. *J Ultrasound Med.* 2022; 41(9): 2279–85. <https://doi.org/10.1002/jum.15914>.
- Jia Y, Yang J, Zhu Y, et al. Ultrasound-based radiomics: current status, challenges and future opportunities. *Med Ultrason.* 2022; 24(4): 451–60. <https://doi.org/10.11152/mu-3248>.
- Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging.* 2012; 30(9): 1323–41. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>.
- Van Griethuysen JJM, Fedorov A, Parmar C, et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype. *Cancer Res.* 2017; 77(21): e104–7. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-17-0339>.



Закономерности морфометрии магистральных артерий шеи с данными эхокардиографии

Халилов М.А.¹, Мошкин А.С.^{1,2}, Мошкина Л.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» Минобрнауки России, ул. Комсомольская, 95, Орел, 302026, Российская Федерация

² ООО «Хеликс Орел», ул. Максима Горького, 47, Орел, 302040, Российская Федерация

Халилов Максуд Абдуразакович, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» Минобрнауки России; <http://orcid.org/0000-0003-3529-0557>

Мошкин Андрей Сергеевич, канд. мед. наук, доцент кафедры анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» Минобрнауки России, врач ультразвуковой диагностики ООО «Хеликс Орел»; <http://orcid.org/0000-0003-2085-0718>

Мошкина Любовь Викторовна, ассистент кафедры анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» Минобрнауки России; <http://orcid.org/0009-0008-1328-1880>

Резюме

Цель: сравнить объективные результаты ультразвуковой визуализации магистральных артерий шеи с данными эхокардиографии, оценить корреляционные закономерности между морфологическими характеристиками структур.

Материал и методы. Обследованы 244 добровольца (не имевшие признаков значимых нарушений гемодинамики, оперативных вмешательств на сердце и изучаемых сосудах), которым выполнены ультразвуковая визуализация сонных артерий и эхокардиография. Все исследования проводились по единой методике с оценкой диаметров общей сонной артерии (ОСА), внутренней сонной артерии (ВСА), наружной сонной артерии (НСА), позвоночных артерий (ПА), а также комплексов «интима – медиа» (КИМ). Учитывались эхографические характеристики стенки аорты, аортального и митрального клапанов. Полученные данные группировались и подвергались статистическому анализу.

Результаты. Исходя из диагностических данных, полученных при эхокардиографии, было сформировано восемь групп: 1) с признаками изменений аорты; 2) с изменениями на уровне аорты и аортального клапана; 3) с изменениями аорты и митрального клапана; 4) с изменениями створок аортального и митрального клапанов; 5) без признаков изменения аорты, аортального и митрального клапанов; 6) с изменениями только аортального клапана; 7) с изменениями только митрального клапана; 8) с изменениями только на уровне аортального и митрального клапанов. При оценке различий между парами групп в случаях диагностики структурных изменений стенок аорты и клапанного аппарата сердца показатели отличались слабо, чаще для значений КИМ. Различия отмечены для диаметра ВСА при сравнении 1-й и 4-й групп. Морфометрические показатели ПА в случаях диагностированных изменений не имели существенных различий. Наибольший диаметр ОСА ($5,8 \pm 0,7$ мм) зарегистрирован в сочетании с изменениями стенки аорты и клапанов сердца. Наименьший диаметр ОСА ($5,0 \pm 0,3$ мм) зафиксирован в 6-й группе. Наибольший диаметр ВСА ($4,6 \pm 0,4$ мм) и НСА ($3,6 \pm 0,4$) отмечен для изменений створок митрального клапана. Наименьший диаметр ВСА ($4,1 \pm 0,4$ мм) наблюдался при изменениях только стенок аорты. Самые малые значения для диаметров НСА и ПА составили 2,8 мм в сочетании с изменениями только аортального клапана. Наиболее выраженными различиями характеризовались результаты сравнения данных при отсутствии значимых изменений стенок аорты и клапанов сердца для ОСА, ПА и КИМ НСА.

Заключение. Представленные результаты расширяют наше представление об индивидуальных особенностях магистральных артерий шеи, сопровождающих изменение стенок аорты и клапанного аппарата сердца.

Ключевые слова: магистральные артерии шеи; эхокардиография; ультразвуковая диагностика, морфологические характеристики.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» в рамках государственного задания № 075-00196-24-08 на 2024 г. и на плановый период 2025 и 2026 гг. от 23 августа 2024 г., проект № FSGN-2024-0014 (1024041900023-6-1.2.1;2.6.2;3.1.3;3.2.12;3.2.4).

Для цитирования: Халилов М.А., Мошкин А.С., Мошкина Л.В. Закономерности морфометрии магистральных артерий шеи с данными эхокардиографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(5): 255–261. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-255-261>

Для корреспонденции: Мошкин Андрей Сергеевич, e-mail: as.moshkin@internet.ru

Статья поступила 02.12.2024

После доработки 11.01.2025

Принята к печати 12.01.2025

Patterns of Neck Main Arteries Morphometry and Echocardiography Data

Maksud A. Khalilov¹, Andrey S. Moshkin^{1,2}, Lyubov V. Moshkina¹

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev,
ul. Komsomolskaya, 95, Orel, 302026, Russian Federation

² Helix Orel LLC,
ul. Maksima Gorkogo, 47, Orel, 302040, Russian Federation

Maksud A. Khalilov, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Orel State University named after I.S. Turgenev;
<http://orcid.org/0000-0003-3529-0557>

Andrey S. Moshkin, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Orel State University named after I.S. Turgenev; Ultrasound Diagnostician, Helix Orel LLC;
<http://orcid.org/0000-0003-2085-0718>

Lyubov V. Moshkina, Assistant Professor, Chair of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Orel State University named after I.S. Turgenev;
<http://orcid.org/0009-0008-1328-1880>

Abstract

Objective: to compare the objective results of ultrasound imaging of neck main arteries with echocardiography data, to assess the correlation patterns between the morphological characteristics of the structures.

Material and methods. A total of 244 volunteers (who had no signs of significant hemodynamic disorders, surgical interventions on the heart and studied vessels) were examined, who underwent ultrasound imaging of the carotid arteries and echocardiography. All studies were performed using a single technique with an assessment of the diameters of common carotid artery (CCA), internal carotid artery (ICA), external carotid artery (ECA), vertebral arteries (VA), as well as intima-media complex (IMC). The echographic characteristics of the aortic wall, aortic and mitral valves were considered. The data obtained were grouped and subjected to statistical analysis.

Results. Based on the diagnostic data obtained by echocardiography, eight groups were formed: (1) with signs of changes in the aorta; (2) with changes at the level of the aorta and aortic valve; (3) with changes in the aorta and mitral valve; (4) with changes in the aortic and mitral valves; (5) without signs of changes in the aorta, aortic and mitral valves; (6) with changes only in the aortic valve; (7) with changes only in the mitral valve; (8) with changes only at the level of the aortic and mitral valves. When assessing the differences between pairs of groups in cases of diagnosis of structural changes in the aortic walls and valvular heart apparatus, the indicators differed slightly, more often for IMC value. There were differences for ICA diameter when comparing Groups 1 and 4. Morphometric parameters of VA in cases of diagnosed changes did not reflect significant differences. The largest CCA diameter (5.8 ± 0.7 mm) was noted in combination with changes in the aortic wall and heart valves. The smallest CCA diameter (5.0 ± 0.3 mm) was in Group 6. The largest ICA (4.6 ± 0.4 mm) and ECA (3.6 ± 0.4 mm) diameters were with changes in the mitral valve. The smallest ICA diameter (4.1 ± 0.4 mm) was observed with changes only in the aortic walls. The smallest values for ECA and VA diameters were 2.8 mm, combined with changes in the aortic valve only. The most pronounced differences were obtained when comparing data in the absence of significant changes in the aortic walls and heart valves for CCA, VA, and ECA IMC.

Conclusion. The presented results expand our understanding of the individual features of neck main arteries, accompanying changes in the aortic walls and valvular apparatus of the heart.

Keywords: main arteries of the neck; echocardiography; ultrasound diagnostics; morphological characteristics.

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

Funding. The work was performed at the Orel State University named after I.S. Turgenev within the framework of state assignment No. 075-00196-24-08 for 2024 and for the planning period 2025 and 2026 dated August 23, 2024, project No. FSGN-2024-0014 (1024041900023-6-1.2.1;2.6.2;3.1.3;3.2.12;3.2.4).

For citation: Khalilov MA, Moshkin AS, Moshkina LV. Patterns of neck main arteries morphometry and echocardiography data. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(5): 255–261 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-255-261>

For corresponding: Andrey S. Moshkin, e-mail: as.moshkin@internet.ru

Received December 2, 2024

Revised January 11, 2025

Accepted January 12, 2025

Введение / Introduction

Патологии сердечно-сосудистой системы традиционно занимают ведущее место в структуре заболеваемости и смертности в развитых странах. Данные нарушения имеют различные этиологические причины [1, 2], но неизбежно доминируют в старшей группе населения [3, 4]. Высокотехнологические методы лечения позволяют в ранние сроки проводить лечебные и профилактические мероприятия, увеличивая продолжительность жизни пациентов [5–7].

Многие исследователи обращают внимание на корреляцию заболеваний сердца и магистральных артерий [8, 9]. Атеросклеротические изменения, выявляемые на уровне сонных артерий, служат важным прогностическим фактором при оценке риска нарушений церебрального и коронарного кровообращения [10, 11]. В работе D. Bos et al. описано исследование, в котором приняли участие 1349 человек, находившиеся под наблюдением в течение 5 лет для уточнения значения диагностики атеросклеротических изменений на уровне сонных артерий в прогнозе развития инсультов и ишемической болезни сердца [10].

Одним из наиболее эффективных и доступных методов диагностики патологии сосудов и сердца на амбулаторном этапе наблюдения является ультразвуковая визуализация [11, 12]. Она позволяет оценивать структуру стенок магистральных сосудов, выраженность гемодинамических изменений в случаях сосудистых аномалий и атеросклеротических изменений. Эхокардиография – информативный метод оценки структуры миокарда и клапанного аппарата, который дает возможность проанализировать его сократительную функцию. В частности, публикация D. Momcilovic et al. демонстрирует влияние врожденных пороков развития сердца на морфологическое и функциональное состояние магистральных артерий с использованием инструментов современной ультразвуковой диагностики [13].

Следует обратить внимание, что изменение образа жизни, расширение доступности медицинской помощи и современные технологии позволяют развивать персонализированные методы профилактики [12–15] на основе совершенствования инструментов прогнозирования риска сердечно-сосудистых заболеваний [16, 17]. Изучение роли индивидуальной изменчивости и вариантов течения заболеваний в сочетании с анализом со-

путствующих биохимических показателей создает условия для успешного развития персонализированных методов терапии [18–21] и хирургических вмешательств [2, 5, 22].

Цель – сравнить объективные результаты ультразвуковой визуализации магистральных артерий шеи с данными эхокардиографии, оценить корреляционные закономерности между морфологическими характеристиками структур.

Материал и методы / Material and methods

Проведен ретроспективный анализ данных обследования 244 добровольцев, которым была выполнена ультразвуковая визуализация сонных артерий и эхокардиография. Средний возраст участников составил $59,1 \pm 10,3$ года (от 26 до 88 лет).

В работе использованы данные пациентов без признаков значимых гемодинамических изменений, проходивших профилактическое обследование (79 участников, 32,4%) или находящихся на лечении у кардиолога по поводу гипертонической болезни и/или нарушений сердечного ритма (165 человек, 67,6%) в период с 2021 по 2024 гг. В наблюдении не участвовали пациенты, перенесшие любые оперативные вмешательства на сердце и/или изучаемых сосудах, перенесшие инфаркт миокарда, тромбоэмболию легочной артерии.

Визуализацию выполняли с использованием ультразвуковых диагностических систем SonoAce R7 (Samsung, Южная Корея) и GE Logiq F6 (General Electric, США), оснащенных линейными и секторальными трансдюсерами, необходимыми для проведения процедур программными опциями. Все исследования проводили по единой методике с оценкой диаметров общей сонной артерии (ОСА), внутренней сонной артерии (ВСА), наружной сонной артерии (НСА), позвоночных артерий (ПА), а также комплексов «интима – медиа» (КИМ), эхографических характеристик стенки аорты, аортального и митрального клапанов.

Полученные данные объединяли и группировали в электронных таблицах Excel 2007 (Microsoft, США), а затем подвергали статистическому анализу с использованием средств SPSS Statistics 20 (IBM, США).

Формирование групп происходило на основе диагностики следующих признаков при эхокардиографии:

- 1) наличие изменений аорты (усиление эхогенности, кальцификация стенок);
- 2) наличие изменений аорты и аортального клапана (усиление эхогенности, утолщение створок, кальцификация);
- 3) наличие изменений аорты и митрального клапана;
- 4) наличие изменений стенки аорты, створок аортального и митрального клапанов;
- 5) отсутствие изменений аорты, аортального и митрального клапанов;
- 6) наличие изменений только аортального клапана;
- 7) наличие изменений только митрального клапана;
- 8) наличие изменений только аортального и митрального клапанов.

Результаты / Results

В результате анализа полученных данных во всех группах отмечены признаки нормального статистического распределения изучаемых морфометрических показателей.

Общие сведения о распределении участников с различными изменениями по данным эхокардиографии отражены в таблице 1. Результаты измерений на уровне магистральных артерий шеи представлены в таблице 2.

Учитывая малое количество участников в 6–8-й группах, оценка статистической значимости (р) была выполнена для сравнения пар 1–5-й групп с расчетом t-критерия Стьюдента. Результаты приведены в таблице 3.

Обсуждение / Discussion

В проведенной нами работе наибольшая толщина КИМ и диаметр ОСА (5,8 мм) отмечены в 4-й

группе (с признаками изменений аорты и клапанов сердца). Наименьший диаметр ОСА (5,0 мм) зарегистрирован в 6-й группе (изменения только створок аортального клапана). Наибольшая толщина КИМ и диаметр ВСА (4,6 мм) наблюдались в 7-й группе (изменения створок митрального клапана). В этой же группе выявлен наибольший средний диаметр НСА (3,6 мм). Наименьший диаметр ВСА (4,1 мм) зафиксирован в 1-й группе (изменения стенок аорты). Самые малые значения для диаметра НСА (2,8 мм) были определены в 6-й группе вместе с наименьшим средним показателем диаметра ПА.

При оценке статистической значимости различий между парами групп в случаях диагностики структурных изменений стенок аорты и клапанного аппарата сердца показатели отличались слабо, чаще для значений КИМ. Статистически значимые различия наблюдались для диаметра ВСА при сравнении 1-й и 4-й групп. При сравнении морфометрических показателей на уровне ПА в случаях диагностированных изменений существенных различий при сравнении групп не отмечено.

Ожидается, что более выраженные различия зафиксированы при сравнении результатов других групп с 5-й группой наблюдения (без выраженных изменений стенки аорты и клапанов сердца). В данном случае наблюдалось множество закономерных различий. Исключение составляет результат сравнения между 2-й и 5-й группами для диаметра ОСА. Обращает на себя внимание отсутствие значимых различий между результатами для ВСА при сравнении всех групп с 5-й, кроме КИМ (значимые различия для пары групп 4–5). На уровне НСА статистически значимые различия выявлены для показателя КИМ во всех случаях сравнения с 5-й группой, а для диаметра – только при

Таблица 1

Общие сведения о распределении участников с различными изменениями по данным эхокардиографии

Table 1

General information about the distribution of participants with various changes according to echocardiography data

Группа / Group	Изменения / Changes	Количество случаев, n / Number of cases, n
1	Аорта / Aorta	39
2	Аорта и аортальный клапан / Aorta and aortic valve	21
3	Аорта и митральный клапан / Aorta and mitral valve	38
4	Аорта, аортальный и митральный клапаны / Aorta, aortic and mitral valves	71
5	Нет изменений аорты, аортального и митрального клапанов / No changes in aorta, aortic and mitral valves	62
6	Аортальный клапан / Aortic valve	2
7	Митральный клапан / Mitral valve	8
8	Аортальный и митральный клапаны / Aortic and mitral valves	3

Таблица 2

Результаты оценки морфометрических показателей на уровне магистральных артерий шеи, мм

Table 2

Assessment of morphometric parameters at the level of main arteries of the neck, mm

Группа / Group	Сосуд / Vessel							
	ОСА / CCA		ВСА / ICA		НСА / ECA		ПА / VA	
	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC
1	5,7±0,5	1,2±0,3	4,1±0,4	0,8±0,2	3,4±0,3	0,7±0,2	3,2±0,5	0,5±0,1
2	5,7±0,6	1,1±0,3	4,3±0,4	0,8±0,2	3,4±0,4	0,7±0,2	3,1±0,5	0,5±0,1
3	5,7±0,5	1,1±0,2	4,2±0,4	0,8±0,2	3,3±0,3	0,7±0,1	3,2±0,4	0,5±0,1
4	5,8±0,7	1,3±0,3	4,3±0,5	0,9±0,3	3,4±0,4	0,7±0,2	3,3±0,5	0,5±0,1
5	5,5±0,6	1,0±0,2	4,2±0,5	0,7±0,2	3,2±0,4	0,6±0,1	3,0±0,4	0,5±0,1
6	5,0±0,3	0,9±0,2	4,5±0,2	0,5±0,1	2,8±0,3	0,6±0,0	2,8±0,4	0,3±0,1
7	5,7±0,5	1,1±0,1	4,6±0,4	0,9±0,2	3,6±0,4	0,7±0,1	3,3±0,5	0,5±0,1
8	5,1±0,4	0,8±0,2	3,9±0,2	0,6±0,1	3,2±0,4	0,6±0,1	3,0±0,3	0,5±0,1

Примечание. ОСА – общая сонная артерия; ВСА – внутренняя сонная артерия; НСА – наружная сонная артерия; ПА – позвоночные артерии; КИМ – комплекс «интима – медиа».

Note. CCA – common carotid artery; ICA – internal carotid artery; ECA – external carotid artery; VA – vertebral arteries; IMC – intima-media complex.

Таблица 3

Значимость различий (p) при расчете t-критерия Стьюдента для пар 1–5-й групп

Table 3

Significance of differences (p) by Student's t-test for pairs of Groups 1–5

Группа / Group	Сосуд / Vessel							
	ОСА / CCA		ВСА / ICA		НСА / ECA		ПА / VA	
	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC	Диаметр / Diameter	КИМ / IMC
1–2	0,930	0,234	0,157	0,981	0,564	0,150	0,327	0,907
1–3	0,941	0,086	0,203	0,758	0,890	0,043*	0,766	0,926
1–4	0,190	0,063	0,050*	0,005*	0,854	0,692	0,617	0,870
1–5	0,030*	0,001*	0,724	0,178	0,086	0,001*	0,011*	0,003*
2–3	0,974	0,949	0,733	0,784	0,497	0,898	0,417	0,427
2–4	0,353	0,006*	0,847	0,030*	0,693	0,147	0,293	0,792
2–5	0,070	0,003*	0,358	0,283	0,059	0,003*	0,318	0,010*
3–4	0,205	0,001*	0,537	0,002*	0,754	0,038*	0,471	0,951
3–5	0,020*	0,001*	0,424	0,308	0,119	0,001*	0,020*	0,003*
4–5	0,001*	0,001*	0,130	0,001*	0,046*	0,001*	0,009*	0,001*

Примечание. * Статистически значимые различия.

Note. * Statistically significant differences.

сравнении 4-й и 5-й групп. Значимыми оказались различия показателей морфометрии на уровне ПА, схожие с результатами для ОСА (не существенны различия диаметра при сравнении 2-й и 5-й групп).

Полученные данные отражают индивидуальные особенности развития изменений сосудистых стенок магистральных артерий шеи. Особенно интересны эти процессы в сочетании со структур-

ными изменениями аорты и клапанного аппарата сердца (аортального и митрального клапанов).

Заключение / Conclusion

Наибольший диаметр ОСА $5,8 \pm 0,7$ мм отмечен в сочетании с изменениями стенки аорты и клапанов сердца. Наименьший диаметр ОСА ($5,0 \pm 0,3$ мм) выявлен в 6-й группе. Наибольшие диаметры ВСА ($4,6 \pm 0,4$ мм) и НСА ($3,6 \pm 0,4$) зарегистрированы при изменениях створок митрального клапана. Наименьший диаметр ВСА ($4,1 \pm 0,4$ мм) наблюдался при изменениях только стенок аорты.

Литература

- Mahendiran T, Collet C, De Bruyne B. Coronary-artery autoregulation with increasing stenosis. *N Engl J Med*. 2024; 390(21): 2030–2. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2402216>.
- Limanto DH, Chang HW, Kim DJ, et al. Coronary artery size as a predictor of Y-graft patency following coronary artery bypass surgery. *Medicine*. 2021; 100(2): e24063. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000024063>.
- Baibhav B, Gedela M, Moulton M, et al. Role of invasive functional assessment in surgical revascularization of coronary artery disease. *Circulation*. 2018; 137(16): 1731–9. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.031182>.
- Jovin DG, Katlaps GJ, Sumption KF. Coronary artery bypass graft markers: history, usage, and effects. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2020; 68(5): 453–8. <https://doi.org/10.1007/s11748-020-01325-2>.
- Teman NR, Hawkins RB, Charles EJ, et al. Investigators for the Virginia Cardiac Services Quality Initiative. Minimally invasive vs open coronary surgery: a multi-institutional analysis of cost and outcomes. *Ann Thorac Surg*. 2021; 111(5): 1478–84. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.06.136>.
- Jahangiri M, Mani K, Nowell J. Does minimally invasive coronary artery surgery have prognostic and cost benefits? *Ann Thorac Surg*. 2022; 114(2): 609–10. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2021.06.050>.
- Razavi AC, Raggi P, Whelton SP. Coronary artery calcium: the canary in the coal mine. *Atherosclerosis*. 2024; 392: 117499. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2024.117499>.
- Хасанов А.Х., Давлетшин Р.А., Карамова И.М. и др. Гендерные особенности раннего стенозирующего поражения коронарных артерий у больных высокого риска с наличием мультифокального атеросклероза. *Евразийский кардиологический журнал*. 2018; 4: 52–63. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2018-4-52-63>.
- Сагатеян А.А., Константинова Е.В., Богданова А.А. и др. Особенности атеросклероза сонных артерий у пациентов старческого возраста с острым коронарным синдромом. *Медицинский алфавит*. 2022; 20: 43–7. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-20-43-47>.
- Bos D, Arshi B, van den Bouwhuijsen QJA, et al. Atherosclerotic carotid plaque composition and incident stroke and coronary events. *J Am Coll Cardiol*. 2021; 77(11): 1426–35. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.01.038>.
- Garg PK, Bhatia HS, Allen TS, et al. Assessment of subclinical atherosclerosis in asymptomatic people in vivo: measurements suitable for biomarker and Mendelian randomization studies. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2024; 44(1): 24–47. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.123.320138>.
- Мошкин А.С., Халилов М.А., Николенко В.Н., Мошкина Л.В. Влияние взаимного положения экстракраниальных артерий на церебральную гемодинамику. *Анатомия в XXI веке – традиция и современность*. В кн.: Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 120-летию профессора М.Г. Привеса и 125-летию кафедры клинической анатомии и оперативной хирургии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, Санкт-Петербург, 16–18 мая 2024 г. Воронеж: Научная книга; 2024: 161–3.
- Momcilovic D, Begrich C, Stumpf MJ, et al. Preclinical atherosclerotic burden in carotid and lower extremity arteries in adults with congenital heart disease. *Vasa*. 2023; 52(4): 257–63. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a001073>.
- Николенко В.Н., Мошкин А.С., Халилов М.А. и др. Оценка гемодинамических показателей на основе результатов ультразвуковой доплерографии при различных вариантах положения сосудов в области бифуркации общих сонных артерий. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2024; 23(2): 15–23. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-2-15-23>.
- Мошкин А.С., Халилов М.А., Шмелева С.В. и др. Организация персонализированного лечения заболеваний сонных артерий с учетом анализа вариантов бифуркации. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2021; 29(4): 951–6. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2021-29-4-951-956>.
- Schwarzman LS, Griza DS, Frazin LJ, et al. Coronary artery radial deformation and velocity in native and stented arteries. *J Interv Cardiol*. 2022; 2022: 5981027. <https://doi.org/10.1155/2022/5981027>.
- Ilhe-Hansen H, Vigen T, Berge T, et al. Carotid plaque score for stroke and cardiovascular risk prediction in a middle-aged cohort from the general population. *J Am Heart Assoc*. 2023; 12(17): e030739. <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.030739>.
- Варавин Н.А., Харитонов М.А., Тарасов В.А. Дисфункция сердца и особенности ремоделирования сосудистой стенки у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких. *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2020; 39(15): 26–9.
- Андреева И.В., Григорьева А.С., Калинина Н.В. Тканевые биомаркеры раннего сосудистого старения. *Digital Diagnostics*. 2021; 2(2S): 8–9. <https://doi.org/10.17816/DD83173>.
- Мешков А.Н., Ершова А.И., Шальнова С.А. и др. Кросс-секционное исследование по оценке распространенности семейной гиперхолестеринемии в отдельных регионах Российской Федерации: актуальность, дизайн исследования и исходные

характеристики участников. Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2020; 16(1): 24–32.
<https://doi.org/10.20996/1819-6446-2020-02-17>.

21. Канорский С.Г., Мамедов М.Н. Реваскуляризация коронарных и периферических артерий при сахарном диабете: взгляд кардиолога. Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний. 2021; 9(31): 4–13.

References

1. Mahendiran T, Collet C, De Bruyne B. Coronary-artery autoregulation with increasing stenosis. *N Engl J Med*. 2024; 390(21): 2030–2. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2402216>.
2. Limanto DH, Chang HW, Kim DJ, et al. Coronary artery size as a predictor of Y-graft patency following coronary artery bypass surgery. *Medicine*. 2021; 100(2): e24063. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000024063>.
3. Baibhav B, Gedela M, Moulton M, et al. Role of invasive functional assessment in surgical revascularization of coronary artery disease. *Circulation*. 2018; 137(16): 1731–9. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.031182>.
4. Jovin DG, Katlaps GJ, Sumption KF. Coronary artery bypass graft markers: history, usage, and effects. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2020; 68(5): 453–8. <https://doi.org/10.1007/s11748-020-01325-2>.
5. Teman NR, Hawkins RB, Charles EJ, et al. Investigators for the Virginia Cardiac Services Quality Initiative. Minimally invasive vs open coronary surgery: a multi-institutional analysis of cost and outcomes. *Ann Thorac Surg*. 2021; 111(5): 1478–84. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.06.136>.
6. Jahangiri M, Mani K, Nowell J. Does minimally invasive coronary artery surgery have prognostic and cost benefits? *Ann Thorac Surg*. 2022; 114(2): 609–10. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2021.06.050>.
7. Razavi AC, Raggi P, Whelton SP. Coronary artery calcium: the canary in the coal mine. *Atherosclerosis*. 2024; 392: 117499. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2024.117499>.
8. Khasanov AKh, Davletshin RA, Karamova IM, et al. Gender features of early stenotic lesions of coronary arteries in high-risk patients with the presence of multifocal atherosclerosis. *Eurasian Heart Journal*. 2018; 4: 52–63 (in Russ). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2018-4-52-63>.
9. Sagatelyan AA, Konstantinova EV, Bogdanova AA, et al. Features of atherosclerosis of the carotid arteries in elderly patients with acute coronary syndrome. *Medical Alphabet*. 2022; 20: 43–7 (in Russ). <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-20-43-47>.
10. Bos D, Arshi B, van den Bouwhuijsen QJA, et al. Atherosclerotic carotid plaque composition and incident stroke and coronary events. *J Am Coll Cardiol*. 2021; 77(11): 1426–35. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.01.038>.
11. Garg PK, Bhatia HS, Allen TS, et al. Assessment of subclinical atherosclerosis in asymptomatic people in vivo: measurements suitable for biomarker and Mendelian randomization studies. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2024; 44(1): 24–47. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.123.320138>.
12. Moshkin AS, Khalilov MA, Nikolenko VN, Moshkina LV. Effect of the relative position of extracranial arteries on cerebral hemodynamics. Anatomy in the 21st century: tradition and modernity. In: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference dedicated to the 120th anniversary of Professor M.G. Prives and the 125th anniversary of the Department of Clinical Anatomy and Operative Surgery of the First Pavlov Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, May 16–18, 2024. Voronezh: Nauchnaya kniga; 2024: 161–3 (in Russ).
13. Momcilovic D, Begrich C, Stumpf MJ, et al. Preclinical atherosclerotic burden in carotid and lower extremity arteries in adults with congenital heart disease. *Vasa*. 2023; 52(4): 257–63. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a001073>.
14. Nikolenko VN, Moshkin AS, Khalilov MA, et al. Assessment of hemodynamic parameters based on the results of ultrasound Dopplerography in different variants of the position of vessels in the area of bifurcation of the common carotid arteries. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2024; 23(2): 15–23 (in Russ). <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-2-15-23>.
15. Moshkin AS, Khalilov MA, Shmeleva SV, et al. The organization or personified treatment of diseases of coronary arteries considering analysis of bifurcation modifications. *Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine*. 2021; 29(4): 951–6 (in Russ). <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2021-29-4-951-956>.
16. Schwarzman LS, Griza DS, Frazin LJ, et al. Coronary artery radial deformation and velocity in native and stented arteries. *J Interv Cardiol*. 2022; 2022: 5981027. <https://doi.org/10.1155/2022/5981027>.
17. Ihle-Hansen H, Vigen T, Berge T, et al. Carotid plaque score for stroke and cardiovascular risk prediction in a middle-aged cohort from the general population. *J Am Heart Assoc*. 2023; 12(17): e030739. <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.030739>.
18. Varavin NA, Kharitonov MA, Tarasov VA. Heart dysfunction and features of vascular wall remodeling in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2020; 39(1S): 26–9 (in Russ).
19. Andreeva IV, Grigorev AS, Kalina NV. Tissue biomarkers of early vascular aging. *Digital Diagnostics*. 2021; 2(2S): 8–9 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/DD83173>.
20. Meshkov AN, Ershova AI, Shalnova SA, et al. Cross-sectional study to estimate the prevalence of familial hypercholesterolemia in selected regions of the Russian Federation: relevance, design of the study and initial characteristics of the participants. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2020; 16(1): 24–32 (in Russ). <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2020-02-17>.
21. Kanorsky SG, Mammadov MN. Coronary and peripheral arteries revascularization in patients with diabetes mellitus: a cardiologist's view. *International Heart and Vascular Disease Journal*. 2021; 9(31): 4–13 (in Russ). <https://doi.org/10.24412/2311-1623-2021-31-4-13>.
22. Fortier JH, Ferrari G, Glineur D, et al. Implications of coronary artery bypass grafting and percutaneous coronary intervention on disease progression and the resulting changes to the physiology and pathology of the native coronary arteries. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2018; 54(5): 809–16. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy171>.



Характерные рентгенологические признаки опухолевых и опухолеподобных поражений костной ткани челюстно-лицевой области

Малия Х.И.¹, Бурова И.В.^{1,2}, Литвиненко Е.А.¹,
Гогуа М.Г.³, Семочкин М.Н.⁴, Соловьева Е.Р.⁵,
Барышникова Д.В.¹, Курильчик С.А.¹

¹ ГБУЗ «Краевая клиническая больница № 2» Минздрава Краснодарского края,
ул. Красных Партизан, 6/2, Краснодар, 350012, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России,
ул. Митрофана Седина, 4, Краснодар, 350063, Российская Федерация

³ ГБУЗ «Краевая клиническая больница скорой медицинской помощи» Минздрава Краснодарского края,
ул. 40-летия Победы, 14, Краснодар, 350042, Российская Федерация

⁴ ГБУЗ «Детская краевая клиническая больница» Минздрава Краснодарского края
пл. Победы, 1, Краснодар, 350007, Российская Федерация

⁵ ООО «Детский центр здоровья Кидс Мед»,
ул. Российская, 72/1, корп. 2, Краснодар, 350901, Российская Федерация

Малия Хамида Игоревна, врач-рентгенолог ГБУЗ «Краевая клиническая больница № 2» Минздрава Краснодарского края;
<http://orcid.org/0009-0001-2655-0938>

Бурова Илона Вячеславовна, врач-рентгенолог ГБУЗ «Краевая клиническая больница № 2» Минздрава Краснодарского края, ассистент кафедры лучевой диагностики № 2 ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-9787-8914>

Литвиненко Елена Александровна, канд. мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики ГБУЗ «Краевая клиническая больница № 2» Минздрава Краснодарского края;
<http://orcid.org/0000-0001-7764-4267>

Гогуа Малхаз Гурамович, врач-хирург ГБУЗ «Краевая клиническая больница скорой медицинской помощи» Минздрава Краснодарского края

Семочкин Максим Николаевич, врач-рентгенолог ГБУЗ «Детская краевая клиническая больница» Минздрава Краснодарского края

Соловьева Екатерина Роландовна, врач-педиатр, аллерголог и иммунолог ООО «Детский центр здоровья Кидс Мед»

Барышникова Дарья Владимировна, врач-рентгенолог ГБУЗ «Краевая клиническая больница № 2» Минздрава Краснодарского края

Курильчик Светлана Алексеевна, врач-рентгенолог ГБУЗ «Краевая клиническая больница № 2» Минздрава Краснодарского края

Резюме

В статье рассматриваются характерные рентгенологические признаки опухолевых и опухолеподобных новообразований костей челюстно-лицевой области, их отличия и особенности диагностики. Проведен обзор методов лучевой диагностики, применяемых для оценки структуры и степени поражения костной ткани. Показаны критерии, которые позволяют отличать злокачественные процессы от доброкачественных и опухолеподобных образований. Представленный материал полезен для повышения точности диагностики и выбора оптимальной тактики лечения в клинической практике.

Ключевые слова: опухолеподобные новообразования; челюстно-лицевая область; компьютерная томография; костные опухоли; дифференциальная диагностика; одонтогенное поражение; обзор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Малия Х.И., Бурова И.В., Литвиненко Е.А., Гогуа М.Г., Семочкин М.Н., Соловьева Е.Р., Барышникова Д.В., Курильчик С.А. Характерные рентгенологические признаки опухолевых и опухолеподобных поражений костной ткани челюстно-лицевой области. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(5): 262–281. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-262-281>

Для корреспонденции: Бурова Илона Вячеславовна, E-mail: Ilona-bu@mail.ru

Статья поступила 13.11.2024

После доработки 25.12.2024

Принята к печати 16.01.2025

Characteristic Radiological Signs of Tumor and Tumor-Like Lesions of Maxillofacial Bone Tissue

Khamida I. Maliya¹, Ilona V. Burova^{1,2}, Elena A. Litvinenko¹, Malkhaz G. Gogua³, M.N. Semochkin⁴, Ekaterina R. Solovyeva⁵, Daria V. Baryshnikova¹, Svetlana A. Kurilchik¹

¹ Regional Clinical Hospital No. 2,
ul. Krasnykh Partizan, 6/2, Krasnodar, 350012, Russian Federation

² Kuban State Medical University,
ul. Mitrofana Sedina, 4, Krasnodar, 350063, Russian Federation

³ Regional Clinical Hospital for Emergency Medical Care,
ul. 40-letiya Pobedy, 14, Krasnodar, 350042, Russian Federation

⁴ Children's Regional Clinical Hospital,
pl. Pobedy, 1, Krasnodar, 350007, Russian Federation

⁵ Kids Med Children's Health Center,
ul. Rossiyskaya, 72/1, korp. 2, Krasnodar, 350901, Russian Federation

Khamida I. Maliya, Radiologist, Regional Clinical Hospital No. 2;
<http://orcid.org/0009-0001-2655-0938>

Ilona V. Burova, Radiologist, Regional Clinical Hospital No. 2; Assistant Professor, Chair of Radiation Diagnostics, Kuban State Medical University;
<http://orcid.org/0000-0002-9787-8914>

Elena A. Litvinenko, Cand. Med. Sc., Head of Department of Radiation Diagnostics, Regional Clinical Hospital No. 2;
<http://orcid.org/0000-0001-7764-4267>

Malkhaz G. Gogua, Surgeon, Regional Clinical Hospital for Emergency Medical Care

Maksim N. Semochkin, Radiologist, Children's Regional Clinical Hospital

Ekaterina R. Solovyeva, Pediatrician, Allergist and Immunologist, Kids Med Children's Health Center

Daria V. Baryshnikova, Radiologist, Regional Clinical Hospital No. 2

Svetlana A. Kurilchik, Radiologist, Regional Clinical Hospital No. 2

Abstract

This article reviews the characteristic radiological signs of tumor and tumor-like neoplasms of maxillofacial bones, their differences and diagnostic features. An overview of the methods of radiation diagnostics used to assess the structure and extent of bone tissue damage is given. The criteria that make it possible to distinguish malignant processes from benign and tumor-like formations are shown. The presented material is useful for improving the accuracy of diagnosis and choosing the optimal treatment tactics in clinical practice.

Keywords: tumor-like neoplasms; maxillofacial region; computed tomography; bone tumors; differential diagnosis; odontogenic lesion; review.

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

For citation: Maliya Khl, Burova IV, Litvinenko EA, Gogua MG, Semochkin MN, Solovyeva ER, Baryshnikova DV, Kurilchik SA. Characteristic radiological signs of tumor and tumor-like lesions of maxillofacial bone tissue. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(5): 262–281 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-262-281>

For corresponding: Ilona V. Burova, E-mail: Ilona-bu@mail.ru

Received November 13, 2024

Revised December 25, 2024

Accepted January 16, 2025

Введение / Introduction

Патология челюстей включает широкий спектр новообразований различного гистогенеза. Некоторые опухоли имеют малую клиническую значимость и требуют лишь динамического наблюдения или ограниченного хирургического вмешательства. В то же время другие новообразования обладают высокой агрессивностью, и пациентам необходима мультимодальная терапия, включающая об-

ширные хирургические резекции и, в ряде случаев, комплексное лечение с использованием лучевой терапии и химиотерапии.

На фоне роста встречаемости челюстно-лицевых поражений особую значимость приобретает дифференциальная диагностика доброкачественных новообразований, злокачественных опухолей, опухолеподобных и воспалительных процессов. Применение современных методов трехмерных

преобразований существенно облегчает визуализацию поражений, однако для постановки точного диагноза и назначения эффективного лечения требуется комплексный клинико-лучевой анализ.

В данной статье представлены описания наиболее частых опухолей и опухолеподобных поражений костей челюстно-лицевой области, акцентируется внимание на их рентгенологических характеристиках и дифференциально-диагностических признаках.

Методы рентгенологической диагностики / Methods of X-ray diagnostics

Ортопантомография (ОПТГ)

Преимущества:

- возможность получения общего изображения всего зубного ряда, верхнечелюстных пазух и височно-нижнечелюстных суставов на одном снимке;
- доступность, экономичность;
- низкая лучевая нагрузка.

Недостатки:

- геометрические искажения, наложения анатомических структур;
- двухмерный снимок (плоское суммационное изображение объекта).

Компьютерная томография (КТ)

Преимущества [1]:

- возможность получения многоплоскостных реформаций (МПР) и трехмерных преобразований;
- большая зона сканирования, позволяющая получить данные о смежных анатомических областях;
- возможность оценки мягкотканых структур и уточнения денситометрических показателей измененных участков.

Недостатки:

- снижение диагностической возможности при наличии артефактов от структур с высоким коэффициентом поглощения (имплантаты, металлические коронки и протезы);
- высокая доза облучения (обычно больше 500 мкЗв);
- выполнение исследования только в положении пациента лежа.

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ)

Преимущества [2]:

- высокое разрешение и качество изображения при детализации мелких структур (размеры вокселей могут варьироваться в диапазоне от 0,4 до 0,16 мм, что превышает характеристики КТ);
- возможность получения трехмерного изображения;

– возможность получения как панорамной реконструкции, так и изображения отдельного сегмента челюсти;

– более низкая доза лучевой нагрузки в сравнении с КТ (обычно менее 500 мкЗв);

– наличие программ подавления сигнала от металлических вкладок и коронок;

– выполнение исследования сидя или стоя.

Недостатки:

- меньшая тканевая разрешающая способность;
- меньшие возможности для дифференцировки между твердыми и мягкими тканями.

Классификация / Classification

В таблице 1 приведена классификация первичных опухолей и опухолеподобных образований челюстных костей И.И. Ермолаева и А.А. Колесова [3].

Кисты

Среди опухолеподобных образований челюстей кисты составляют значительную часть. Челюстные кости являются частым местом их локализации, что объясняется обилием эмбриональных эпителиальных остатков в этой области. Такие фрагменты эпителия сохраняются либо в местах слияния лицевых эмбриональных отростков (фиссуральные кисты), либо в результате процесса одонтогенеза, образуя одонтогенные кисты.

Радикулярная (периодонтальная) киста (рис. 1) имеет одонтогенную природу, воспалительный характер, развивается вокруг корневой части зуба в результате некротических изменений тканей пульпы. Рентгенологическая картина: очаг деструкции округлой формы с четкими и ровными контурами (в случаях без нагноения), с центрально расположенной апикальной частью корня нежизнеспособного зуба (депульпированного либо пораженного глубоким кариесом). Обычно киста не содержит плотных включений, за исключением возможного наличия пломбировочного материала, выведенного за пределы корневого канала. По мере роста кисты наблюдается компрессионное ремоделирование окружающих тканей, что приводит к их адаптивной деформации. При нагноении киста теряет четкость контуров, может провоцировать деструкцию окружающих тканей и вызывать резорбцию корневой части зуба.

Зубная (фолликулярная) киста (рис. 2) – одонтогенное кистозное образование, которое связано с непрорезавшимся зубом. Некоторые специалисты считают термин «фолликулярная» недостаточно точным, поскольку образование формируется не из фолликула, а из эпителиальных остатков, окружающих коронку уже сформировавшегося зуба. Также термин «зубосодержащая киста» не

Таблица 1

Классификация первичных опухолей и опухолеподобных образований челюстных костей И.И. Ермолаева и А.А. Колесова [3]

Table 1

I.I. Ermolaev and A.A. Kolesov classification of maxillofacial primary tumors and tumor-like neoplasms [3]

Опухоли / Tumors		Опухолеподобные образования / Tumor-like neoplasms
Доброкачественные / Benign	Злокачественные / Malignant	
Одонтогенные / Odontogenic		
– Амелобластома / Ameloblastoma – Кератокистозная одонтогенная опухоль / Keratocystic odontogenic tumor – Кальцифицирующая одонтогенная опухоль / Calcifying odontogenic tumor – Аденоматоидная одонтогенная опухоль / Adenomatoid odontogenic tumor – Цементобластома / Cementoblastoma	Злокачественная амелобластома / Malignant ameloblastoma	– Радикулярная киста (кистогранулема) / Radicular cyst (cyst granuloma) – Зубная (фолликулярная) киста / Dental (follicular) cyst – Одонтома / Odontoma
Остеогенные / Osteogenic		
– Остеобластома / Osteoblastoma – Остеобластокластома / Osteoblastoclastoma – Остеома / Osteoma – Остоид-остеома / Osteoid-osteoma – Остеохондрома / Osteochondroma	– Остеосаркома / Osteosarcoma – Хондросаркома / Chondrosarcoma	– Фиброзная дисплазия, херувизм / Fibrous dysplasia, cherubism – Деформирующий остеит (болезнь Педжета) / Deforming osteitis (Paget's disease) – Цементно-оссифицирующая фиброма / Cement-ossifying fibroma – Цементно-костная дисплазия / Cemento-osseous dysplasia – Центральная гигантоклеточная гранулема / Central giant cell granuloma – Идиопатический остеосклероз / Idiopathic osteosclerosis
Неодонтогенные и неостеогенные / Non-ontogenic and non-osteogenic		
– Миксома / Mixoma – Фиброма / Fibroma – Гемангиома / Hemangioma – Неврилемма / Neurilemma	– Миксосаркома / Mixosarcoma – Фибросаркома / Fibrosarcoma – Гемангиосаркома / Hemangiosarcoma – Саркома Юинга / Ewing sarcoma – Ретикулярная саркома / Reticular sarcoma – Миелома / Myeloma	– Киста носонёбного канала / Nasopalatine canal cyst – Глобуломаксиллярная киста / Globulomaxillary cyst – Аневризматическая костная киста / Aneurysmal bone cyst – Простая костная киста / Simple bone cyst

является корректным, так как в полости кисты обычно располагается только коронка, тогда как корень остается в интактной кости. Наиболее распространенная локализация – ветвь нижней челюсти в зоне третьего моляра, отмечается частое возникновение в подростковом возрасте. Рентгенологическая картина: овальное рентгеногегативное однокамерное образование с четко очерченными контурами вокруг непрорезавшегося зуба. При увеличении размеров киста может вызывать вздутие кости, смещение соседних зубов и частичную резорбцию корней. На практике считается, что

чем больше перикоронарная полость, тем выше вероятность истинного опухолевого процесса, а не зубной кисты.

Киста носонёбного (резцового) канала (рис. 3) относится к неодонтогенным фиссуральным кистам, формирующимся в зоне сращения верхне-челюстных костей. Рентгенологическая картина: округлое, четко отграниченное рентгеногегативное образование в проекции резцового канала, часто с истончением либо нарушением целостности кортикальных пластин. Рост кисты в вестибулярном направлении может сопровождаться резорб-

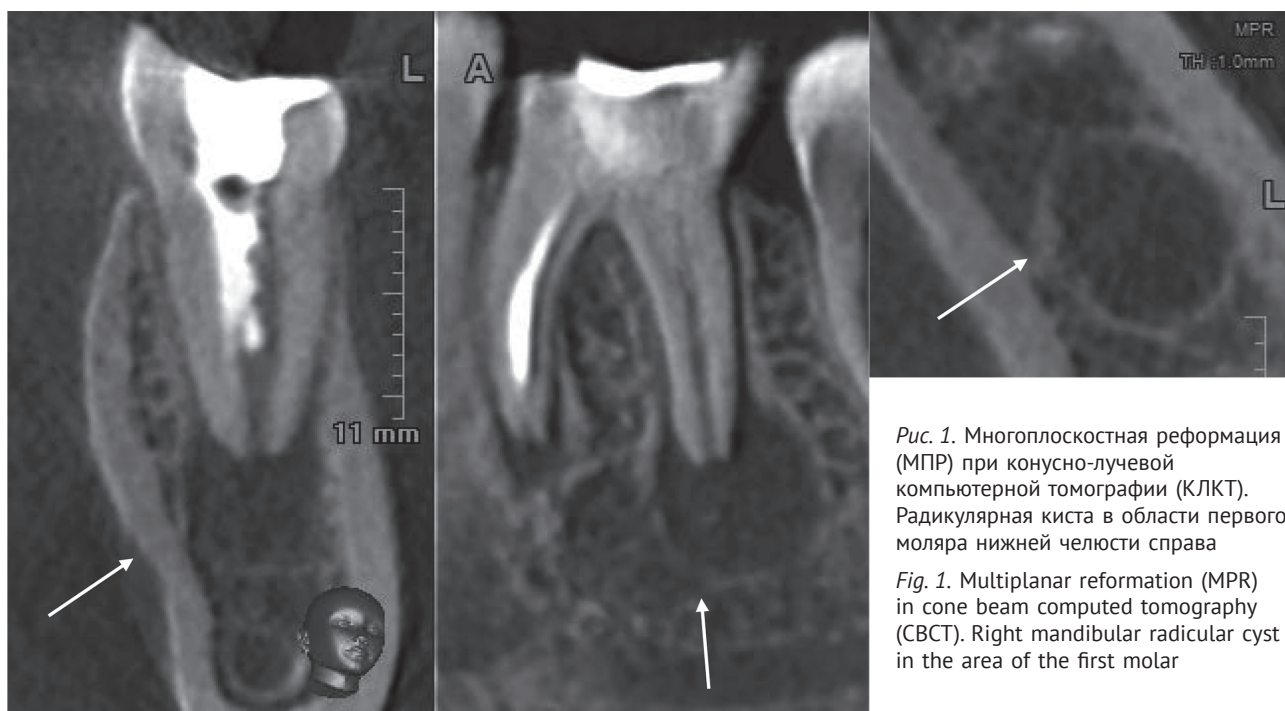


Рис. 1. Многоплоскостная реформация (МПР) при конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ). Радикулярная киста в области первого моляра нижней челюсти справа

Fig. 1. Multiplanar reformation (MPR) in cone beam computed tomography (CBCT). Right mandibular radicular cyst in the area of the first molar

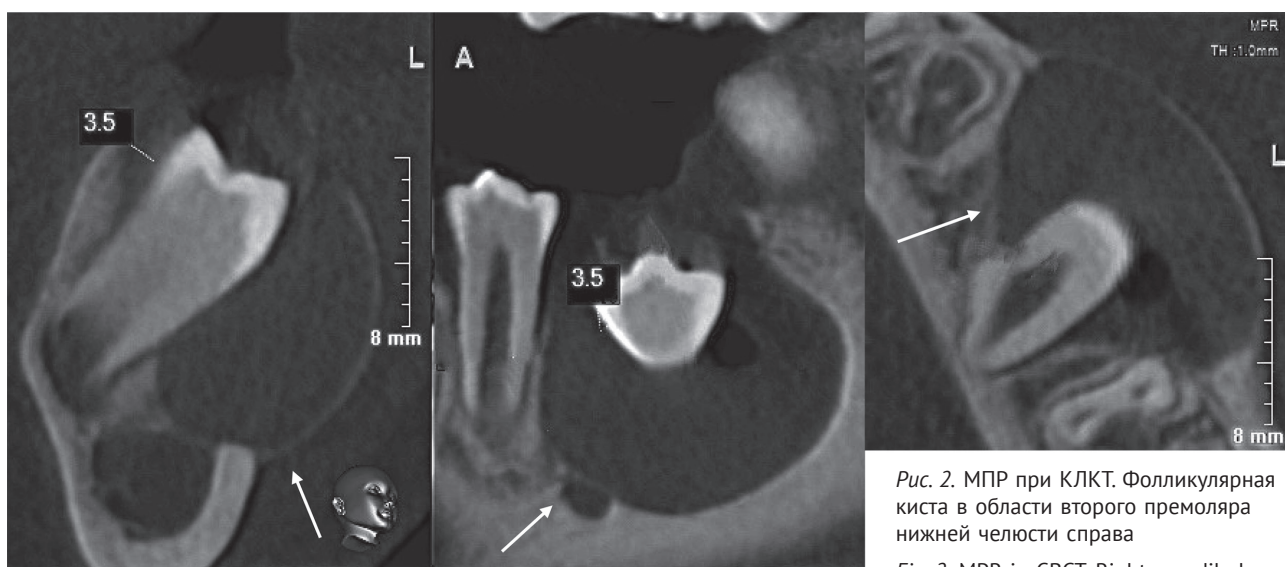


Рис. 2. МПР при КЛКТ. Фолликулярная киста в области второго премоляра нижней челюсти справа

Fig. 2. MPR in CBCT. Right mandibular follicular cyst in the area of the second premolar

цией и смещением зубов [1]. При увеличении размеров киста может достигать дна носовой полости. Выделяют три формы роста кист носонёбного канала: латеральный тип (распространение происходит парасагитально в одну сторону), центральный тип (киста локализуется в центре между резцами, симметрично их оттесняя) и билатеральный тип (симметричное распространение вокруг резцового канала, формирование двух округлых образований, которые обрастают резцы с нёбной стороны, не смещая их).

Глобуломасиллярная киста (рис. 4) – неондонтогенная киста, классифицируемая как фиссураль-

ная. Ее типичное расположение – между резцовой костью и альвеолярным отростком верхней челюсти, что соответствует области между боковым резцом и клыком. Рентгенологическая картина: киста имеет характерную веретенообразную форму и представляется рентгенонегативным образованием с четкими ровными границами. Локализация кистозной полости обычно отмечается между корнями бокового резца и клыка, реже – между центральным и боковым резцами, с эффектом дивергенции корней прилегающих зубов.

Простая (травматическая/геморрагическая/аневризматическая) костная киста (рис. 5) – идио-

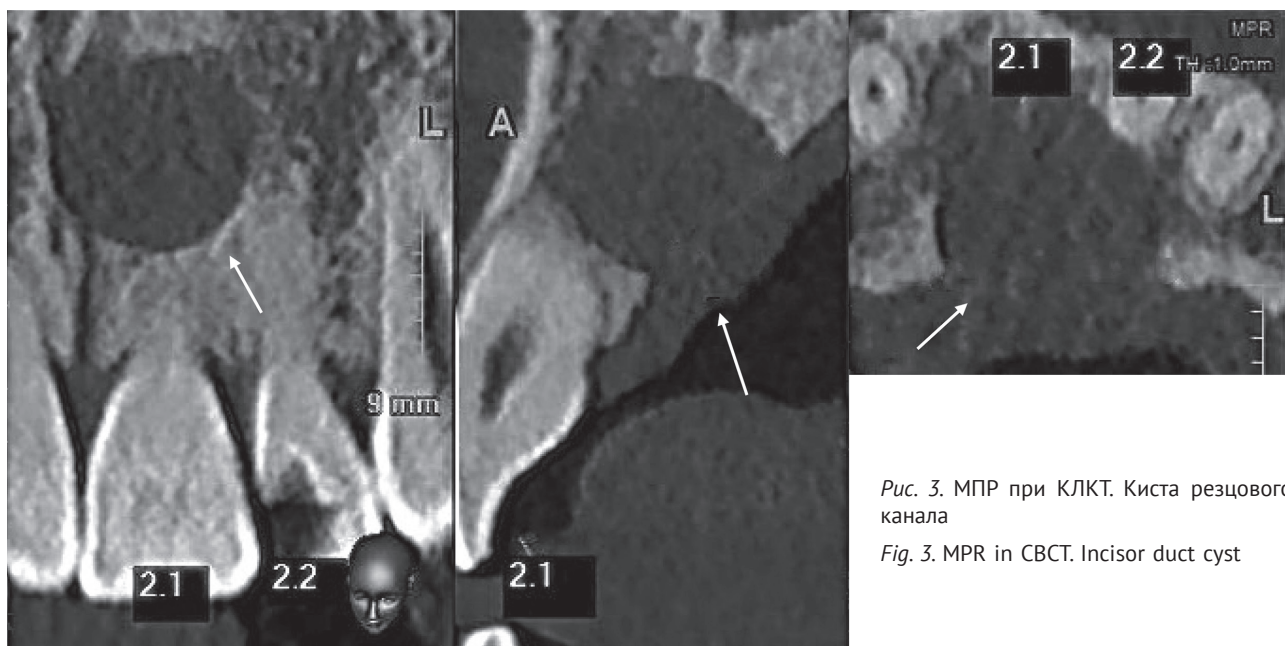


Рис. 3. МПР при КЛКТ. Киста резцового канала

Fig. 3. MPR in CBCT. Incisor duct cyst

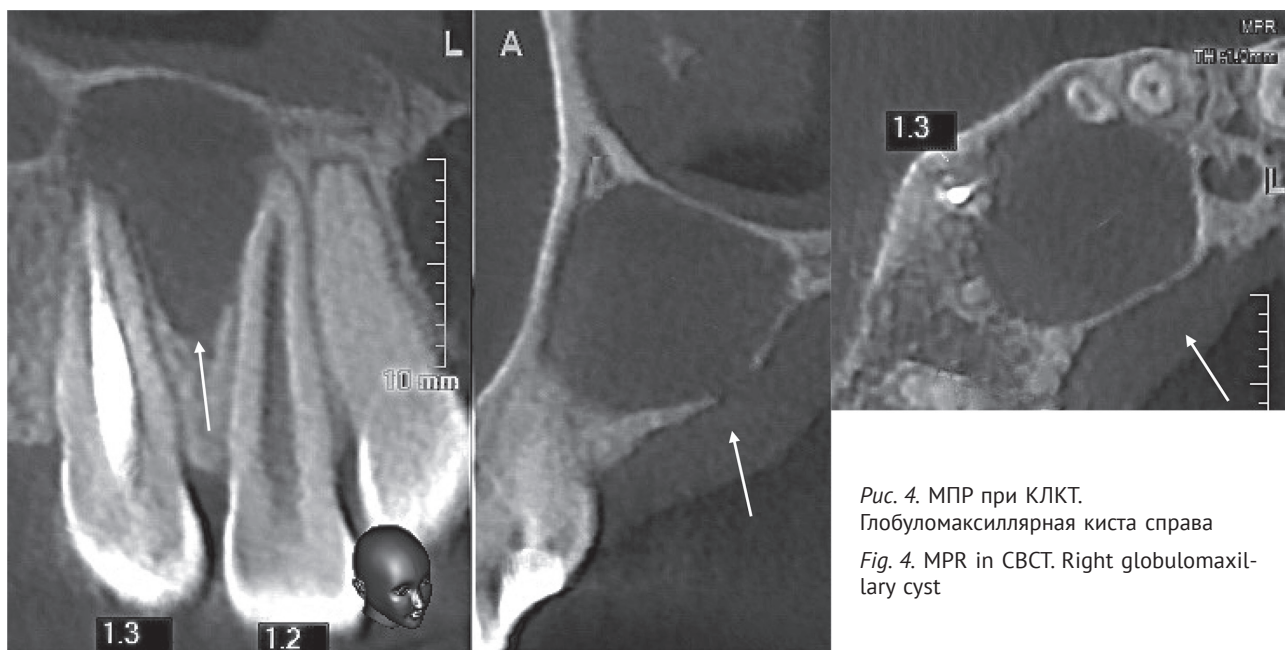


Рис. 4. МПР при КЛКТ.
Глобуломаксиллярная киста справа

Fig. 4. MPR in CBCT. Right globulomaxillary cyst

патическая полость в кости, которая не имеет связи с зубами и преимущественно образуется в нижней челюсти. Основными гипотезами ее возникновения являются некротические изменения костной ткани вследствие травмы и формирование интрамедуллярной гематомы, которая не проходит организованной резорбции. Другая теория указывает на ускоренный рост скелета, при котором губчатое вещество кости не успевает адаптироваться, что приводит к образованию порозных, частично минерализованных полостей. На рентгенограмме простая костная киста выглядит как однокамерное полостное образование, вытянутое вдоль губчатого вещества кости и обрамленное

кортикальной пластинкой. Полость имеет овальную, вытянутую форму с фестончатыми или неровными краями. В большинстве случаев вздутие кости не выражено или минимально, а киста может частично заходить в межзубные промежутки. Апикальные участки корней могут погружаться в полость кисты, при этом не происходит разрушения связочного аппарата, а также отсутствует резорбция или смещение зубов.

Одонтогенные опухоли и опухолеподобные образования

Одонтома (рис. 6) – одонтогенное опухолеподобное образование челюстей, которое является



Рис. 5. МПР при КЛКТ. Простая костная киста нижней челюсти слева

Fig. 5. MPR in CBCT. Left mandibular simple bone cyst

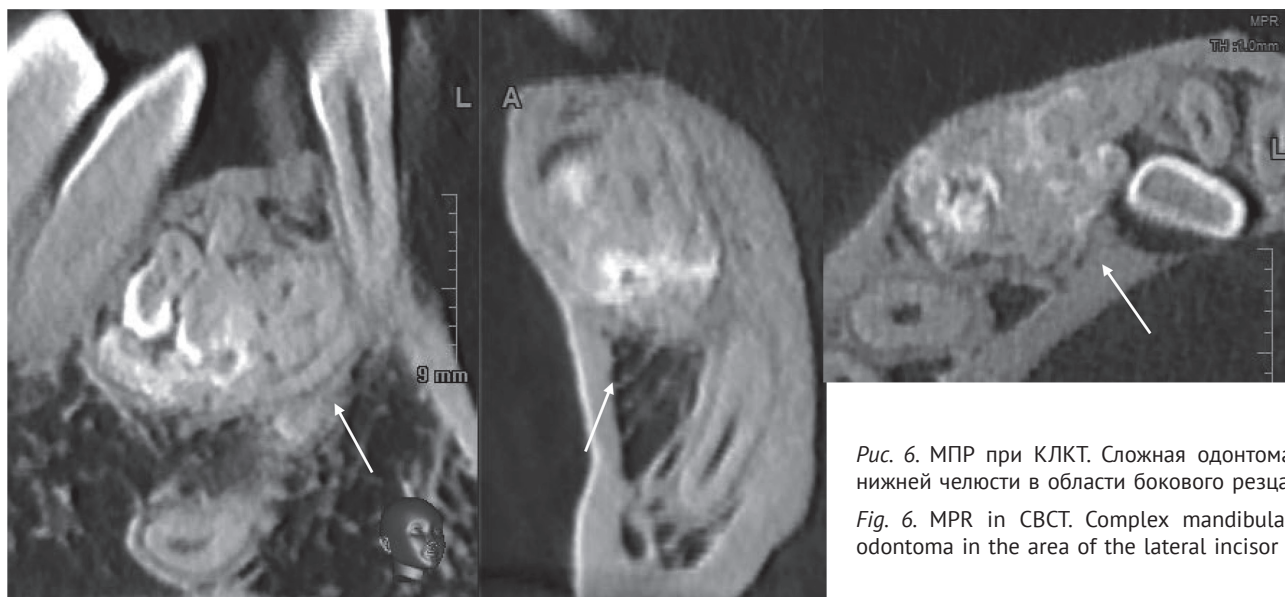


Рис. 6. МПР при КЛКТ. Сложная одонтома нижней челюсти в области бокового резца

Fig. 6. MPR in CBCT. Complex mandibular odontoma in the area of the lateral incisor

результатом аномального формирования зубных тканей и чаще всего располагается внутри зубного ряда, особенно в боковых отделах нижней челюсти. Существует деление этих образований на твердые и мягкие одонтомы. Твердая одонтома содержит в своем составе зрелые ткани, такие как кость, эмаль, дентин и цемент. Мягкая одонтома, сформированная из слабо дифференцированных тканей (пульпы, фиброзных и эпителиальных структур), известна также как амелобластическая фиброма и, по мнению ряда исследователей, представляет собой раннюю стадию твердой одонтомы (встречается крайне редко). Одонтомы способны смещать окружающие анатомические структуры по мере роста и могут препятствовать прорезыванию постоянных зубов, что делает их частой находкой у детей и подростков. Одонтогенные обра-

зования классифицируются на простые и сложные одонтомы, причем последние подразделяются на составные и смешанные. Чаще всего такая патология обнаруживается в возрасте от 10 до 20 лет. Рентгенологическая картина: простая одонтома формируется из небольшого объема тканей, которые перемешаны хаотично, в достаточном количестве для образования единственного зуба. Сложная одонтома содержит большое количество твердых тканей, структурированных таким образом, что их достаточно для формирования нескольких зубов. Составная одонтома состоит из конгломерата зубов или зубоподобных структур с нормальной анатомией и центрально расположенной пульпой. Смешанная одонтома также относится к сложным и состоит из разнородных зубных тканей, хаотично перемешанных между собой.

Амелобластома (рис. 7) – истинная одонтогенная опухоль, развивающаяся из клеточных компонентов эмалевого органа и наиболее часто диагностируемая в возрасте 20–40 лет у обоих полов. Амелобластомы, как правило, обладают доброкачественным характером, но имеют склонность к агрессивному местному росту и в некоторых случаях могут демонстрировать злокачественные свойства, включая возможность метастазирования. Наиболее характерное место расположения амелобластомы – боковые отделы нижней челюсти, такие как тело, угол и ветвь [4]. Опухоль редко встречается в верхней челюсти, но может распространяться в носовую полость, гайморову пазуху или орбиту, приводя к деформации твердого нёба и альвеолярного отростка. Выделяют две основные формы амелобластомы: солидную и кистозную. Рентгенологическая картина: солидная форма характеризуется наличием однопустного рентгенонегативного очага с характерными полициклическими контурами, кистозная форма представлена многокамерным образованием с характерным симптомом «мыльных пузырей». В отличие от истинных кист, амелобластома может прорасти между корнями зубов, не вызывая их дивергенции, но способна приводить к резорб-

ции вершечек корней. В боковых отделах нижней челюсти опухолевая полость нередко содержит ретенционный третий моляр. При агрессивном росте опухоли отмечаются вздутие кости, истончение и прерывистость кортикальной пластинки. При нагноении внутри опухоли может наблюдаться уровень жидкости. При малигнизации амелобластомы исчезают костные перегородки между полостями, контуры поражения становятся неровными и изъеденными, а в некоторых случаях возможно развитие патологического перелома.

Одонтогенная кератокистозная опухоль (кератокиста) (рис. 8) представляет собой полостное образование с выраженной склонностью к местной инвазивности, происходящее из эпителия одонтогенного происхождения. Она может возникнуть в зоне сверхкомплектного зуба, третьего моляра или быть связана с ретенционным зубом. Наиболее часто поражает тело и ветвь нижней челюсти, в особенности в области моляров. В литературе ее часто обозначают как «кератокиста», но в силу неопластического характера согласно последней классификации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) (2005 г.) кератокистозное образование рекомендуется классифицировать как опухоль [5]. Кератокистозная опухоль может

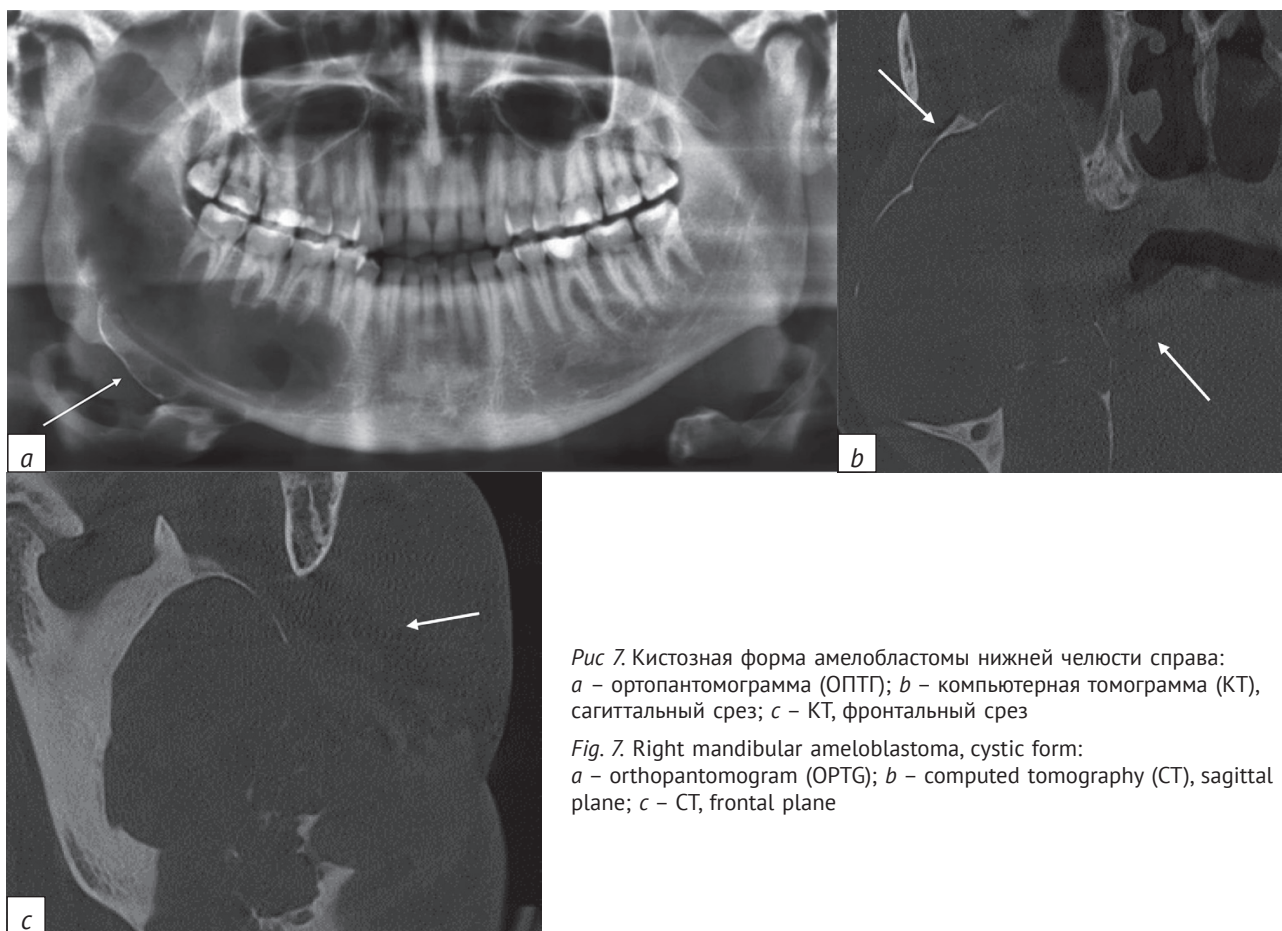


Рис. 7. Кистозная форма амелобластомы нижней челюсти справа: *a* – ортопантомограмма (ОПТГ); *b* – компьютерная томограмма (КТ), сагиттальный срез; *c* – КТ, фронтальный срез

Fig. 7. Right mandibular ameloblastoma, cystic form: *a* – orthopantomogram (OPTG); *b* – computed tomography (CT), sagittal plane; *c* – CT, frontal plane

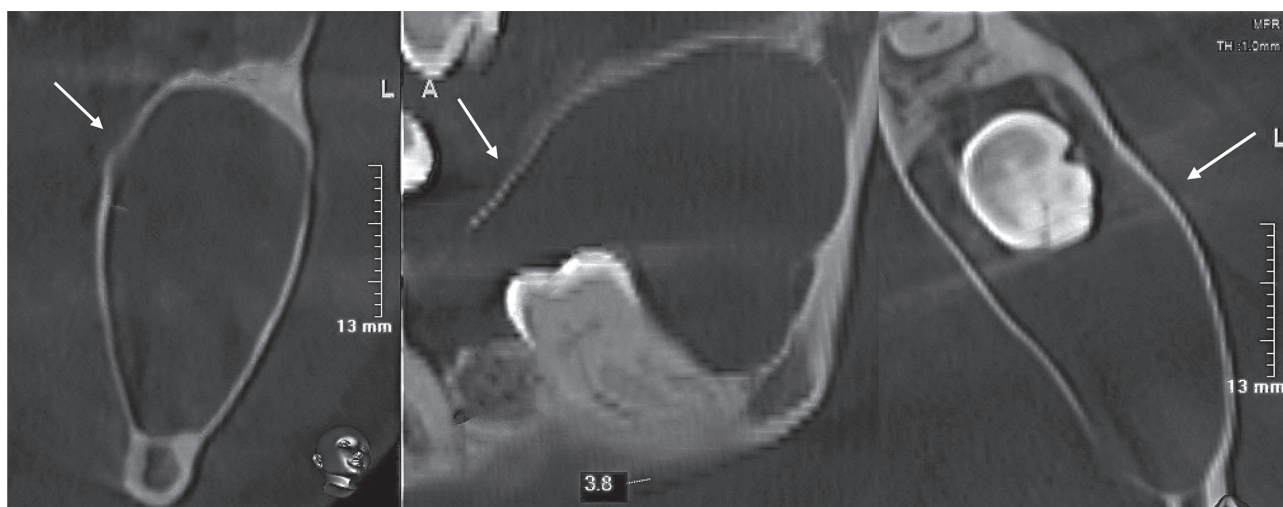


Рис. 8. МПР при КЛКТ. Одонтогенная кератокистозная опухоль в области третьего моляра нижней челюсти справа

Fig. 8. MPR in CBCT. Right mandibular odontogenic keratocystic tumor in the area of the third molar

возникать в виде одиночного поражения или как часть синдрома Горлина–Гольтца (синдром невоидной базальноклеточной карциномы), при котором опухоль является одним из характерных симптомов с множественным поражением челюстей. Рентгенологическая картина: обычно кератокиста представляется как однокамерное образование при небольших размерах, с четкими ровными контурами. Поражение распространяется по губчатому веществу кости и может достигать значительных размеров, образуя псевдоперегородки. Иногда вызывает вздутие кости и истончение кортикальной пластинки. В верхней челюсти проявляется как округлое или грушевидное образование в зоне альвеолярного отростка между латеральным резцом и клыком.

Аденоматоидная одонтогенная опухоль (рис. 9) – одонтогенная опухоль, которая заполнена железистоподобной тканью, похожей на ткань слюнной железы. Часто проявляется в форме зубочелюстной кисты, поражая коронковую часть зуба и соединяясь с ним на уровне цементно-эмалевого соединения. Известна также как «аденоматоидная одонтогенная киста», однако в классификации ВОЗ 2005 г. рекомендуется относить ее к опухолевидным образованиям [6]. Чаще всего аденоматоидная опухоль обнаруживается в верхней челюсти в связи с непрорезавшимся клыком. Рентгенологическая картина: однокамерное кистозное образование округлой или овальной формы, диаметром обычно 2–3 см, с множественными мелкими петрификатами, создающими эффект «снежинок».

Кальцифицирующая одонтогенная опухоль (рис. 10), или киста Горлина, представляет собой образование кистозно-солидного характера с кальцинатами. Встречается в тех же местах, что и кератокистозная одонтогенная опухоль. Рент-

генологическая картина: однокамерное полостное образование округлой или овальной формы, с четкими контурами и обызвествленными включениями (от мелких частиц до крупных образований), размером обычно от 2 до 4 см.

Цементобластома (рис. 11) относится к категории доброкачественных одонтогенных новообразований, имеющих мезенхимальное происхождение. Опухоль формируется внутри зубного ряда, чаще всего в области первых моляров нижней челюсти, и обычно имеет одиночный характер. Возникновение возможно в любом возрасте, при этом новообразование характеризуется прогрессирующим ростом. Наиболее часто поражаются премоляры и первые моляры нижней челюсти. На рентгенограмме цементобластома проявляется в виде округлого очагового образования с четко выраженной границей, представленной мягкотканым контуром, что формирует характерный «симптом ободка» (halo sign). Рентгенологическая плотность опухоли варьируется в зависимости от степени минерализации. Апикальная и средняя части корня зуба оказываются включенными в опухоль, часто наблюдаются признаки внешней резорбции корня. Пространство периодонтальной связки пораженной части корня не визуализируется. По мере прогрессирования новообразование может вызывать смещение корней соседних зубов, remodelировать или разрушать кортикальную пластинку челюсти, не выходя за ее пределы. Размер опухоли, как правило, не превышает 2 см.

Одонтогенная миксома (рис. 12) представляет собой доброкачественную, но местно-агрессивную одонтогенную опухоль мезенхимального происхождения. В отличие от цементобластомы, миксома не имеет капсулы, что определяет инфильтративный характер ее роста. Наиболее часто

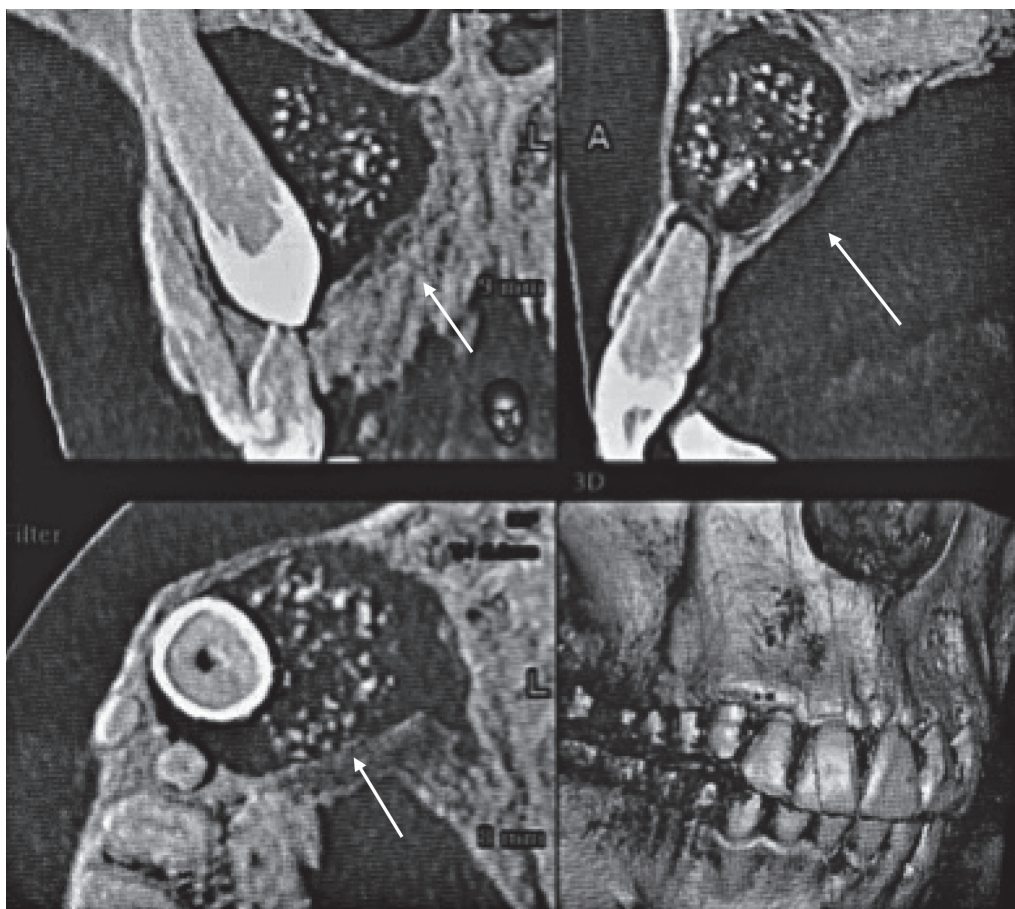


Рис. 9. МПР при КЛКТ. Аденоматоидная одонтогенная опухоль в области ретенированного клыка верхней челюсти справа

Fig. 9. MPR in CBCT. Right maxillary adenomatoid odontogenic tumor in the area of the retained canine

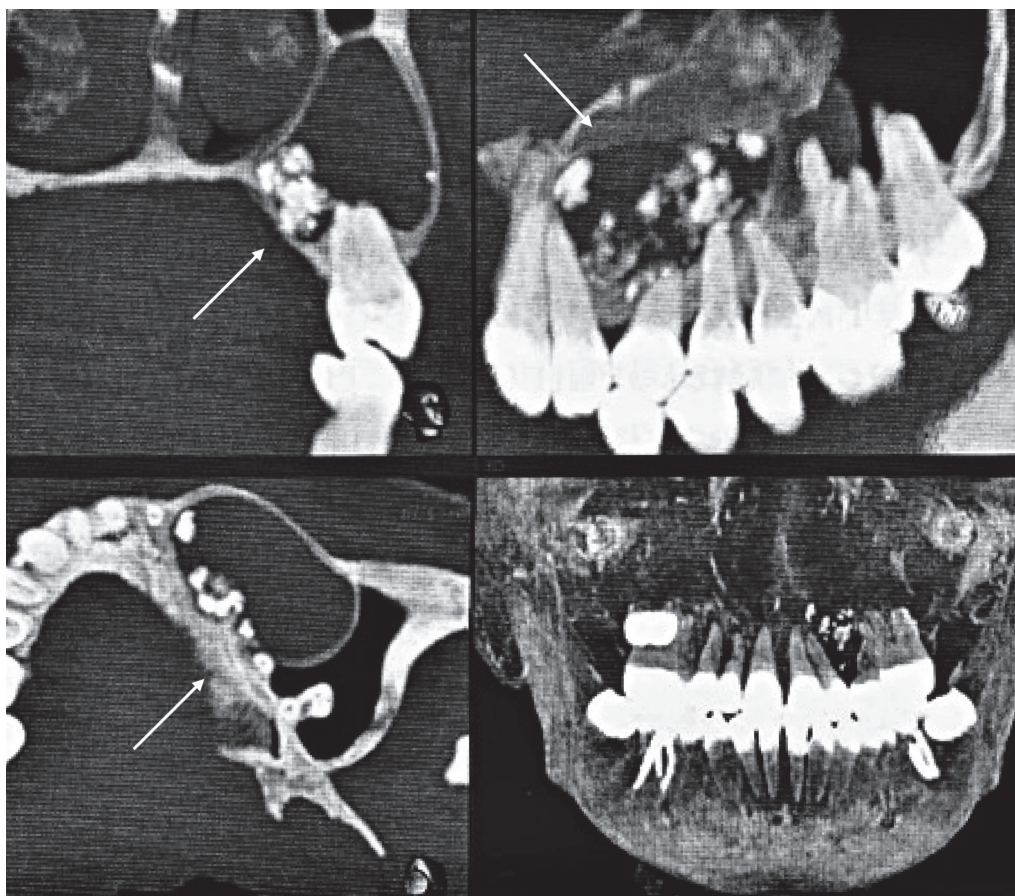


Рис. 10. МПР при КЛКТ в режиме МIP. Кальцифицирующая одонтогенная опухоль верхней челюсти слева

Fig. 10. MPR in CBCT, MIP mode. Left maxillary calcifying odontogenic tumor

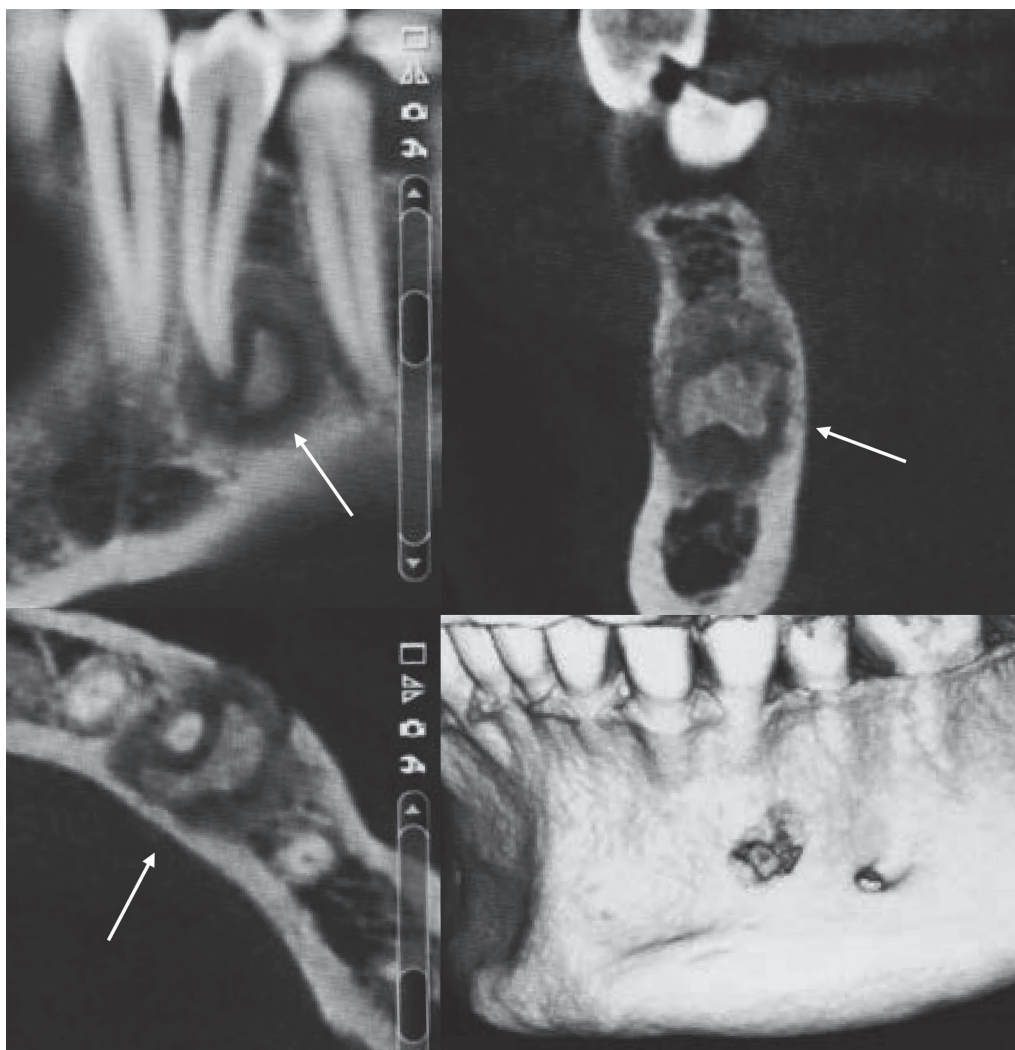


Рис. 11. МПР при КЛКТ.
Цементобластома
в области зуба 3.4

Fig. 11. MPR in CBCT.
Cementoblastoma
in the area of tooth 3.4

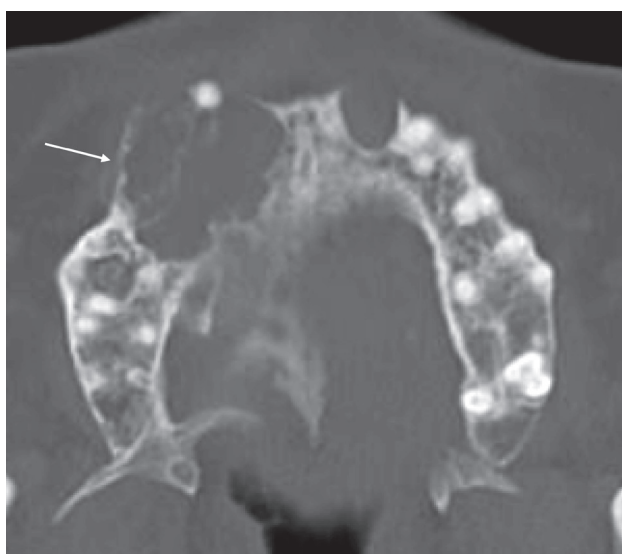


Рис. 12. КТ, аксиальный срез. Одонтогенная миксома верхней челюсти справа

Fig. 12. CT, axial plane. Right maxillary odontogenic myxoma

локализуется в переднебоковом отделе нижней челюсти или в боковом отделе верхней челюсти [7]. Заболеваемость наиболее высока в возрастной группе 10–30 лет, причем у детей отмечается тенденция к ускоренному росту, что клинически может имитировать злокачественные новообразования [8]. Рентгенологически одонтогенная миксома характеризуется наличием множественных очагов деструкции костной ткани различных размеров и форм. Контуры пораженных участков, как правило, нечеткие, что затрудняет дифференциацию с поликистозной формой амелобластомы. В зоне роста опухоли зубы смещаются, становятся подвижными, а их корни подвергаются резорбции. На поздних стадиях миксома может разрушать кортикальную пластинку челюсти с прорастанием в окружающие мягкие ткани, что подчеркивает ее агрессивный локальный характер.

Фиброзно-костные опухолеподобные поражения

Периапикальная цементно-костная дисплазия (рис. 13) относится к категории фиброзно-костных

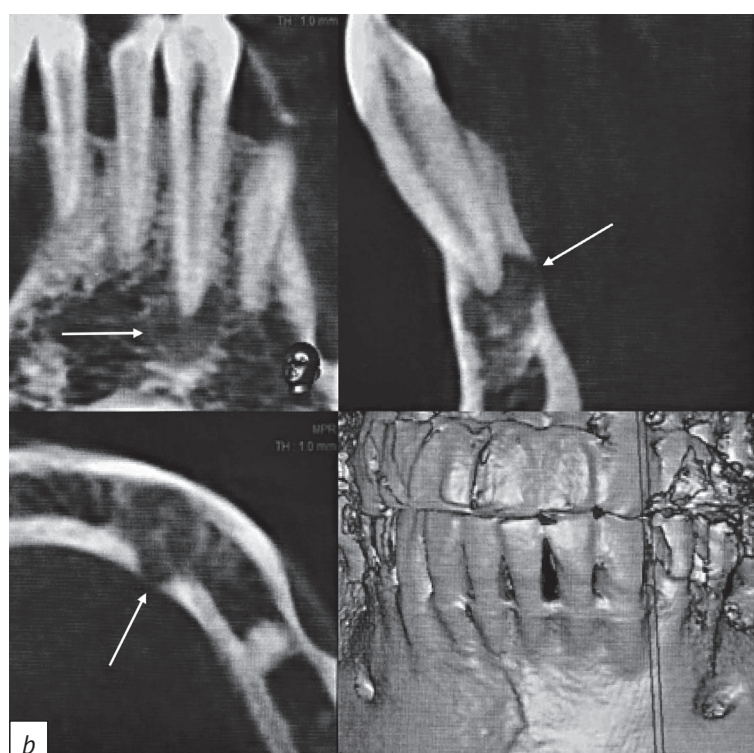
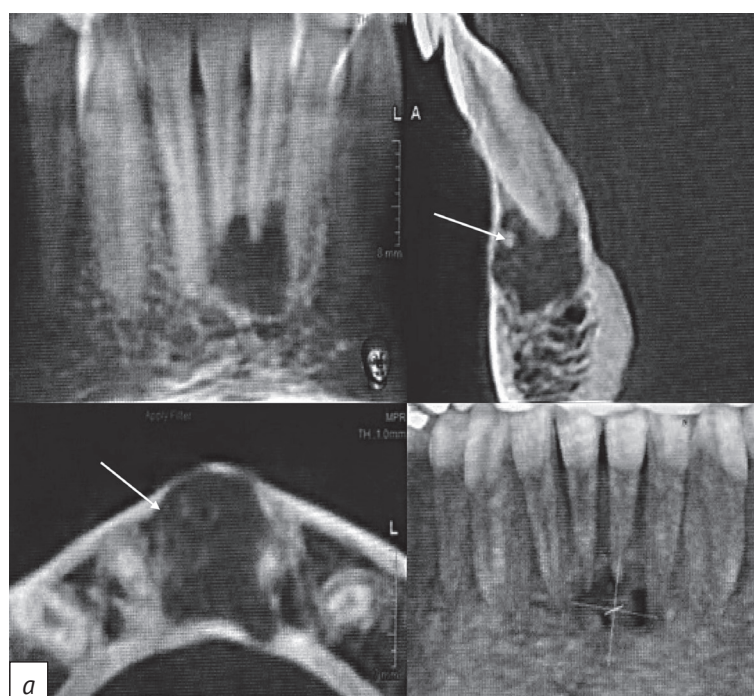


Рис. 13. Цементно-костная дисплазия нижней челюсти:
 а – в литической стадии в области фронтальной группы зубов (МПР при КЛКТ); б – в смешанной стадии в области зуба 3.3 (МПР при КЛКТ);
 с – в смешанной стадии в области зуба 3.3 (КЛКТ, сагиттальный и фронтальный срезы);
 д – цветущая цементно-костная дисплазия (ОПТГ)

Fig. 13. Mandibular cemento-osseous dysplasia:
 а – lytic stage in the area of the frontal group of teeth (MPR in CBCT); б – mixed stage in the area of tooth 3.3 (MPR in CBCT);
 с – mixed stage in the area of tooth 3.3 (CBCT, sagittal and frontal planes); д – florid cemento-osseous dysplasia (OPTG)

патологий челюстей, которые характеризуются замещением нормальной костной ткани атипичной тканью, содержащей фибробласты, коллагеновые волокна и различное количество цементаподобных или костных кальцификатов. Патологический процесс при цементно-костной дисплазии может быть локализованным (ограниченным областью одного зуба), очаговым (с поражением нескольких зубов) или генерализованным (с поражением обеих челюстей). Заболевание обычно формируется в юношеском возрасте и протекает стадийно. Что касается рентгенологических проявлений, то в зависимости от стадии развития различают три основных этапа:

- начальная (остеолитическая) стадия – на рентгенограмме определяется очаг деструкции костной ткани округлой формы в области верхушки интактного зуба, по внешнему виду изменение напоминает апикальную гранулему;

- стадия созревания (промежуточная) – наблюдается формирование мягкотканного очага с началом кальцификации;

- зрелая стадия – выявляется плотный конгломерат кортикальной плотности, не связанный ни с апексом зуба, ни с окружающей костной тканью, окаймленный гиподенсным ободком в виде симптома halo sign.

При гистологическом исследовании все стадии цементно-костной дисплазии имеют схожий состав: патологическая ткань состоит из мезенхимальных компонентов, фибробластов, коллагеновых волокон и многочисленных кровеносных сосудов. Характерным является наличие кровоизлияний, пронизывающих пораженные участки. Между соединительнотканными компонентами расположены трабекулы костной ткани и цемент-

топодобные структуры. Соотношение минерализованных компонентов изменяется по мере прогрессирования процесса. Этапы развития поражения могут занимать несколько лет. Максимального размера оно достигает на стадии остеолитических изменений, после чего трансформируется в зависимости от стадии.

Фиброзная дисплазия (рис. 14) представляет собой опухолевидный процесс, развивающийся вследствие нарушения формирования костной ткани. Различают три основные формы: монооссальная (поражается одна кость или часть кости, включая лицевые кости), полиоссальная (поражаются две и более костей) и краниофациальная (деформация преимущественно затрагивает кости черепа и лицевого скелета). У девочек с полиоссальной формой фиброзной дисплазии может наблюдаться синдром Олбрайта, характеризующийся сочетанием множественных поражений костей, очаговой пигментации кожи («кофейное пятно») и преждевременного полового созревания. На рентгенограммах пораженная кость имеет вздутую форму с диффузным уплотнением структуры, напоминающим текстуру «матового стекла». Между измененной и интактной костной тканью отсутствует четкая граница. В некоторых случаях обнаруживаются смешанные изменения в виде мозаики, обусловленные чередованием гипо- и гиперденсных зон. Корни зубов в зоне поражения сохраняют свою структуру и не подвергаются резорбции или значительной деформации.

Херувизм (рис. 15) – это редкое генетически обусловленное заболевание, имеющее аутосомно-доминантный тип наследования [9]. Патология относится к категории опухолеподобных состояний и диагностируется преимущественно в дет-

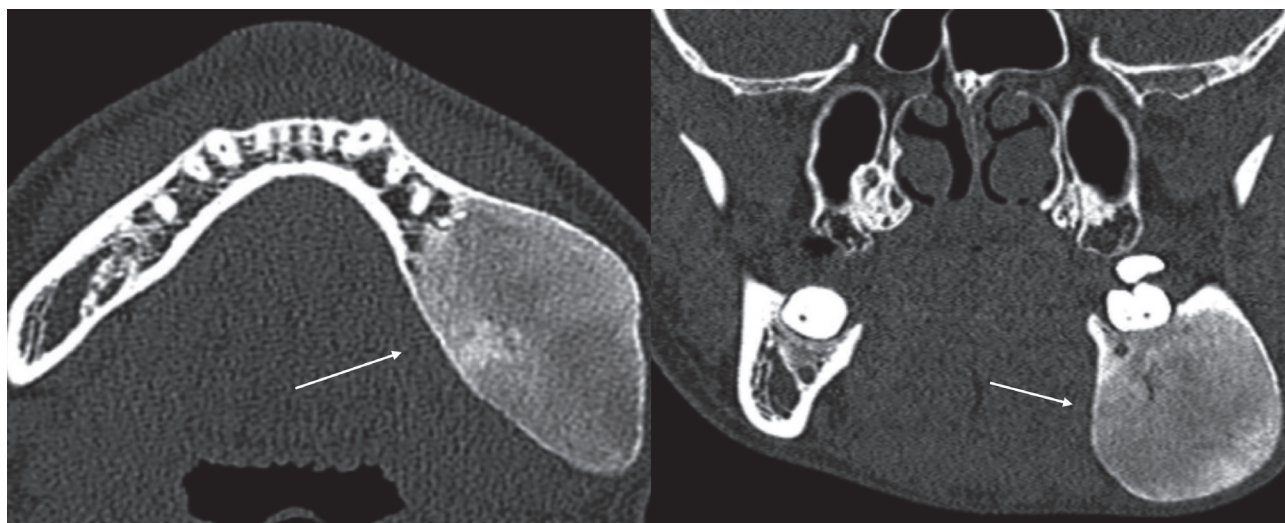


Рис. 14. КТ, аксиальный и фронтальный срезы. Фиброзная дисплазия нижней челюсти слева

Fig. 14. CT, axial and frontal planes. Left mandibular fibrotic dysplasia

ском возрасте. Заболевание характеризуется замещением нормальной костной ткани значительным количеством фиброзной ткани и поражает исключительно челюстные кости. Основными клиническими признаками херувизма являются двустороннее симметричное увеличение нижней части лица и преждевременная эксфолиация молочных и постоянных зубов, особенно первых и вторых моляров нижней челюсти. Патология сопровождается зубо-челюстными аномалиями, такими как смещение, мальформация, агенезия, эктопия и отсутствие прорезывания зубов. При вовлечении верхней челюсти возможно развитие функциональных нарушений, включающих затруднение речи, дыхания, глотания и жевания. Внешние признаки включают характерное округление лица и ретракцию нижних век, что создает своеобразный «взор, устремленный к небесам», напоминающий облик херувима. Рентгенологические характеристики: множественные двусторонние участки с чередованием зон уплотнения и деструкции костной ткани. Характерны истончение и вздутие кортикальной пластинки при отсутствии периостальной реакции. Нижняя челюсть поражается всегда, верхняя – реже и менее выраженно. К другим рентгенологическим признакам относятся: деформация корней зубов (резорбция обычно отсутствует), частичная первичная адентия, преимущественно первых и вторых моляров нижней челюсти, смещение нижнечелюстного канала книзу. Патология, как правило, регрессирует самостоятельно после завершения полового созревания. У большинства пациентов увеличение лица исчезает к 30 годам. Однако в случае агрессивной формы заболевание сохраняет свои проявления, а инволюции пораженных с возрастом не наблюдается.

Деформирующий остеоит (болезнь Педжета) (рис. 16) относится к группе фиброзно-костных патологий и характеризуется непрерывным remodelированием костной ткани. В основе заболевания лежит нарушение равновесия между процессами резорбции старой кости и формирования новой, часто неорганизованной и функционально неполноценной костной структуры. Рентгенологи-



Рис. 15. ОПТГ. Херувизм

Fig. 15. OPTG. Cherubism

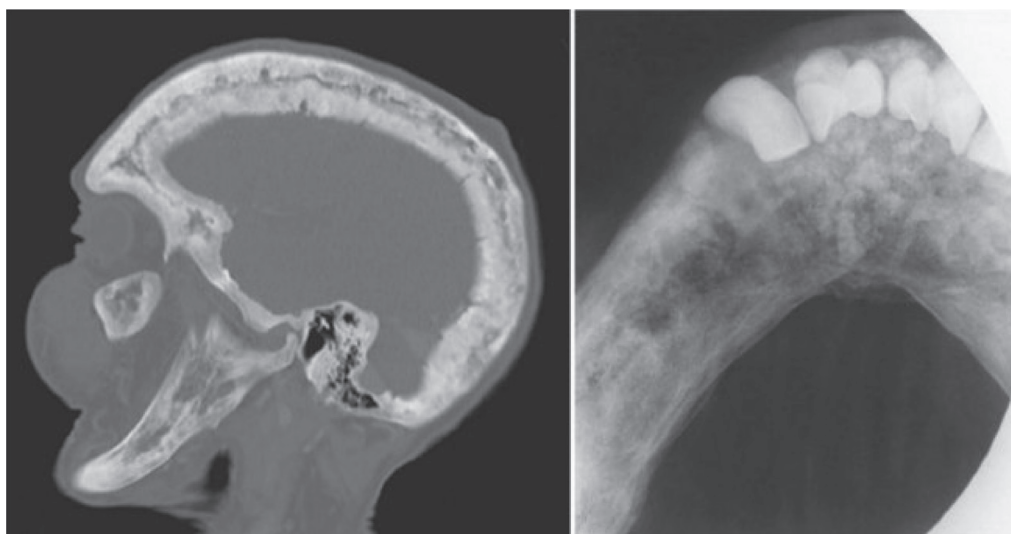


Рис. 16.
Деформирующий
остеоит. Болезнь
Педжета

Fig. 16. Deforming
osteitis. Paget's disease

ческая картина: пораженные участки костной ткани приобретают характерный пятнисто-очаговый вид, напоминающий «ватный» рисунок. В компактной и губчатой кости отмечается нарушение структуры с нечеткой дифференциацией костномозговых каналов. Для костей черепа характерны: утолщение внутренней и наружной пластинок, неровные, «лохматые» края поверхностей костей, отсутствие четкого отображения швов черепа. В челюстных костях на фоне «ватного» рисунка часто наблюдаются признаки ретенции не полностью сформированных постоянных зубов. У прорезавшихся зубов периодонтальная щель может быть нечетко визуализирована.

Оссифицирующая и цементифицирующая фиброма (рис. 17) представляет собой доброкачественное опухолеподобное новообразование фиброзно-костного происхождения. Процесс преимущественно поражает челюстные кости, локализуясь чаще в премолярно-молярной зоне нижней челюсти, однако в ряде случаев может распространяться на верхнюю челюсть и другие кости лицевого скелета. Рентгенологическая картина характеризуется наличием четко отграниченного образования смешанной плотности в зависимости от стадии зрелости опухоли. Типичным признаком является уплотнение по типу «матового стекла», в котором видны участки высокой плотности и включения кальцификатов (симптом «снежной бури»). Возможны признаки дивергенции корней зубов, а также их частичная резорбция. Для обозначения агрессивных форм оссифицирующей фибромы был предложен термин «ювенильная активная оссифицирующая фиброма» [10]. Эта редкая форма опухоли развивается преимущественно у детей и подростков, характеризуется быстрым и инфильтративным ростом, нередко демонстрируя клиническое течение, схожее с саркомой.

Остеогенные опухоли (первичные) и опухолеподобные образования

Остеома является доброкачественной остеогенной опухолью, сформированной из зрелой костной ткани. Заболевание чаще всего диагностируется у пациентов старше 30–40 лет и преимущественно локализуется в нижней челюсти. По расположению остеомы подразделяются на центральные (развиваются внутри костной структуры) и периферические (имеют поверхностную локализацию). Гистологические разновидности: компактная остеома (состоит исключительно из коркового вещества кости, полностью лишённого костного мозга) и губчатая остеома (формируется из губчатого костного вещества порозной структуры). На рентгенограмме компактная остеома визуализируется как одиночное плотное образование с четко очерченными краями, значительно превышающее плотность окружающей кости, а губчатая имеет менее однородную структуру с чередующимися участками уплотнения и разрежения, причем контуры могут быть слабо выражены. Периферическая остеома демонстрирует экзофитный тип роста и чаще обнаруживается на наружной или нижней поверхности нижней челюсти, в области моляров (рис. 18). Она представляет собой ограниченное выступающее образование с ровными, четко очерченными контурами, которое в ряде случаев принимает форму шиповидного костного разрастания. Синдром Гарднера характеризуется множественными остеомами челюстных костей, которые сопровождаются дополнительными признаками, такими как полипы кишечника, кожные фибромы и эпидермоидные кисты.

Экзостозы представляют собой доброкачественные новообразования, характеризующиеся патологическим разрастанием костной ткани в форме выступов. Эти структуры могут форми-

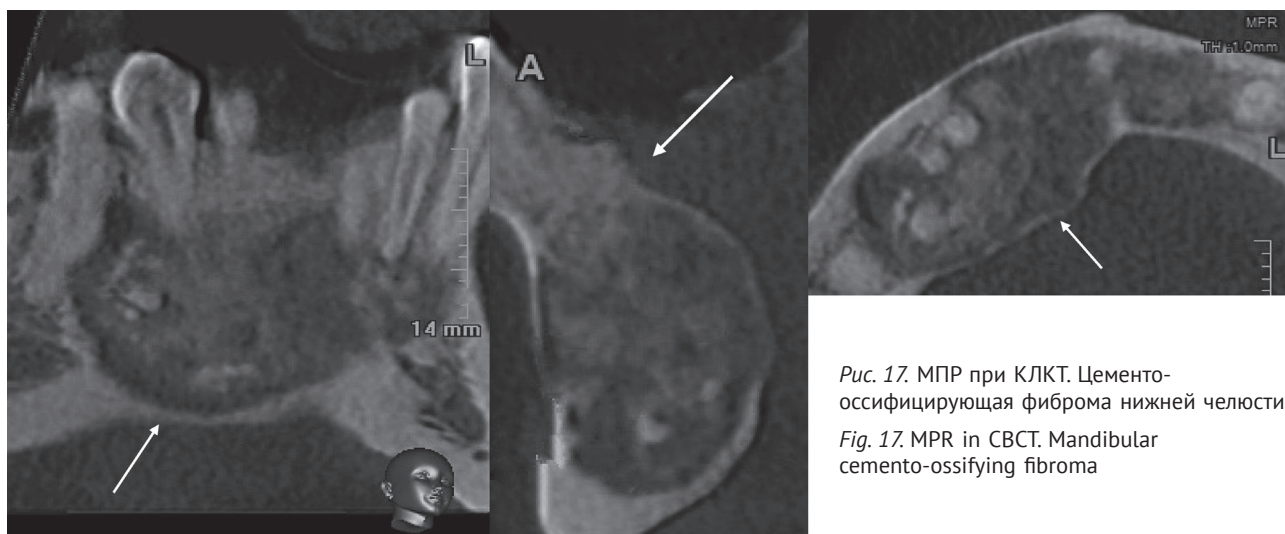


Рис. 17. МПР при КЛКТ. Цементоссифицирующая фиброма нижней челюсти
Fig. 17. MPR in CBCT. Mandibular cemento-ossifying fibroma

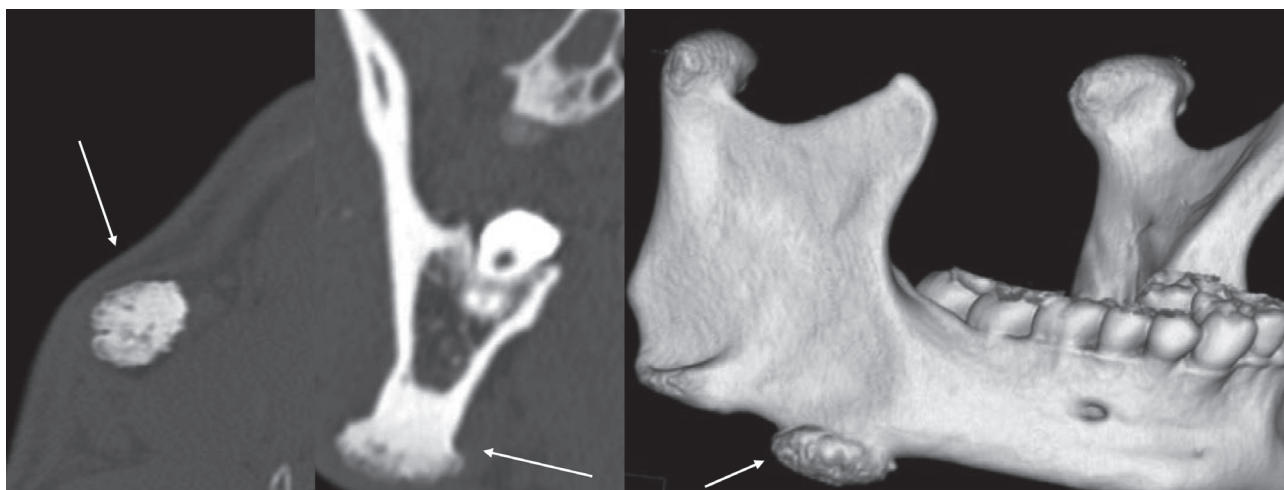


Рис. 18. МПР при КТ. Периферическая остеома нижней челюсти справа

Fig. 18. MPR in CT. Right mandibular peripheral osteoma

роваться на любой поверхности обеих челюстей, включая как внутренние, так и наружные области. К наиболее часто встречающимся разновидностям экзостозов относятся нёбные и нижнечелюстные торусы (рис. 19). Они отличаются характерной локализацией и симметричностью, что выделяет их среди других типов костных наростов. Торусы, как правило, располагаются вдоль средней линии нёба, а также на язычной и щечной поверхностях альвеолярного гребня нижней челюсти. Рентгенологическая картина: в зависимости от расположения экзостозы визуализируются в виде выступов костной ткани, плотность которых соответствует плотности соседних участков кости, без четкой границы между ними.

Идиопатический остеосклероз, также известный как **эностоз** (рис. 20), представляет собой локальное доброкачественное патологическое изменение костной ткани, связанное с дисплазией губчатого вещества. Этот процесс характеризуется эндофитным типом роста и формированием небольших уплотненных участков в кости, напоминающих костные островки. Чаще всего поражается нижняя челюсть в области моляров, реже – верхняя челюсть в области клыков и премоляров. На рентгенограмме эностозы проявляются в виде четко очерченных зон уплотнения костной ткани округлой, овальной или неправильной формы. Такие участки демонстрируют эффект эбурнеации (плотность напоминает слоновую кость, лат. *eburneus*), а также связаны с внутренней кортикальной пластинкой.

Остеобластома – это доброкачественное, медленно прогрессирующее новообразование костной ткани (рис. 21). На рентгенограмме остеобластома выглядит как четко очерченный участок смешанной плотности, окруженный склеротиче-

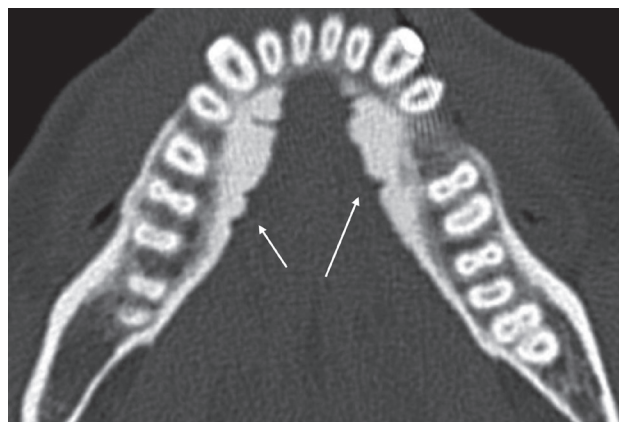


Рис. 19. КЛКТ, аксиальный срез. Нижнечелюстные торусы

Fig. 19. CBCT, axial plane. Mandibular tori

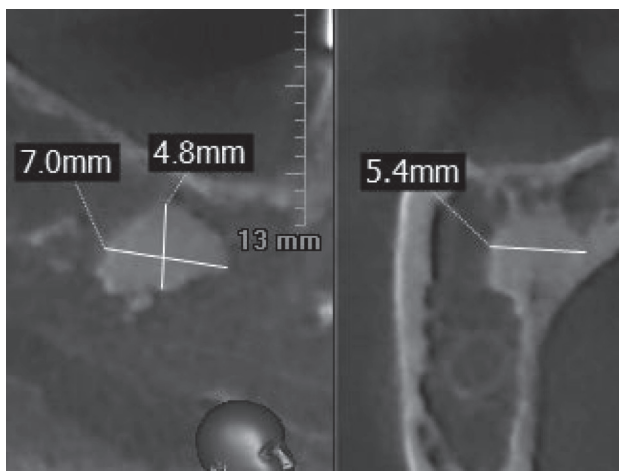


Рис. 20. КЛКТ, сагиттальный и фронтальный срезы. Энностоз верхней челюсти

Fig. 20. CBCT, sagittal and frontal planes. Maxillary oenostosis

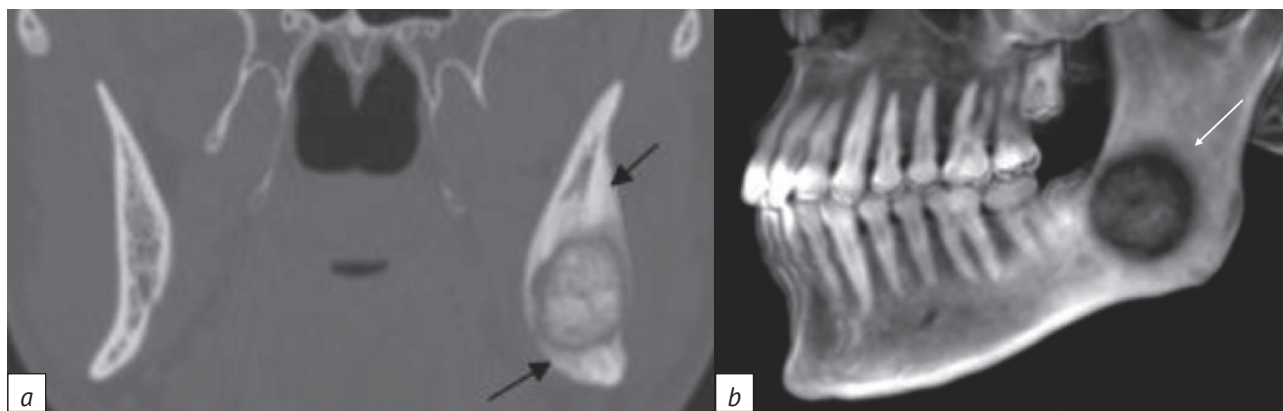


Рис. 21. КТ. Остеобластома нижней челюсти слева:
а – фронтальный срез; б – сагиттальный срез

Fig. 21. CT. Left mandibular osteoblastoma:
а – frontal plane; б – sagittal plane

ским ободком. По мере увеличения размеров опухоль может приводить к истончению и даже разрушению кортикальных пластинок.

Остеоид-остеома (рис. 22) представляет собой доброкачественное новообразование остеогенной природы, которое преимущественно диагностируется у молодых мужчин [11]. Опухоль чаще всего локализуется в нижней челюсти, в области премоляров и моляров. Она может развиваться в компактной и губчатой костной ткани либо субпериостально. Для остеоид-остеомы характерна специфическая рентгенологическая структура. Очаг опухоли визуализируется в виде зоны повышенной плотности округлой формы, окруженной зоной пониженной костной плотности. Эта зона ограничена неровными контурами склерозированной кости, формируя своеобразный «обратный» ободок, типичный для данной патологии.

Остеобластокластома (рис. 23), или гигантоклеточная опухоль, относится к доброкачествен-

ным остеогенным новообразованиям, которые чаще диагностируются у молодых людей, преимущественно у женщин в возрасте от 11 до 30 лет. Опухоль может формироваться как в периферической части кости, так и в ее толще. Заболевание чаще всего локализуется в области премоляров и моляров нижней челюсти, реже – в премолярной зоне верхней челюсти. В зависимости от рентгенологической картины выделяют три основные формы остеобластокластомы: ячеистую, кистозную и литическую [12]. На рентгенограммах ячеистая форма визуализируется как многокамерное образование, состоящее из мелких и крупных полостей, разделенных костными перегородками различной толщины (такая структура напоминает рентгенологическую картину, характерную для амелобластомы). Кистозная форма представляет собой однокамерное полостное образование, которое рентгенологически схоже с одонтогенной кистой или кистозной разновидностью амелобластомы. Литическая форма характеризуется бесструктурным радиопрозрачным очагом, что свидетельствует об отсутствии четких архитектурных особенностей внутри пораженной зоны.

Остеохондрома (рис. 24) – доброкачественное гамартонное новообразование, характеризующееся костным выступом, покрытым сверху хрящевой шапочкой и содержащим внутри костномозговую ткань. Чаще всего поражается нижняя челюсть, особенно мыщелковый отросток и головка. Заболевание, как правило, выявляется у пациентов в возрасте до 30–40 лет, преимущественно у женщин. По характеру роста остеохондромы подразделяются на экзофитные формы, которые образуются на передней поверхности мыщелкового отростка в зоне прикрепления латеральной крыловидной мышцы, и сферические формы, приводящие к деформации всей головки мыщелка. При

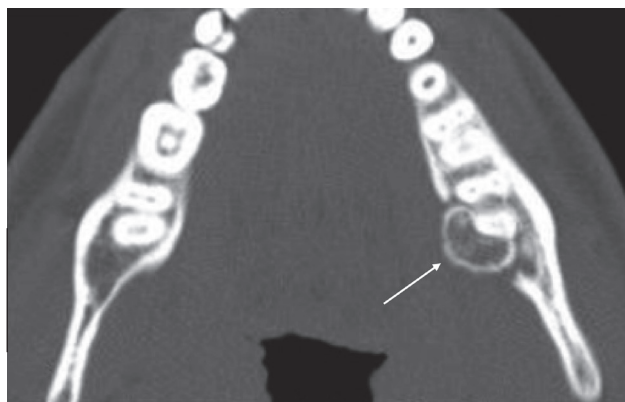


Рис. 22. КТ, аксиальный срез. Остеоид-остеома нижней челюсти слева

Fig. 22. CT, axial plane. Left mandibular osteoid-osteoma

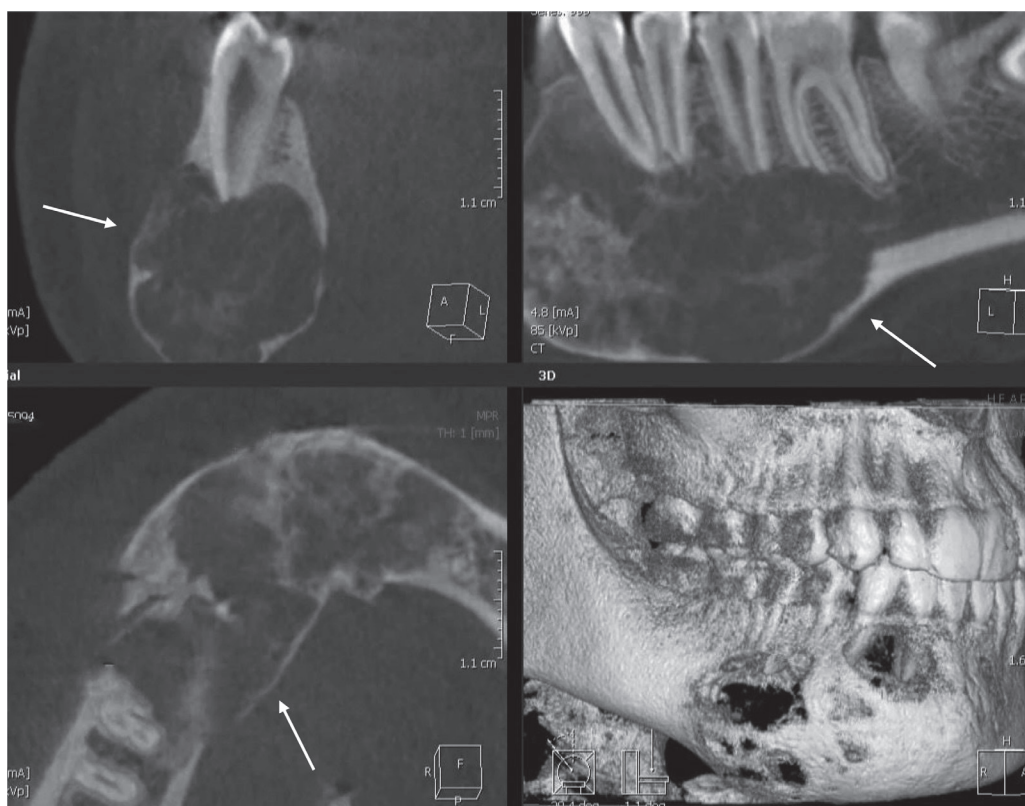


Рис. 23. МПР при КТ.
Остеобластокластома
нижней челюсти

Fig. 23. MPR in CT.
Mandibular
osteoblastoclastoma

визуализации наблюдается специфическая рентгенологическая картина, включающая увеличение размеров мыщелка. Отмечается симптом «раздробленного флага» с наличием массы, прилегающей к боковой стороне мыщелка.

Центральная гигантоклеточная гранулема (рис. 25) представляет собой реактивное внутрикостное доброкачественное опухолеподобное образование, возникающее в результате пролиферации остеокластов. Поражение ограничивается исключительно челюстными костями, чаще наблюдается в передних отделах нижней челюсти. Это состояние преимущественно диагностируется у женщин в возрасте до 30 лет. Визуализируется как рентгенопрозрачное образование, которое может быть однокамерным или многокамерным при значительных размерах. Типичны зернистые включения, резорбция кортикальных пластинок, смещение зубного ряда и резорбция корней зубов. При проведении КТ иногда выявляется легкое контрастное усиление, которое может охватывать окружающие мягкие ткани.

Остеосаркома (рис. 26) является злокачественной остеогенной опухолью, которая поражает челюстные кости в равной степени, чаще в области моляров. Новообразование может располагаться центрально (в толще кости) или периферически (в наружных отделах). Заболевание характеризуется ранним гематогенным метастазированием, преимущественно в легкие. Остеобластическая

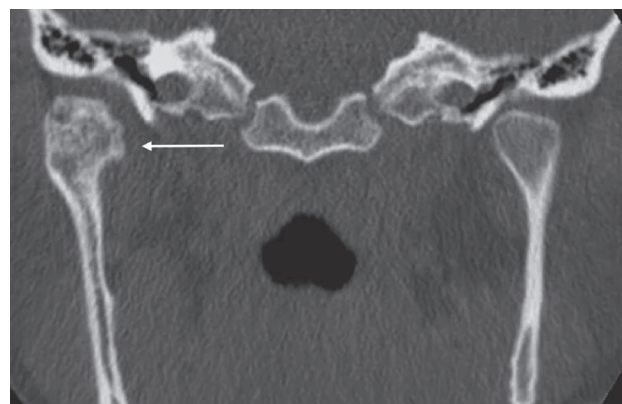


Рис. 24. КТ, фронтальный срез. Остеохондрома мыщелкового отростка нижней челюсти справа

Fig. 24. CT, frontal plane. Right mandibular osteochondroma of the condylar process

форма чаще выявляется у детей и молодых пациентов. На рентгенограмме она выглядит как зона остеосклероза с характерной спикулообразной реакцией надкостницы, отражающей прорастание опухоли в мягкие ткани. Остеолитическая (остеокластическая) форма преимущественно диагностируется у взрослых пациентов и проявляется в виде зоны разрушения костной ткани с неровными, зазубренными краями, известными как спикулы. В случае смешанного варианта одновременно наблюдаются участки остеолита и остеосклероза.

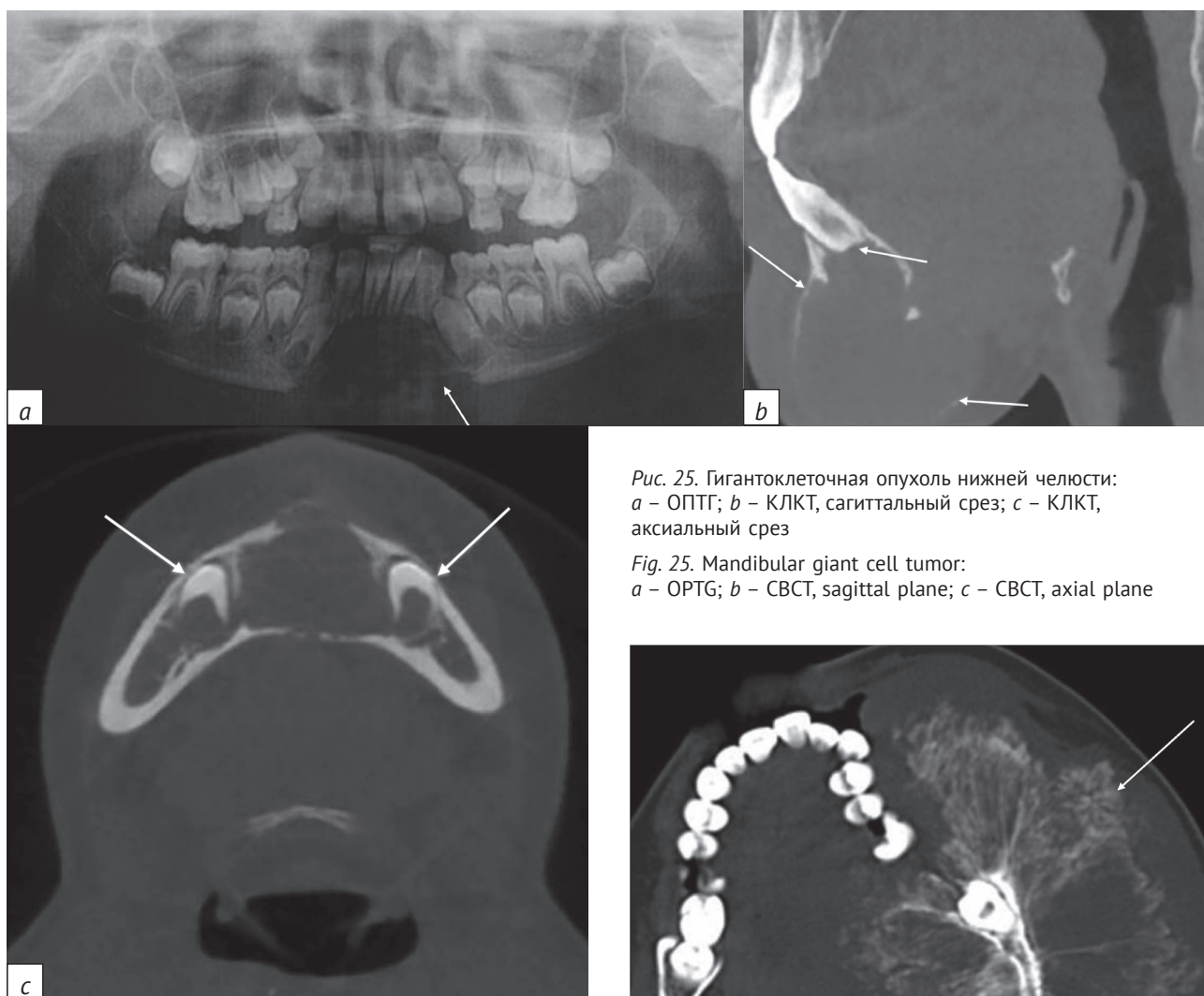


Рис. 25. Гигантоклеточная опухоль нижней челюсти: *a* – ОПТГ; *b* – КЛКТ, сагиттальный срез; *c* – КЛКТ, аксиальный срез

Fig. 25. Mandibular giant cell tumor: *a* – OPTG; *b* – CBCT, sagittal plane; *c* – CBCT, axial plane

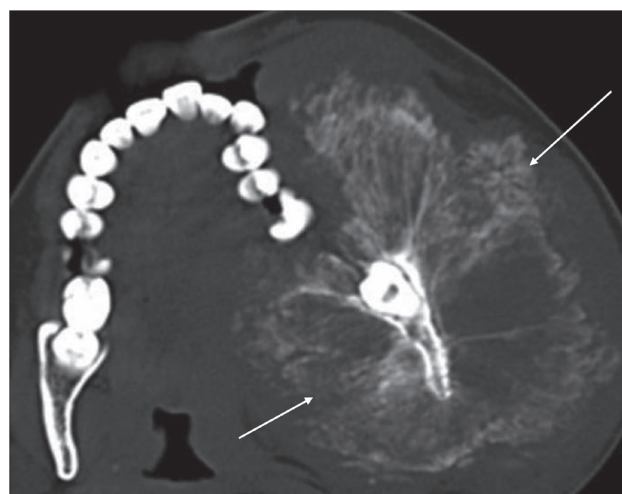


Рис. 26. КТ, аксиальный срез. Остеосаркома нижней челюсти слева

Fig. 26. CT, axial plane. Left mandibular osteosarcoma

Заключение / Conclusion

В статье подчеркнута значимость дифференциальной диагностики воспалительных процессов, доброкачественных и злокачественных опухолей челюстных костей, а также других патологических состояний с целью разработки оптимальной тактики лечения пациентов.

При первичном обнаружении опухолей в челюстно-лицевой области ОПТГ представляет собой важный диагностический метод, позволяющий оценить всю зубочелюстную систему на одном изображении. Однако из-за присутствия суммационного эффекта возникают ограничения: затруднено точное определение локализации образований в верхней челюсти, а также невозможна визуализация деструктивных изменений наружных и внутренних кортикальных пластин челюстных костей.

Благодаря преимуществам современных методов визуализации, таких как КТ и КЛКТ, становится возможным получение детализированной информации о топографии, морфологии, размерах

и структуре новообразования. Эти методы позволяют также оценить степень воздействия опухолевого процесса на окружающие мягкие и костные ткани, а также определить состояние жизненно важных анатомических структур в зоне поражения. На сегодняшний день КЛКТ признана «золотым стандартом» визуализации для стоматологических пациентов благодаря ее высокой разрешающей способности, чувствительности к мелким костным элементам и возможности выполнения исследования с минимальными дозами облучения, что позволяет максимально эффективно исследовать область челюстно-лицевых костей с минимальным риском для пациента, обеспечивая точность постановки диагноза и безопасность.

Литература

1. Аржанцев А.П. Рентгенологические проявления кист челюстей. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2019; 9(2): 17–29. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-17-29>.
2. G K, Singh N, Yadav R, et al. Comparative analysis of the accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography for diagnosing complex endodontic pathoses using a gold standard reference – a prospective clinical study. Int Endod J. 2021; 54(9): 1448–61. <https://doi.org/10.1111/iej.13535>.
3. Ленкова И.И., Пархимович Н.П. Доброкачественные неондонтогенные опухоли костей челюстно-лицевой области. Минск: Белорусский государственный медицинский университет; 2009: 32 с.
4. Серова Н.С., Бабкова А.А., Пшеничникова Е.С., Щекотуров И.О. МСКТ диагностика амелобластомы нижней челюсти на до- и послеоперационных этапах лечения (многoletнее наблюдение). Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2020; 10(3): 135–42. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-3-135-142>.
5. Семкин В.А., Бабиченко И.И., Усачев Е.С., Зарецкая А.С. Клинические и патоморфологические особенности кератокист. Стоматология. 2013; 92(5): 14–8.
6. Журавлева А.В., Плеханова Е.Н., Макеев А.В. и др. Первичная одонтогенная опухоль — новая нозологическая единица в классификации ВОЗ опухолей головы и шеи (2017). Архив патологии. 2021; 83(5): 39–42. <https://doi.org/10.17116/patol20218305139>.
7. Яковлев С.В., Топольницкий О.З., Лежнев Д.А. и др. Первичная одонтогенная опухоль у детей. Стоматология. 2023; 102(2): 46–53. <https://doi.org/10.17116/stomat202310202146>.
8. Никитин А.А., Ахтямов Д.В., Сипкин А.М. и др. Одонтогенная миксома верхней челюсти. Альманах клинической медицины. 2015; 41: 110–4.
9. Jákob N, Pintér GT, Kotmayer L, et al. Cherubism in three siblings. Orv Hetil. 2022; 163(11): 446–52 (in Hungarian). <https://doi.org/10.1556/650.2022.32309>.
10. Аржанцев А.П. Доброкачественные опухоли челюстей и их рентгенокиалогические проявления. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2020; 10(1): 27–42. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-27-42>.
11. Грачев Н.С., Костоусова А.И., Ворожцов И.Н. и др. Ювенильная оссифицирующая фиброма синоназальной области. Российская ринология. 2020; 28(2): 65–72. <https://doi.org/10.17116/rosrino20202802165>.
12. Рапекта С.И., Асташина Н.Б., Турсукова О.С., Кибанова В.Е. Ретро- и проспективный анализ комплексного лечения пациента с полиоссальной формой остеокластомы челюстно-лицевой области: клиническое наблюдение. Пермский медицинский журнал. 2024; 41(5): 129–37. <https://doi.org/10.17816/pmj415129-137>.

References

1. Arzhantsev A.P. X-ray signs of jaws cysts. Russian Electronic Journal of Radiology. 2019; 9(2): 17–29 (in Russ). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-17-29>.
2. G K, Singh N, Yadav R, et al. Comparative analysis of the accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography for diagnosing complex endodontic pathoses using a gold standard reference – a prospective clinical study. Int Endod J. 2021; 54(9): 1448–61. <https://doi.org/10.1111/iej.13535>.
3. Lenkova II, Parkhimovich NP. Benign non-ontogenic tumors of maxillofacial bones. Minsk: Belarusian State Medical University; 2009: 32 pp. (in Russ).
4. Serova NS, Babkova AA, Pshenichnikova ES, Schekoturov IO. MSCT diagnosis of ameloblastoma of the lower jaw at the pre- and postoperative periods of treatment (long-term observation). Russian Electronic Journal of Radiology. 2020; 10(3): 135–42 (in Russ). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-3-135-142>.
5. Semkin VA, Babichenko II, Usachev ES, Zaretskaia AS. Clinical and morphological features of odontogenic keratocysts. Stomatology. 2013; 92(5): 14–8 (in Russ).
6. Zhuravleva AV, Plekhanova EN, Makeev AV, et al. Primordial odontogenic tumor is a new nosological entity in the 2017 WHO classification of Head and Neck Tumors. Russian Journal of Archive of Pathology. 2021; 83(5): 39–42 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/patol20218305139>.
7. Yakovlev SV, Topolnitsky OZ, Lezhnev DA, et al. Primordial odontogenic tumor in children. Stomatology. 2023; 102(2): 46–53 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/stomat202310202146>.
8. Nikitin AA, Akhtyamov DV, Sipkin AM, et al. Maxillary sinus odontogenic myxoma. Almanac of Clinical Medicine. 2015; 41: 110–4 (in Russ).
9. Jákob N, Pintér GT, Kotmayer L, et al. Cherubism in three siblings. Orv Hetil. 2022; 163(11): 446–52 (in Hungarian). <https://doi.org/10.1556/650.2022.32309>.
10. Arzhantsev A.P. Benign tumors of the jaws and their X-ray manifestations. Russian Electronic Journal of Radiology. 2020; 10(1): 27–42 (in Russ). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-1-27-42>.
11. Grachev NS, Kostousova AI, Vorozhtsov IN, et al. Juvenile ossifying fibroma in sinonasal region. Russian Rhinology. 2020; 28(2): 65–72 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/rosrino20202802165>.
12. Rapakta SI, Astashina NB, Tursukova OS, Kibanova VE. Retro and prospective analysis of complex treatment of a patient with a polyostotic form of osteoclastoma of the maxillofacial region: clinical observation. Perm Medical Journal. 2024; 41(5): 129–37 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/pmj415129-137>.



Перспективы применения искусственного интеллекта в маммографии

Саибу С.Ф.

ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России,
ул. Островитянова, 1, Москва, 117513, Российская Федерация

Саибу Сюзанна Фадельевна, студентка 6-го курса лечебного факультета ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России;
<https://orcid.org/0009-0009-5294-690X>

Резюме

Сегодня в мире растет интерес к интерпретации рентгенологических, в частности маммографических, данных с применением искусственного интеллекта (ИИ). В представленном обзоре научной литературы, основанном на самых значимых исследованиях последних лет, сделана попытка определить место ИИ в рентгенологической диагностике рака молочной железы (РМЖ). Показано, что в перспективе ИИ может стать неотъемлемой частью маммографического скрининга РМЖ, хотя на данный момент этические и правовые вопросы его использования не до конца решены.

Ключевые слова: маммография; искусственный интеллект; рак молочной железы; обзор.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Саибу С.Ф. Перспективы применения искусственного интеллекта в маммографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(5): 282–286. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-282-286>

Для корреспонденции: Саибу Сюзанна Фадельевна, E-mail: saibu2012@yandex.ru

Статья поступила 06.12.2024

После доработки 11.01.2025

Принята к печати 12.01.2025

Prospects for the Application of Artificial Intelligence in Mammography

Siuzanna F. Saibu

Pirogov Russian National Research Medical University,
ul. Ostrovityanova, 1, Moscow, 117513, Russian Federation

Siuzanna F. Saibu, 6th Year Student, Faculty of Medicine, Pirogov Russian National Research Medical University;
<https://orcid.org/0009-0009-5294-690X>

Abstract

Today in the world there is a growing interest in the interpretation of radiologic, in particular mammographic, data using artificial intelligence (AI). In the presented review of scientific literature, based on the most significant studies of recent years an attempt was made to determine the place of AI in radiologic diagnosis of breast cancer. It is shown that in the future, AI can become an integral part of breast cancer mammographic screening, although at the moment the ethical and legal issues of its use have not been fully resolved.

Keywords: mammography; artificial intelligence; breast cancer; review.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

For citation: Saibu SF. Prospects for the application of artificial intelligence in mammography. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(5): 282–286 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-282-286>

For corresponding: Siuzanna F. Saibu, E-mail: saibu2012@yandex.ru

Received December 6, 2024

Revised January 11, 2025

Accepted January 12, 2025

Введение / Introduction

В мире ежегодно проводится более 100 млн маммографических исследований в рамках скрининга рака молочной железы (РМЖ). При использовании маммографии в качестве скринингового метода уровень смертности от РМЖ снижается на 40–63% [1].

Для прочтения каждой рентгенограммы обычно требуется два рентгенолога, что повышает стоимость процедуры. В Австралии, Великобритании, Новой Зеландии и еще 19 развитых странах скрининг РМЖ финансируется государством [2].

В странах с развивающейся экономикой и большой численностью населения, таких как Индия, Пакистан, Индонезия, были предприняты попытки проведения маммографии с последующим масштабным использованием искусственного интеллекта (ИИ) и глубокого обучения для оптимизации скрининга РМЖ [3].

Основные понятия / Basic concepts

Во всем мире растет интерес к интерпретации рентгенологических данных с помощью ИИ (табл. 1).

Маммография предоставляет широкую область для клинического применения ИИ. Инструменты глубокого обучения могут способствовать повышению точности скрининга РМЖ без биопсии. После обучения ИИ независимо от исследователя способен анализировать новые маммограммы, точно обнаруживать и классифицировать образования молочной железы, предоставляя рентгенологам второе мнение для повышения точности диагностики [8].

Модели искусственных нейронных сетей, созданные для помощи в интерпретации маммограмм, обычно учитывают факторы риска пациенток (возраст и семейный анамнез) и результаты маммографии (образования и кальцинаты) в качестве входных данных и оценивают соответствующий риск развития РМЖ, чтобы помочь в принятии решения о биопсии [7].

Исследования эффективности и нерешенные проблемы / Efficiency studies and unresolved issues

В США программы ИИ были подвергнуты экспертизе Управления по контролю качества пищевых

Таблица 1

Термины и определения

Table 1

Terms and definitions

Термин / Term	Определение / Definition
Искусственный интеллект / Artificial intelligence	Сложная компьютерная программа, способная выполнять задачи, обычно требующие человеческого интеллекта, в таких областях, как визуальное восприятие и принятие решений [4] / A complex computer program capable of performing tasks that usually require human intelligence in areas such as visual perception and decision-making [4]
Машинное обучение / Machine learning	Научная область искусственного интеллекта, которая изучает компьютерные алгоритмы, позволяющие компьютерным программам автоматически совершенствоваться по мере накопления опыта [5] / The scientific field of artificial intelligence, which studies computer algorithms that allow computer programs to automatically improve as they gain experience [5]
Глубокое обучение / Deep learning	Подмножество методов машинного обучения, основанных на искусственных нейронных сетях. В сочетании с высокой вычислительной мощностью и большими наборами данных могут применяться для решения широкого ряда задач, включая те, которые ранее были под силу только человеку [6] / A subset of machine learning methods based on artificial neural networks. Combined with high computing power and large datasets, they can be used to solve a wide range of tasks, including those that previously were only possible for humans [6]
Искусственная нейронная сеть / Artificial neural network	Компьютерные модели, которые способны дублировать аспекты человеческого интеллекта, одновременно используя вычислительную мощность компьютеров, и обрабатывать большой объем информации одновременно, обучаясь на предыдущих случаях [7] / Computer models that are able to duplicate aspects of human intelligence, simultaneously using the calculating power of computers, and process a large amount of information simultaneously, learning from previous cases [7]
Системы поддержки принятия решений / Decision support systems	Системы, максимально приспособленные к решению задач повседневной деятельности. Являются инструментом, призванным оказывать помощь лицам, принимающим решения [5] / Systems that are maximally adapted to solving the tasks of daily activities. It is a tool designed to assist decision makers [5]

продуктов и лекарственных средств (Food and Drug Administration, FDA) из-за потенциального влияния на здоровье человека. FDA одобрило девять программ ИИ для скрининга РМЖ, выявления подозрительных поражений и сортировки маммограмм [9]. Критериями для отбора служили высокие показатели чувствительности и специфичности, а также площади под кривой (area under curve, AUC), при этом биопсия являлась основным методом оценки точности скрининга в большинстве программ ИИ [10].

В систематическом обзоре исследований, проведенных в США, Китае и Японии, ИИ показал значительную эффективность при анализе изображений РМЖ с чувствительностью 98% и специфичностью 99% [11].

Гибридная модель глубокого обучения, учитывавшая как традиционные факторы риска, так и маммограммы, показала самую высокую диагностическую эффективность (AUC 0,70) по сравнению с моделью, основанной на клинических факторах риска (AUC 0,62–0,67), и моделью, использовавшей только маммограммы (AUC 0,68) [12, 13].

В Швеции в проспективное когортное исследование ScreenTrustCAD была включена 55 581 женщина (возрастной диапазон 40–74 лет) без имплантатов молочных желез, без установленных мутаций в генах *BRCA1*, *BRCA2*, *PTEN*, *TP53*, *STK11*, *CDH1*, без РМЖ в анамнезе, участвовавшая в популяционном скрининге в районе охвата одной больницы (западный округ Стокгольма и часть внутреннего города). Проводилось сравнение результатов, полученных при двойном прочтении маммограмм одним рентгенологом при поддержке принятия решений ИИ, одиночном прочтении только с помощью ИИ, тройном прочтении двумя рентгенологами при поддержке принятия решений ИИ со стандартным двойным прочтением двумя рентгенологами. У 269 (0,5%) женщин был диагностирован РМЖ по данным двойного прочтения маммограмм одним рентгенологом при использовании систем поддержки принятия решений, что оказалось сопоставимо со стандартным двойным прочтением двумя рентгенологами (261 (0,5%) и 250 (0,4%) выявленных случаев соответственно). Одиночное прочтение только с помощью ИИ (246 (0,4%) против 250 (0,4%) выявленных случаев) и тройное прочтение двумя рентгенологами при поддержке принятия решений ИИ (269 (0,5%) против 250 (0,4%) выявленных случаев) также не уступали двойному прочтению двумя рентгенологами. Замена одного рентгенолога на ИИ для независимого прочтения скрининговых маммограмм привела к повышению частоты выявления рака на 4% по сравнению с двойным прочтением рентгенологом, что свидетельствует о перспективности использования ИИ для интерпретации маммографических изображений [14].

Российскими исследователями также показана возможность и доказана перспективность применения ИИ для описания маммографических изображений с чувствительностью и специфичностью, равными таковым при работе двух врачей-рентгенологов или превосходящими их [15, 16]. В Москве согласованность между ИИ и врачом-рентгенологом при оценке маммограмм, выполненных в рамках скрининга, достигает 84,10% [17].

Исследования демонстрируют, что использование ИИ, в частности сверточных нейронных сетей, может уменьшить количество ошибок при оценке медицинских изображений. Однако требуются дальнейшие стандартизированные исследования до внедрения данной диагностической процедуры в скрининг РМЖ [10, 18].

Разработанные модели ИИ точно обнаруживают и характеризуют микрокальцинаты на маммограммах [8]. Валидированная модель многопроекционной контрастной маммографии в сочетании с программами глубокого обучения показала многообещающие результаты в обнаружении РМЖ [19].

ИИ обеспечивает быструю обработку изображений, что приводит к экономии ресурсов, однако может не обладать адаптивностью в нестандартных ситуациях [20]. Кроме того, сложно проводить и, тем более, сравнивать научные исследования по оценке маммографических изображений, разрабатывать по ним алгоритмы ИИ, так как используются базы данных разных больниц, рентгенологические аппараты разных производителей, разные параметры изображений. Использование только ИИ в диагностике изображений связано с этическими проблемами медицинской ответственности, общественной приемлемости, обучения рентгенологов и лицензирования систем ИИ [13, 14].

Проведены исследования, включавшие следующие характеристики комплексных данных маммографической визуализации: объем, маркировка, источник изображения, разрешение, формат изображения, маркировка положения образования, дескрипторы фоновой ткани, доступность. Многие исследователи используют для обучения известные базы данных, содержащие цифровые изображения: Digital Database for Screening Mammography (DDSM), MIAS Mini Mammographic Database, INbreast database, Breast Cancer Digital Repository (BCDR), Curated breast imaging subset of DDSM (CBIS-DDSM), OPTIMAM, The Chinese mammography database (CMMD) [20, 21].

Разработка новых систем компьютерной диагностики на основе глубокого обучения является сложной задачей. Для глубокого обучения необходимы большие, дорогостоящие базы данных. Ограничениями при обмене данными между организациями и их объединении являются конфиденциальность пациентов, регламентируемая,

к примеру, в США Законом о переносимости и подотчетности медицинского страхования (Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA), который применяется как к изображениям, так и к клиническим данным. Накопленный положительный опыт успешного использования глубокого обучения показывает ценность открытой науки и важность сбора значительных, высококачественных, анонимных, общедоступных и обобщаемых наборов данных [10].

Авторы одного из исследований сообщают, что системы на основе глубокого обучения превосходят традиционное машинное обучение, в котором используются созданные вручную признаки, в некоторых задачах приближаясь к производительности рентгенолога (рис. 1). Для применения таких систем необходимы большие контроли-

руемые наборы данных, непрерывные обновления алгоритмов и внешняя проверка. Вероятно, ИИ будет играть важную роль в скрининговой маммографии [10].

Заключение / Conclusion

В настоящее время актуальным является не только исследование эффективности ИИ в диагностике медицинских изображений, но и изучение его возможностей в обучении рентгенологов и поддержке принятия ими решений при интерпретации маммограмм.

В целом можно сделать вывод, что ИИ способен стать неотъемлемой частью маммографического скрининга РМЖ, несмотря на то что на сегодняшний день этические и правовые вопросы использования ИИ остаются не до конца решенными.

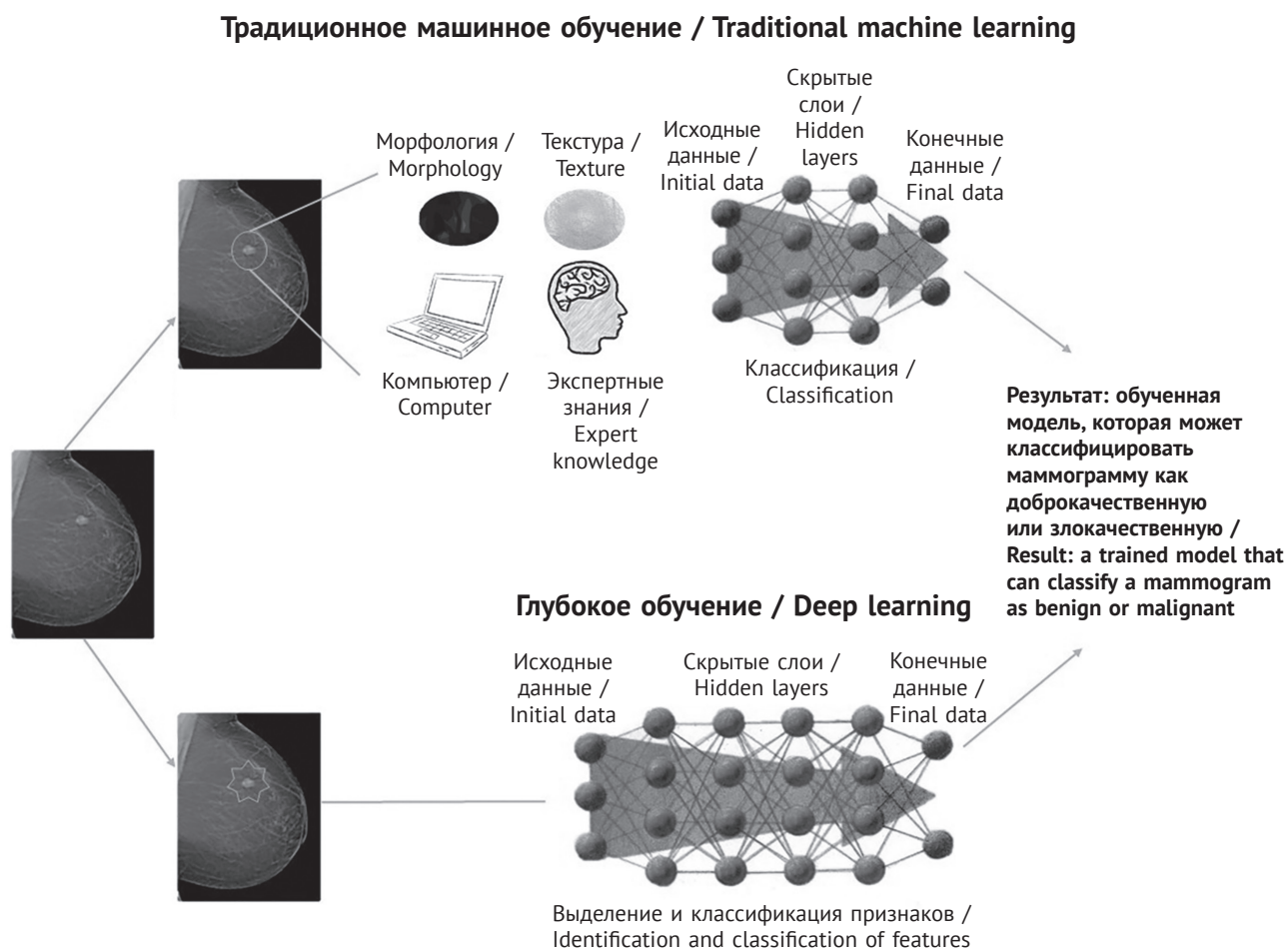


Рис. 1. Сравнение традиционного машинного обучения и глубокого обучения при интерпретации маммограммы. Алгоритм на основе глубокого обучения самостоятельно анализирует изображение, тогда как при традиционном машинном обучении учитываются особенности, разработанные человеком [4]

Fig. 1. Comparison of traditional machine learning and deep learning in mammogram interpretation. A deep learning-based algorithm analyzes an image on its own, whereas traditional machine learning takes into account human-developed features [4]

Литература [References]

1. Tabár L, Vitak B, Chen HH, et al. Beyond randomized controlled trials: organized mammographic screening substantially reduces breast carcinoma mortality. *Cancer*. 2001; 91(9): 1724–31. [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(20010501\)91:9<1724::aid-cncr1190>3.0.co;2-v](https://doi.org/10.1002/1097-0142(20010501)91:9<1724::aid-cncr1190>3.0.co;2-v).
2. Ren W, Chen M, Qiao Y, Zhao F. Global guidelines for breast cancer screening: a systematic review. *Breast*. 2022; 64: 85–99. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2022.04.003>.
3. Talley CH, Yang L, Williams KP. Breast cancer screening paved with good intentions: application of the information-motivation-behavioral skills model to racial/ethnic minority women. *J Immigr Minor Health*. 2017; 19(6): 1362–71. <https://doi.org/10.1007/s10903-016-0355-9>.
4. Weiyu W, Siau K. Artificial intelligence, machine learning, automation, robotics, future of work and future of humanity: a review and research agenda. In: *Research anthology on machine learning techniques, methods, and applications*. Chapter 76. Engineering Science Reference; 2022: 1460–81.
5. Kufel J, Bargiet-Łączek K, Kocot S, et al. What is machine learning, artificial neural networks and deep learning? – Examples of practical applications in medicine. *Diagnostics*. 2023; 13(15): 2582. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152582>.
6. Logan J, Kennedy PJ, Catchpoole D. A review of the machine learning datasets in mammography, their adherence to the FAIR principles and the outlook for the future. *Sci Data*. 2023; 10(1): 595. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02430-6>.
7. Ayer T, Chen Q, Burnside ES. Artificial neural networks in mammography interpretation and diagnostic decision making. *Comput Math Methods Med*. 2013; 2013: 832509. <https://doi.org/10.1155/2013/832509>.
8. Pesapane F, Trentin C, Ferrari F, et al. Deep learning performance for detection and classification of microcalcifications on mammography. *Eur Radiol Exp*. 2023; 7(1): 69. <https://doi.org/10.1186/s41747-023-00384-3>.
9. Lamb LR, Lehman CD, Gastounioti A, et al. Artificial intelligence (AI) for screening mammography, from the AJR special series on AI applications. *AJR Am J Roentgenol*. 2022; 219(3): 369–80. <https://doi.org/10.2214/AJR.21.27071>.
10. Al Muhaisen S, Safi O, Ulayan A, et al. Artificial intelligence-powered mammography: navigating the landscape of deep learning for breast cancer detection. *Cureus*. 2024; 16(3): e56945. <https://doi.org/10.7759/cureus.56945>.
11. Uzun Ozsahin D, Ikechukwu Emegano D, Uzun B, Ozsahin I. The systematic review of artificial intelligence applications in breast cancer diagnosis. *Diagnostics*. 2022; 13(1): 45. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13010045>.
12. Yala A, Lehman C, Schuster T, et al. A deep learning mammography-based model for improved breast cancer risk prediction. *Radiology*. 2019; 292(1): 60–6. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182716>.
13. Yoon JH, Kim EK. Deep learning-based artificial intelligence for mammography. *Korean J Radiol*. 2021; 22(8): 1225–39. <https://doi.org/10.3348/kjr.2020.1210>.
14. Bahl M, Do S. Artificial intelligence for breast cancer screening: trade-offs between sensitivity and specificity. *Radiol Artif Intell*. 2024; 6(3): e240184. <https://doi.org/10.1148/ryai.240184>.
15. Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владимировский А.В. и др. Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований. *Digital Diagnostics*. 2023; 4(2): 93–104. <https://doi.org/10.17816/DD321423>. [Vasilev YuA, Tyrov IA, Vladymyrsky AV, et al. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: a new model of mass preventive examination organization. *Digital Diagnostics*. 2023; 4(2): 93–104 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/DD321423>.]
16. Павлович П.И., Броннов О.Ю., Капнинский А.А. и др. Сравнительное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «Цельс» и врачей-рентгенологов. *Digital Diagnostics*. 2021; 2(2S): 22–3. <https://doi.org/10.17816/DD83184>. [Pavlovich PI, Bronov OY, Kapninsky AA, et al. Comparative study of the digital mammography data analysis system based on artificial intelligence "Celsus" and radiologists. *Digital Diagnostics*. 2021; 2(2S): 22–3 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/DD83184>.]
17. Васильев Ю.А., Владимировский А.В., Арзамасов К.М. и др. Первые 10000 маммографических исследований, выполненных в рамках услуги «описание и интерпретация данных маммографического исследования с использованием искусственного интеллекта». *Менеджер здравоохранения*. 2023; 8: 54–67. <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2023-8-54-67>. [Vasilev YA, Vladimirovsky AV, Arzamasov KM, et al. The first 10,000 mammography exams performed as part of the "Description and interpretation of mammography data using artificial intelligence" service. *Manager Zdravookhranenia*. 2023; 8: 54–67 (in Russ). <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2023-8-54-67>.]
18. Wong DJ, Gandomkar Z, Wu WJ, et al. Artificial intelligence and convolution neural networks assessing mammographic images: a narrative literature review. *J Med Radiat Sci*. 2020; 67(2): 134–42. <https://doi.org/10.1002/jmrs.385>.
19. Helal M, Khaled R, Alfarghaly O, et al. Validation of artificial intelligence contrast mammography in diagnosis of breast cancer: relationship to histopathological results. *Eur J Radiol*. 2024; 173: 111392. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111392>.
20. Carriero A, Groenhoff L, Vologina E, et al. Deep learning in breast cancer imaging: state of the art and recent advancements in early 2024. *Diagnostics*. 2024; 14(8): 848. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14080848>.
21. Mračko A, Vanovčanová L, Cimrák I. Mammography datasets for neural networks-survey. *J Imaging*. 2023; 9(5): 95. <https://doi.org/10.3390/jimaging9050095>.



К 130-летию со дня рождения основателя первой кафедры медицинской радиологии профессора В.К. Модестова

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

Василий Корнилович Модестов является знаковой фигурой медицинской науки. К его заслугам относятся становление курортного дела на Урале, развитие российской бальнеологии и радиобальнеологии, целый ряд важных изобретений и предложений, сохранивших здоровье многим воинам в годы Великой Отечественной войны. Однако даже в кругу специалистов-радиологов мало известна роль В.К. Модестова как организатора первой в стране кафедры медицинской радиологии в развитии диагностического и лечебного использования открытых радиоактивных изотопов. В попытке исправить эту несправедливость авторы рассматривают истоки зарождения кафедры медицинской радиологии, основные этапы ее становления под руководством В.К. Модестова.

Ключевые слова: юбилей; Модестов Василий Корнилович; кафедра медицинской радиологии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Миронов С.П., Сергиенко В.Б. К 130-летию со дня рождения основателя первой кафедры медицинской радиологии профессора В.К. Модестова. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(5): 287–291. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-287-291>

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

Статья поступила 20.12.2024

После доработки 22.01.2025

Принята к печати 23.01.2025

130 Years Since the Birth of Professor V.K. Modestov, the Founder of the First Medical Radiology Department

Sergey P. Mironov, Vladimir B. Sergienko

Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, Chazov 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, Chazov 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, Chazov National Medical Research Center for Cardiology;
<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

Abstract

Vasily Kornilovich Modestov is an iconic figure of medical science. His achievements include the establishment of the resort destination in the Urals, the development of Russian balneology and radiobalneology, and a number of important inventions and proposals that preserved the health of many soldiers during the Great Patriotic War. However, even among radiologists, the role of V.K. Modestov as an organizer of the country's first

Medical Radiology Department in the development of diagnostic and therapeutic use of open radioactive isotopes is little known. In an attempt to correct this injustice, the authors consider the origins of Medical Radiology Department, the main stages of its formation under the leadership of V.K. Modestov.

Keywords: anniversary; Vasiliy K. Modestov; medical radiology department.

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

For citation: Mironov SP, Sergienko VB. 130 years since the birth of Professor V.K. Modestov, the founder of the first Medical Radiology Department. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(5): 287–291 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-287-291>

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

Received December 20, 2024

Revised January 22, 2025

Accepted January 23, 2025

Василий Корнилович Модестов, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач РСФСР, родился 12 (25) апреля 1895 г. в с. Абрамовка Оренбургской губернии в семье диакона. В 1923 г. после окончания медицинского факультета Пермского университета он стал специализироваться на кожных заболеваниях. В 1928 г. поступил в аспирантуру при кафедре дерматовенерологии Пермского университета.

Темой его кандидатской диссертации стало применение радоновых ванн в терапии кожных заболеваний (радоновая бальнеотерапия), что на тот момент было новым направлением в медицине. Метод предусматривал воздействие на организм человека радиоактивной минеральной воды, обогащенной радоном. В.К. Модестов экспериментально исследовал влияние радоновых ванн на капилляры, митогенез кожи и крови, показал их благотворное воздействие на сердечно-сосудистую и нервную системы. Он одним из первых предложил заменить ванны с природной радиоактивной водой на искусственные, где радиоактивный инертный газ радон разводится в воде до нужной концентрации.

В 1932 г. Василий Корнилович стал доцентом кафедры кожных и венерических заболеваний Пермского государственного медицинского института. В предвоенные годы вместе с профессором П.А. Ясницким он изучал лечебную ценность минеральных вод Пермской области. На основании этих исследований Наркомздрав РСФСР вынес решение о строительстве здравницы в селе Усть-Качка, где ныне находится один из крупнейших курортов Урала. После защиты докторской диссертации в 1940 г. В.К. Модестов получил должность профессора кафедры пропедевтики внутренних болезней по курсу физиотерапии.

В годы войны Василий Корнилович руководил эвакуационным госпиталем, развернутом на базе Пермской краевой клинической больницы. В этот период он проявил себя и как талантливый изобретатель. Одной из серьезных проблем была нехватка перевязочных средств и лекарств. Ученый предложил использовать вместо ваты целлюлозу, производившуюся бумажными комбинатами ре-



Василий Корнилович Модестов (1895–1969)

гиона, разработал метод извлечения и отчистки марли из гипсовых повязок, метод изготовления мази Вишневского на турбинном масле. Широкое распространение в армии получили созданные В.К. Модестовым специальные антисептические пакеты, пропитанные йодобромной водой, которые предотвращали развитие инфекции в ране и способствовали ее заживлению. Также использовались предложенные им химические стельки

и носки из особой бумаги для профилактики обморожений, глиняное мыло, комбинированный порошок «М» дезинсекционного действия. В 1942 г. за эти важные рационализаторские предложения в деле оказания помощи раненым и больным воинам Василий Корнилович был удостоен звания «Заслуженный врач РСФСР», награжден орденом Красной Звезды [1]. В 1944 г. он был переведен на должность директора Сочинского государственного клинического научно-исследовательского института им. Сталина, позже преобразованного в Сочинский НИИ курортологии и физиотерапии.

В 1951 г. профессор В.К. Модестов был отозван в Москву, чтобы возглавить первую в стране кафедру медицинской радиологии, формируемую в Центральном институте усовершенствования врачей (ЦИУ), и стал по воле судеб одним из пионеров использования радиоизотопов в диагностике и терапии. Истоки создания кафедры восходят к 29 августа 1949 г., когда на полигоне в Семипалатинске был взорван первый советский атомный заряд мощностью 20 килотонн тротилового эквивалента. Политический резонанс испытания РДС-1 далеко превзошел его техническое значение, кардинально изменив мировую геополитическую реальность, облик которой в течение четырех послевоенных лет определялся атомной монополией США. Отныне с ней было покончено. Так был завершен один из этапов атомного проекта СССР – комплекса научных изысканий и организационно-технических мер, реализованных в Советском Союзе в 1940–50-х гг. с целью создания отечественного ядерного оружия и формирования в стране новой отрасли народного хозяйства – атомной энергетики [2].

Среди ответвлений атомного проекта были предусмотрены развитие работ и подготовка специалистов в области применения радиоактивных изотопов в медицинских и биологических исследованиях. Специфика поставленных задач определила профиль специалистов, зачисленных в штат кафедры. Одними из первых были Давид Эммануилович Гродзенский и Симон Эльевич Шноль. Д.Э. Гродзенский – биохимик, специалист в области радиобиологии, полковник медицинской службы, доктор медицинских наук. В 1949 г. он был руководителем биохимического сектора во время первого испытания советского ядерного оружия в районе Семипалатинска [3]. С.Э. Шноль – выпускник кафедры биохимии биологического факультета Московского государственного университета (МГУ). Начинать работу на кафедре медицинской радиологии – сначала в качестве старшего лаборанта, затем ассистента и доцента. В 1956 г. защитил кандидатскую диссертацию «О связывании меченых аминокислот белками *in vitro*». В 1960 г. перешел на работу в МГУ на кафедру биофизики

физического факультета, где добился выдающихся успехов в науке. Его именем названа малая планета (Shnollia), он широко известен как автор книг по истории отечественной науки [4].

Вот как С.Э. Шноль описывает свою работу на кафедре медицинской радиологии [5]: «Я начал работать на кафедре медицинской радиологии в сентябре 1951 г. Меня встретил мрачный человек – назвался Давид Эммануилович Гродзенский – биохимик, недавно демобилизованный полковник. Отвел к начальству – профессору Василию Корниловичу Модестову ... Благожелателен. Постоянный энтузиазм ... Восхищен моим умением все считать на логарифмической линейке. Поручает мне множество дел. Задача – обучение врачей-курсантов, военных и штатских, применению радиоактивных изотопов в медицинских и биологических исследованиях ... Работа была опасной. Мне привозили контейнеры с радиоактивными изотопами, иногда с очень высокой радиоактивностью. Никаких принятых норм радиационной безопасности еще не существовало. Контейнеры и документы к нам привозили сотрудники Министерства государственной безопасности ... Все это придавало мне особую значительность у окружающих, не посвященных в суть дела. Довольно скоро молва приписала мне особую секретную деятельность «с атомами». Мне приходилось с самого начала налаживать все радиоактивное хозяйство – монтировать счетчики и дозиметры, складывать из тяжелых свинцовых блоков защиту от излучения в хранилище для контейнеров, а главное, придумывать простейшие приборы и приспособления для дистанционного приготовления разбавленных растворов радиоактивных препаратов – это самая опасная процедура ... Большая лучевая нагрузка. Придумывание и налаживание лабораторных учебных задач. И сразу чтение лекций. Слушатели – военные и штатские врачи, все старше меня. Страшновато. Я счастлив...»

Радиационная безопасность – одно из ведущих и важных условий использования радиоактивных изотопов в медицине. Следует подчеркнуть, что преподавание вопросов дозиметрии и защиты от излучений впервые было организовано на кафедре медицинской радиологии, и только в 1957 г. в ЦИУ появилась первая в стране кафедра радиационной гигиены [6]. Энтузиазм и незаурядные организаторские способности профессора В.К. Модестова позволили оперативно расширить спектр учебных и научных задач, активно развивать диагностическое и лечебное применение открытых радиоактивных препаратов, привлечь для работы на кафедре специалистов клинического профиля.

Уже в 1955 г. в содружестве с профессором И.И. Ивановым (заведующим кафедрой биохимии ЦИУ и лабораторией биохимии Института биофи-

зики Минздрава СССР) и кандидатом технических наук Ю.М. Штуккенбергом (заведующим лабораторией Института биофизики Минздрава СССР) В.К. Модестов опубликовал первое практическое руководство «Радиоактивные изотопы в медицине и биологии», своеобразную пропедевтику ядерной медицины. Руководство состояло из четырех частей и включало сведения из области физики ионизирующих излучений, основы радиометрии, применение радиоактивных изотопов в качестве индикаторов в биологии и биохимии, использование радиоактивных изотопов для диагностических и лечебных целей, гигиену труда при работе с открытыми радиоактивными источниками.

Приглашенный на кафедру в качестве ассистента Виталий Романович Клячко (будущий руководитель диабетологического отделения клиники Института экспериментальной эндокринологии и химии гормонов Академии медицинских наук СССР) преподавал вопросы использования радиоактивных изотопов в эндокринологии. Он изучал способы и схемы применения меченного йодом-131 трийодтиронина для диагностики заболеваний щитовидной железы, лечения тиреотоксического зоба и рака щитовидной железы, в том числе его метастатической формы, а также возможные осложнения радиойодтерапии [7]. В дальнейшем эти исследования, а также результаты диссертационной работы преподавателя кафедры Альбины Люциановны Козыревой о лечебном применении радиоактивного фосфора при заболеваниях системы крови легли в основу книги из серии «Библиотека практического врача»: В.К. Модестов, А.Л. Козырева, В.Р. Клячко «Лечебное применение радиоактивных изотопов J131 и P32» (1964 г.).

Существенный вклад в педагогический процесс внес клиницист Давид Синаевич Сивошинский, изучавший диагностические возможности применения в онкологии и офтальмологии автордиографических исследований. В 1968 г. он перешел в Институт экспериментальной и клинической онкологии Академии медицинских наук СССР (ныне Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России) и возглавил там группу радиоизотопной диагностики.

Клинической базой кафедры медицинской радиологии с момента ее формирования являлся один из корпусов Московской городской клинической больницы им. С.П. Боткина, недостаточно приспособленный для расширения экспериментальных и клинических радиоизотопных исследований. В середине 1950-х гг. началось проектирование, а затем и строительство на территории Боткинской больницы радиологического корпуса и здания вивария института. К 1965 г. строительство и ввод в эксплуатацию радиологическо-

го корпуса ЦИУ (ныне – Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, РМАНПО) были закончены. В нем расположились три кафедры радиологического профиля (клинической радиологии, медицинской радиологии, радиационной гигиены), радиологическая клиника на 75 коек, включавшая помимо помещений для дистанционной лучевой терапии отделения радиойодтерапии и радиоизотопной диагностики, ряд кафедр теоретического профиля, а также созданная в ЦИУ и вошедшая в состав кафедры медицинской радиологии проблемная электронно-физическая научно-исследовательская лаборатория (ПЭФНИЛ). Одна из задач лаборатории заключалась в расширении научной работы в области медицинской физики с целью повышения эффективности диагностических радиоизотопных исследований.

К этому времени в ядерной медицине произошли события, в корне изменившие представления о возможностях радионуклидной диагностики. Была разработана диагностическая система с неподвижным детектором – сцинтилляционная гамма-камера, которая определила развитие принципиально нового метода радионуклидной визуализации – сцинтиграфии. Для подготовки врачей-радиологов в этом направлении, не без усилий руководства кафедры, в конце 1960-х гг. в радиологической клинике начала функционировать первая закупленная в СССР сцинтилляционная гамма-камера (Pho-Gamma III фирмы Nuclear Chicago), оснащенная системой хранения и обработки информации в виде 4096-канального анализатора. Все это дало мощный толчок к формированию нового направления в преподавании, науке, практической работе. К сожалению, Василий Корнилович не смог реализовать свои планы развития кафедры. Он ушел из жизни летом 1969 г.

Память о профессоре В.К. Модестове, его вкладе в становление курортного дела на Урале бережно хранят в Пермском крае. В 1965 г. на здании главного корпуса курорта Усть-Качка была открыта мемориальная доска с бронзовым барельефным портретом первого исследователя минеральных вод Усть-Качки и основателя курорта профессора Василия Корниловича Модестова, а в 1995 г. прошла медицинская конференция, посвященная его 100-летию юбилею. Вместе с тем можно с сожалением констатировать, что роль профессора В.К. Модестова как основателя кузницы кадров врачей-радиологов, его вклад в развитие медицинской радиологии остаются мало известными даже в профессиональной среде. Авторы надеются, что приведенные материалы внесут свою лепту в освещение деятельности В.К. Модестова на посту первого руководителя первой в стране кафедры медицинской радиологии.

Литература

1. Лядова В.В. Заслуженный врач РСФСР В.К. Модестов (1895–1969). В кн.: Поддубный М.В. (ред.) Opera Medica Historica. Труды по истории медицины: Альманах РОИМ. Вып. 2. М.: Магистраль; 2017: 514–9.
2. Визгин В.П. Уроки истории советского атомного проекта. Управление наукой: теория и практика. 2019; 1(2): 145–63. <https://doi.org/10.19181/smt.2019.1.2.9>.
3. Биография – Давид Гродзенский. URL: <https://www.livelib.ru/author/427960-david-grodzenskij> (дата обращения 21.11.2024).
4. Биография исследователя времени. С.Э. Шноль. URL: <http://www.chronos.msu.ru/old/biographies/shnol.html> (дата обращения 21.11.2024).
5. Кафедра медицинской радиологии ЦИУ. URL: <http://www.famhist.ru/famhist/shnol/001063c5.htm> (дата обращения 21.11.2024).
6. Голиков В.Я. Кафедре радиационной гигиены 25 лет. Гигиена и санитария. 1982; 6: 45–9.
7. Кутузова М.Е. Посвящается памяти Виталия Романовича Клячко. Сахарный диабет. 2014; 17(4): 120–3. <https://doi.org/10.14341/DM20144120-123>.

References

1. Lyadova VV. Honored Doctor of the RSFSR V.K. Modestov (1895–1969). In: Poddubnyy MV (Ed). Opera Medica Historica. Works on the history of medicine: The ROIM Almanac. Issue 2. Moscow: Magistral'; 2017: 514–9 (in Russ).
2. Vizgin VP. Some lessons from history of the Soviet atomic project. Science Management: Theory and Practice. 2019; 1(2): 145–63 (in Russ). <https://doi.org/10.19181/smt.2019.1.2.9>.
3. Biography – David Grodzensky. Available at: <https://www.livelib.ru/author/427960-david-grodzenskij> (in Russ) (accessed 21.11.2024).
4. Biography of time researcher. S.E. Shnol. Available at: <http://www.chronos.msu.ru/old/biographies/shnol.html> (in Russ) (accessed 21.11.2024).
5. Department of Medical Radiology, Central Institute of Advanced Medical Training. Available at: <http://www.famhist.ru/famhist/shnol/001063c5.htm> (in Russ) (accessed 21.11.2024).
6. Golikov VYa. 25 years of Department of Radiation Hygiene. Hygiene and Sanitation, Russian Journal. 1982; 6: 45–9 (in Russ).
7. Kutuzova ME. In memory of Vitaly R. Klyachko. Diabetes mellitus. 2014; 17(4): 120–3 (in Russ). <https://doi.org/10.14341/DM20144120-123>.