

УДК 611.01+378.147+37.026.1+616-073.756.8+616-71+004.932

НОВЫЙ ЭТАП В ИЗУЧЕНИИ АНАТОМИИ ЧЕЛОВЕКА: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

© *Вадим Ильич Михайлов, Светлана Александровна Андреева,
Наталья Рафаиловна Карелина, Елена Владимировна Яценко*

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.
194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2

Контактная информация: Вадим Ильич Михайлов — студент 2 курса педиатрического факультета.
E-mail: imvad777@gmail.com

Поступила: 24.06.2022

Одобрена: 21.07.2022

Принята к печати: 05.09.2022

РЕЗЮМЕ. Анатомия является первой истинно медицинской дисциплиной, с которой первокурсник, еще вчерашний школьник, сталкивается в вузе, но вместе с тем она является прочным фундаментом, лежащим в основе будущих врачебных знаний. В настоящее время существует потребность в способах прижизненного исследования строения тела человека, которые могут расширить взгляд на изучение анатомии, а также облегчат и разнообразят учебный процесс. К таким современным, активно развивающимся, а с другой стороны, уже стойко укоренившимся методикам относятся, в частности, компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). В работе представлены возможные варианты модернизации получения знаний с учетом различных форматов визуализации учебного материала. В качестве примера использовано программное обеспечение для манипуляций с изображениями RadiAnt DICOM Viewer. Без сомнений, уверенное владение такой фундаментальной дисциплиной, как анатомия, необходимо для дальнейшего обучения, но еще важнее эти знания для успешной работы любого врача. Использование изображений, результатов КТ- и МРТ-исследований во время изучения анатомии человека знакомит студентов с современными методами диагностики в реальной клинической практике. Внедрение инновационных способов изучения анатомии способствует формированию у студентов мотивации, структуризации знаний, развитию логического мышления и умения устанавливать причинно-следственные связи, что облегчает изучение дальнейших дисциплин, таких как топографическая анатомия, патологическая анатомия, лучевая диагностика и т.д.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изучение анатомии человека; учебный процесс; DICOM; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; медицинская визуализация.

PROBLEMS OF STUDYING ANATOMY: A MODERN APPROACH TO STUDY IN COMBINATION WITH MEDICAL IMAGING TECHNIQUES

© *Vadim I. Mikhailov, Svetlana A. Andreeva, Natalia R. Karelina, Elena V. Yatsenko*

Saint-Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Saint-Petersburg, Litovskaya str., 2

Contact information: Vadim I. Mikhaylov — 2nd year student of the Department of Pediatrics.
E-mail: invad777@gmail.com

Received: 24.06.2022

Revised: 21.07.2022

Accepted: 05.09.2022

ABSTRACT. Anatomy is the first true medical discipline that a freshman, still yesterday's schoolboy, encounters in higher education, but it is also a solid foundation underlying future medical knowledge. Currently, there is a need for ways of studying the human body in vivo that can broaden the view of the study of anatomy as well as facilitate and diversify the learning process. Such modern, actively developing and, on the other hand, already firmly established techniques include, in particular, computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI). This paper presents possible options for modernizing knowledge acquisition by taking into account different formats for visualizing learning material. RadiAnt DICOM Viewer image manipulation software is used as an example. No doubt, a confident mastery of such a fundamental discipline as anatomy is necessary for further education, but even more important is this knowledge for the successful work of any physician. The introduction of CT and MRI studies in the training of future specialists introduces them to modern diagnostic methods in clinical practice already at the initial stage of training. The introduction of innovative ways of studying anatomy contributes to motivating students, structuring knowledge, developing logical thinking and the ability to establish causal relationships, which facilitates learning of further disciplines, such as topographical anatomy, pathological anatomy, radiology diagnostics, etc.

KEY WORDS: study of human anatomy; educational process; DICOM; computer tomography; magnetic resonance imaging; medical imaging.

ВВЕДЕНИЕ

Мне часто приходилось водить рукой хирургов, мало изощренных в анатомии, и тем спасти их от публичного позора.

*Гален, римский медик, хирург и философ
(129–216) [30]*

Ресурсы познания анатомии человека студентами век назад и сейчас в значительной степени различны: на сегодняшний день мы можем использовать комплексный, структурированный подход как за счет уже накопленных знаний, так и новых технологий.

Современное поколение имеет свободный доступ к интернет-ресурсам, а следовательно, и к учебной литературе в электронном формате. Большинству современных студентов в процессе обучения намного удобнее использовать вместо громоздких учебников, выданных в библиотеке, компактные гаджеты. Иными словами, среди молодежи наблюдается тенденция к отказу от печатных изданий в пользу электронных — все реже в поисках нужной литературы студенты обращаются в библиотеку [4].

В то же время медицинское образование непрерывно развивается, заставляя нас пересматривать консервативные подходы и внедрять новые методы обучения. Но полный

отказ от классического изучения анатомии невозможен, так как работа с натуральными препаратами незаменима и должна быть продолжена: трудно переоценить ее значимость для формирования врачебного мышления и получения конкретных знаний. Как правило, отход от традиционного преподавания с использованием анатомических препаратов обусловлен сложностями их изготовления и хранения, а также другими нюансами этического и юридического характера [24, 25].

Примером решения проблемы консервирования трупа является полимерное балластирование медицинским силиконом, выполняемое в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова и Международном морфологическом центре Санкт-Петербурга. Однако этот способ также имеет свои недостатки, к одним из которых относятся сложность самого процесса и высокая себестоимость изготовления препаратов; на этом фоне компьютерные технологии представляются более доступными [2, 10].

Использование учащимися, наряду с учебниками по анатомии М.Р. Сапина, И.В. Гайворонского, М.Г. Привеса и других авторов, результатов компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) облегчат понимание сложных аспектов анатомии [16, 21].

Стоит отметить, что ведущую роль в получении знаний играет личная заинтересованность студентов. Разнообразный подход к обучению с введением используемых в клинической практике методов исследования помогает развить интерес и тягу к образовательному процессу [23, 26].

Научная новизна статьи заключается в предложении пути интеграции современных методов диагностики и визуализации анатомических структур в учебный процесс с использованием специализированного технического обеспечения. Это будет возможно благодаря созданию «базы DICOM-файлов КТ и МРТ» в формате удаленного сервера или облачного хранилища, в которой будут рассматриваться клинические случаи как альтернатива ситуационным задачам. Постоянный дистанционный доступ студентов к самостоятельному изучению под руководством преподавателя повысит эффективность усвоения колоссального объема информации [14, 18, 19, 34].

Одним из основных плюсов такого подхода является возможность прижизненного исследования, а также удобный формат хранения информации, особенно учитывая те трудности, с которыми приходится сталкиваться, обеспечивая сохранность трупного материала [3, 12]. При этом имеется перспектива использования методов визуализации анатомических препаратов для подробного изучения отдельных структур и их сравнение с результатами прижизненного исследования [17].

Новое поколение студентов склонно к технологичному подходу в обучении, поэтому разбор информации с разных ракурсов создаст благоприятные условия для продуктивного изучения анатомии [18, 19].

Стоит также отметить, что в практической медицине сейчас существует неочевидная проблема понимания различий радиологических методов диагностики. По этой причине изначальное применение их в качестве дополнительного учебного материала позволит более точно разобраться в этом вопросе и уверенно использовать современные технологии в клинической практике.

В настоящее время медицинское образование переживает «анатомический ренессанс», передовые методы визуализации не только с успехом применяются в качестве диагностических инструментов, но и позволяют оценить красоту строения тела человека [7, 32].

Такие факторы, как растущее число студентов-медиков, ограниченные ресурсы использования натуральных препаратов и мень-

шее количество времени, уделяемое предмету в соответствии с учебной программой, вынуждают осваивать новые методы. История развития анатомии проходила через различные этапы: от кражи трупов для тайного их изучения до публичных вскрытий в анатомических театрах. На данный момент использование высоких технологий дает возможности изучать морфологические дисциплины на совершенно новом уровне. Традиционное обучение и классические лекции — неотъемлемая часть учебного процесса. Впрочем, благодаря инновациям в методах визуализации, можно дополнить обучение с помощью программной обработки изображений КТ и МРТ и получения 3D-моделей. Таким образом, рентгеноанатомия вышла на новый уровень и заняла важную нишу в образовании. Кроме того, она перешла в цифровой формат не только из соображений удобства, но и экономии средств [31, 42].

Любознательность к окружающему миру движет и художниками, и учеными, в то время как искусство современных методов диагностики позволяет прекрасно сочетать аналитику научного ума с творческими инстинктами [7, 32].

Для понимания и закрепления материала важно сформировать пространственные образы анатомических структур. С этой целью был создан целый ряд объемных анатомических моделей, самыми примечательными из которых являются итальянские, сделанные из цветного воска в XVIII веке, французские — из папье-маше и «стеклянный человек» начала XX века, хранящийся в немецком музее гигиены в Дрездене [11, 43].



Рис. 1. «Стеклянный человек». Немецкий музей гигиены в Дрездене, Германия [39]

Fig. 1. “Glass Man.” German Hygiene Museum in Dresden, Germany [39]

Как и в случае с препаратами, у такого подхода имеются весомые недостатки, связанные, в первую очередь, с тем, что это материальные объекты. Их дорогостоящее производство и хрупкость затрудняют доступность повсеместного использования для обучения в качестве наглядного материала.

Применение компьютерных двухмерных (2D) и трехмерных (3D) моделей на основе КТ и МРТ лишено вышеперечисленных отрицательных характеристик, что оправдывает внедрение таких технологий в обучение [24, 25].

В процессе изучения анатомии человека студенты сталкиваются с серьезными затруднениями: необходимость запоминания большого по объему материала на русском и латинском языках, недостаток времени для работы с препаратами во внеучебное время — все это формирует непреодолимый психологический барьер [18, 19, 23, 26].

Информационные технологии визуализации могут помочь в решении сразу нескольких проблем:

- разнообразить подготовку обучающихся;
- стимулировать личный интерес к исследовательской деятельности;
- облегчить получение новой информации;
- систематизировать уже полученные знания;
- обеспечить более глубокое изучение вариативной анатомии;
- получить представление о методах изучения топографической анатомии;
- познакомить с основами лучевой диагностики.

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИНЦИПА РАБОТЫ МЕТОДОВ КТ И МРТ

В основе каждого метода лежат различные источники получения изображения, поэтому они несут разную диагностическую информацию и обладают специфическими особенностями.

Рентгеновская компьютерная томография может быть определена как исследование, при котором изображение слоя получают путем компьютерной обработки результатов многократного просвечивания пациента с помощью совершающей движения по окружности рентгеновской трубки. Проходя через ткани исследуемого пациента, рентгеновское излучение ослабляется соответственно плотности и атомному составу тканей, что фиксируется специальной системой детекторов, которые преобразуют энергию излучения в электрические сигналы. Затем происходит самый важный этап, во время которого с помощью сложной компьютерной обработки идет построение среза — видимого плоскостного изображения. Реконструкция срезов позволяет осуществить послойную визуализацию всех анатомических структур [1, 15, 41].

Одним из инженеров-электриков, внесших вклад в разработку КТ, был Годфри Хаунсфилд. Им была разработана шкала для визуальной и количественной оценки плотности тканей на основе ослабления рентгеновского излучения в разных тканях. Средний показатель шкалы Хаунсфилда соответствовал плотности воды,

Таблица 1

Плотность различных тканей в единицах Хаунсфилда [33]

Table 1

Density of different tissues in Hounsfield units [33]

Ткань	Плотность, НУ	Ткань	Плотность, НУ
Кость, в среднем	+1000	Серое вещество мозга	+20–40
Свернувшаяся кровь	+55–75	Кровь	+13–18
Селезенка	+50–70	Спинномозговая жидкость	+15
Печень	+40–70	Опухоль	+5–35
Поджелудочная железа	+40–60	Желчный пузырь	+5–30
Почка	+40–60	Вода	0
Аорта	+35–50	Орбиты	–25
Мышцы	+35–50	Жир	–100
Белое вещество мозга	–36–46	Легкие	–150–400
Мозжечок	+30	Воздух	–1000

отрицательные — тканям менее плотным, чем вода, положительные — более плотным тканям, что дает возможность дифференцировать различия нормальных и патологических участков тканей [20].

Выходные данные компьютерного томографа обычно даются в единицах Хаунсфилда (HU). У современных томографов эти числа лежат в пределах от -1024 до 3071 HU, на рисунке 2 продемонстрирована возможность измерения плотности, которая соответствует основным показателям, приведенным в таблице 1.

Магнитно-резонансное исследование имеет принципиальное отличие от рентгеновской компьютерной томографии. В данном методе используется эффект ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), изображение строится в результате преобразования энергии электромагнитного излучения, исходящего от намагниченных (возбужденных) в сильном магнитном поле атомов водорода. При этом построение происходит по нескольким параметрам, основанным на градиенте протонной плотности и длине импульса [15, 41, 20].

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КТ И МРТ

Из приведенных кратких характеристик лучевых методов каждый обладает определенными преимуществами в изучении той или иной анатомической структуры. Различия в принципах получения изображения отражаются на их качественных характеристиках.

Для КТ объектом исследования являются плотные структуры, такие как кости, или же структуры с контрастной плотностью, такие как легкие (за счет наполнения паренхимы воздухом). Преимущество КТ — контрастное усиление препаратами йода, что позволяет детализированно изучать сердечно-сосудистую систему, а также более подробно мягкие ткани за счет накопления контрастного препарата.

Главным недостатком компьютерной томографии является непосредственно ионизирующее излучение, а также имеющиеся у пациента ограничения к использованию контрастного усиления. Беременность является условным

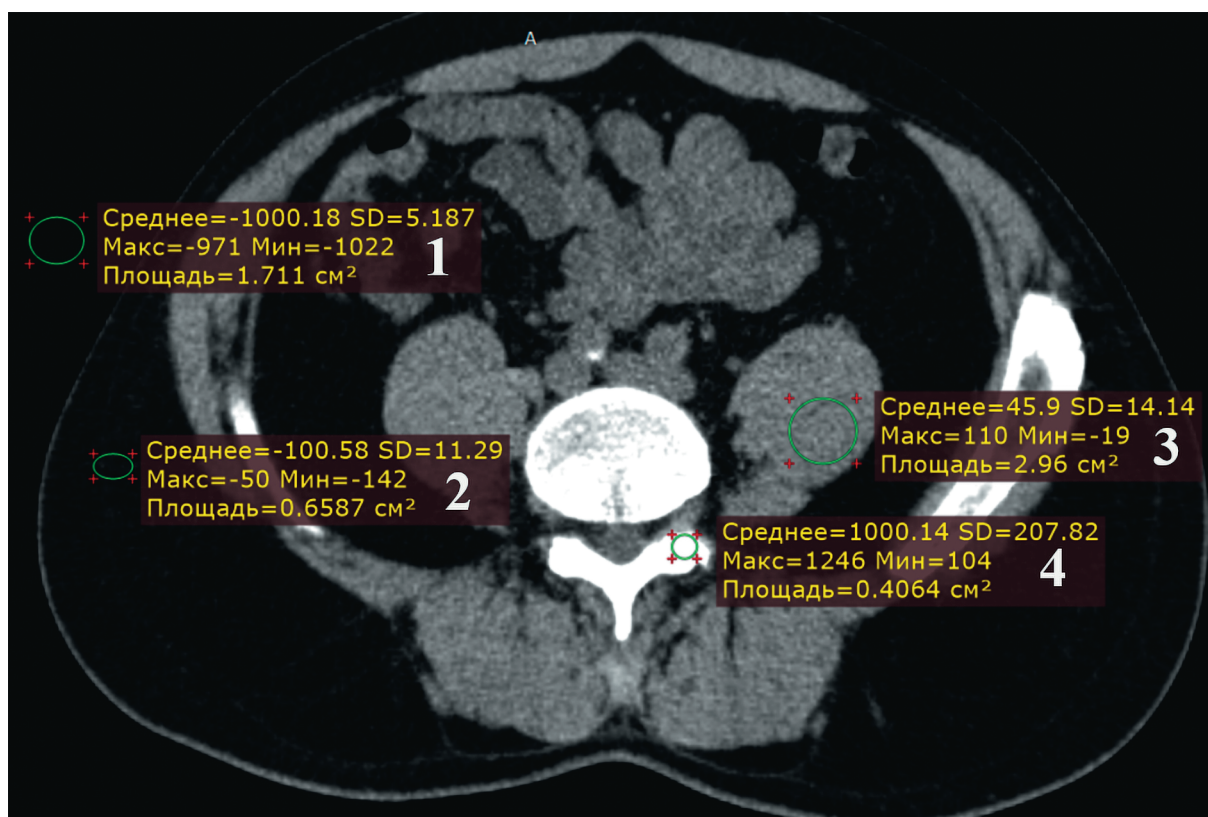


Рис. 2. Значения плотности в соответствии со шкалой Хаунсфилда: 1 — воздух; 2 — жир; 3 — мышцы; 4 — кость

Fig. 2. Density values according to the Hounsfield scale: 1 — air; 2 — fat; 3 — muscle; 4 — bone

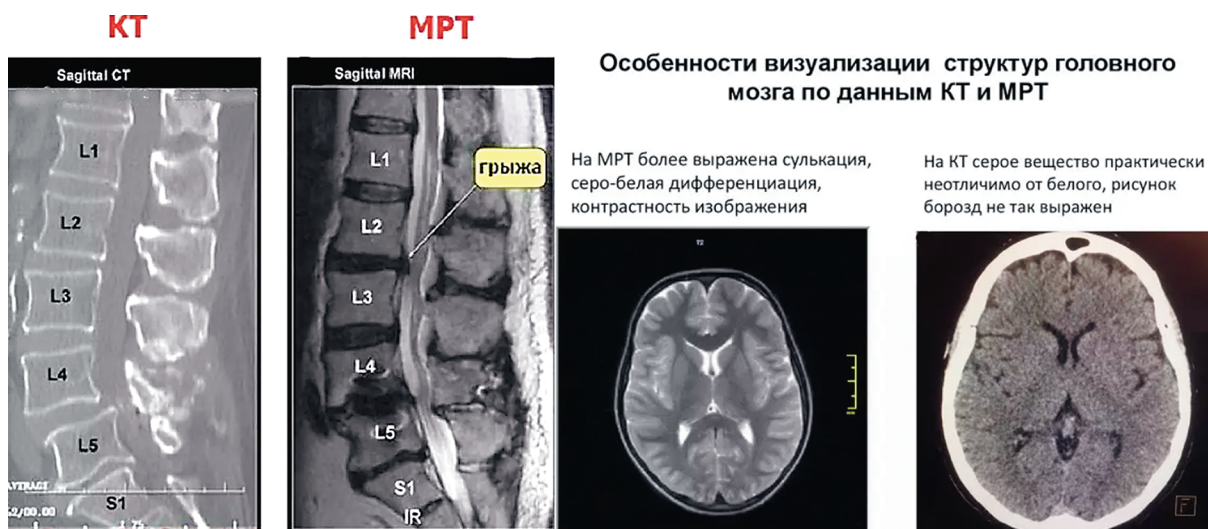


Рис. 3. Сравнительная характеристика изображений, полученных на КТ и МРТ: слева — поясничного отдела позвоночника в сагиттальной проекции; справа — головного мозга в аксиальной проекции [22]

Fig. 3. Comparative characteristics of CT and MRI images: left — lumbar spine in sagittal projection; right — brain in axial projection [22]

противопоказанием, поскольку состояния, угрожающие жизни, являются исключением из этого правила, но и в таком случае стараются отдавать предпочтение МРТ в целях снижения угрозы для плода.

Достоинство МРТ — в лучшей детализации отображения мягких тканей: структур головного мозга, мышц, связок, жировых прослоек. При этом возможно получать изображение сосудов, не вводя в них контрастное вещество, но ангиография в данном случае менее информативна по сравнению с КТ-ангиографией. Здесь также может применяться контрастное усиление, но уже с препаратами на основе металла гадолиния. Такой метод позволяет построить графики накопления и выведения контрастного вещества из тканей. МРТ по сравнению с КТ является довольно длительным процессом исследования, он противопоказан пациентам, страдающим клаустрофобией, а также при наличии у обследуемого металлоконструкций (за исключением некоторых сплавов) [20].

Несмотря на эти различия, четкой приуроченности данных методик к определенным тканям и органам не имеется, исследования не взаимоисключают, а дополняют друг друга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основе предложенного комбинированного подхода обучения, с учетом различных форматов визуализации учебного материала, лежат

результаты исследований КТ и МРТ. Чтобы представлять, как построить 3D-модель из 2D и что такое 2D-модель, нужно понимать, как представлены изображения в медицине. Современные томографы (МРТ, КТ и др.) получают только «сырые» изображения, которые после компьютерной обработки комплектуются в файл в специальном формате DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), содержащий информацию для дальнейшей отрисовки изображения. Каждый файл представляет срез с определенной интенсивностью или плотностью тканей, на основе которого происходит реконструкция изображения. В случае с КТ DICOM-файл отображает плотность, а в МРТ — интенсивность сигнала [29].

В качестве примера для демонстрации представлены возможности условно бесплатного программного обеспечения для манипуляций с DICOM-файлами RadiAnt DICOM Viewer [40]:

- инструмент MPR (многоплоскостные реконструкции) может быть использован для реконструкции изображений в ортогональных плоскостях: фронтальной, сагиттальной, осевой или косой, что дает возможность получить более полную анатомическую картину;
- инструмент 3D VR позволяет визуализировать большие объемы данных, полученные с помощью современных КТ- и МРТ-сканеров, в трехмерном пространстве.

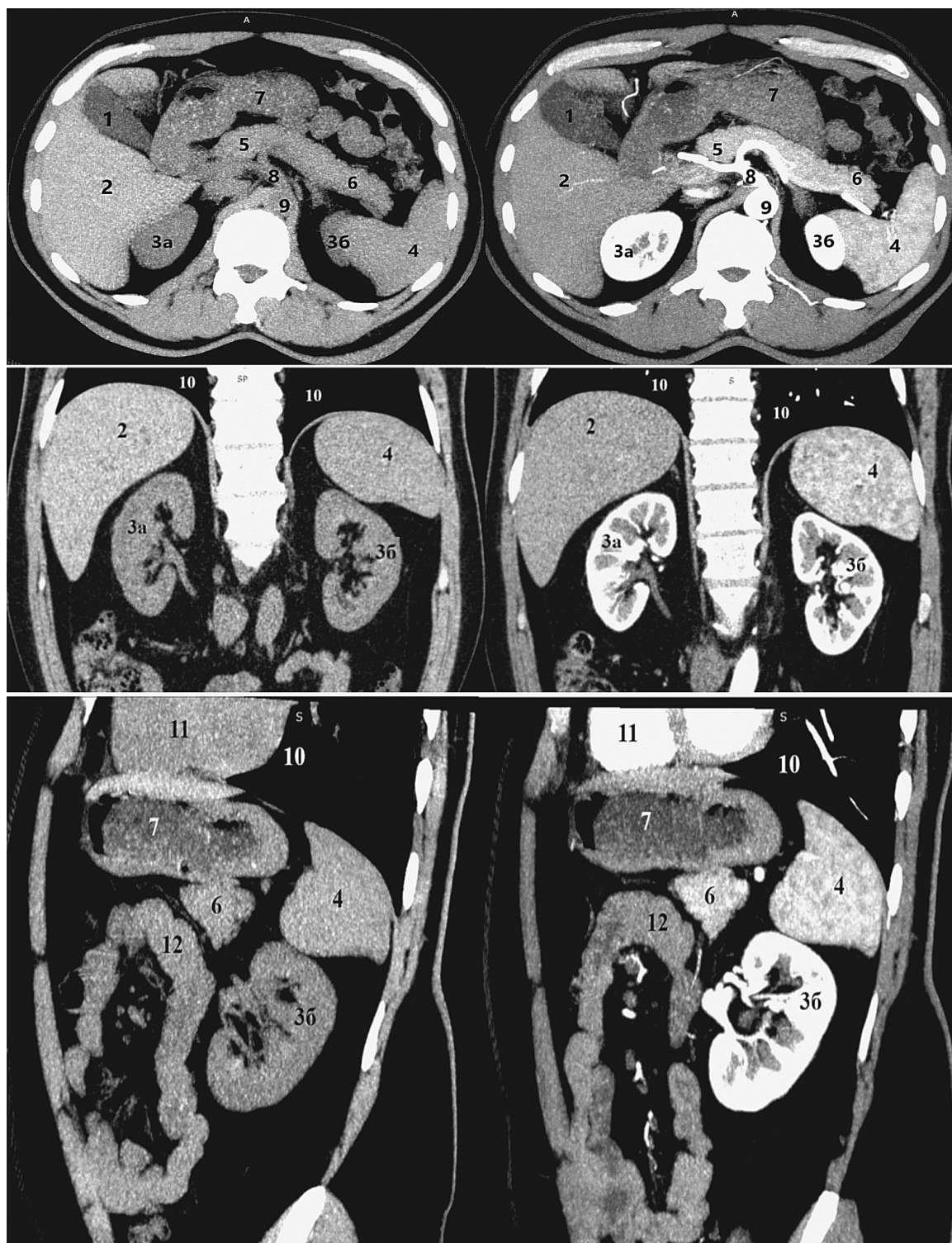


Рис. 4. Сверху вниз расположены: аксиальная, фронтальная и сагиттальная плоскости. Слева — нативное исследование; справа — с контрастным усилением: 1 — желчный пузырь; 2 — печень; 3a — правая почка; 3b — левая почка; 4 — селезенка; 5 — головка поджелудочной железы; 6 — хвост поджелудочной железы; 7 — желудок; 8 — чревный ствол; 9 — брюшная аорта; 10 — легкие; 11 — сердце; 12 — тонкая кишка

Fig. 4. From top to bottom: axial, frontal, and sagittal planes. On the left — native examination; on the right — with contrast enhancement: 1 — gallbladder; 2 — liver; 3a — right kidney; 3b — left kidney; 4 — spleen; 5 — pancreatic head; 6 — pancreatic tail; 7 — stomach; 8 — trunk of the ribs; 9 — abdominal aorta; 10 — lungs; 11 — heart; 12 — small intestine

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИК ВИЗУАЛИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ КТ И МРТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АНАТОМИИ

При соответствующем техническом обеспечении для просмотра изображений можно применять любую программу чтения DICOM-файлов. В данном случае использовался RadiAnt DICOM Viewer в связи бесплатным доступом на момент публикации (разница с платной версией — это ожидание открытия программы до 1 минуты), удобным и интуитивным интерфейсом на русском языке.

Все изображения, полученные на КТ, представляются в аксиальной проекции, но по необходимости с помощью инструментов различного программного изображения можно выстроить любую проекцию, изменить контрастность, толщину среза, построить объемное 3D-изображение и т.д. В то же время на МРТ проекция и направление срезов вы-

ставляется оператором томографа вручную, и только некоторые протоколы возможно отстроить в 3D.

Различные варианты 3D-изображений очень удобны для изучения остеологии: такие реконструкции, демонстрируя костные структуры, дают возможность взаимодействовать с ними, вращая и рассматривая с любого ракурса, что, несомненно, добавляет наглядности (рис. 5, 6).

Мультитомные реконструкции позволяют изучать изображения в любом сечении, то есть под любым углом к определенной плоскости. Это особенно удобно для изучения спланхнологии, так как при этом возможна визуализация структуры органов, их топографических ориентиров (рис. 4).

Косые реконструкции наглядно демонстрируют сложные анатомические сообщения, такие как каналы височной кости или ход кровеносных сосудов. Разрешающая способность

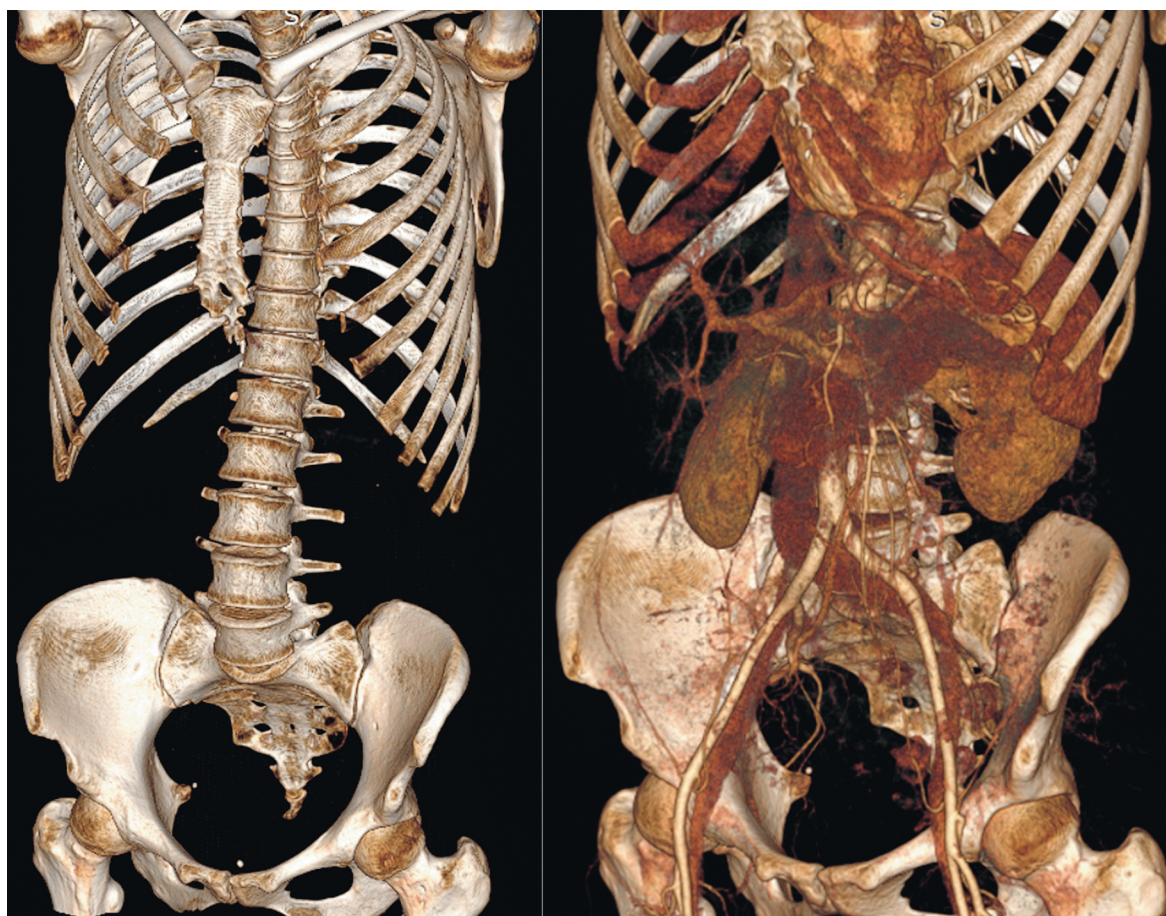


Рис. 5. 3D-реконструкция брюшной полости: слева — нативное исследование; справа — с контрастным усилением

Fig. 5. 3D-reconstruction of the abdomen: on the left — native examination; on the right — with contrast enhancement

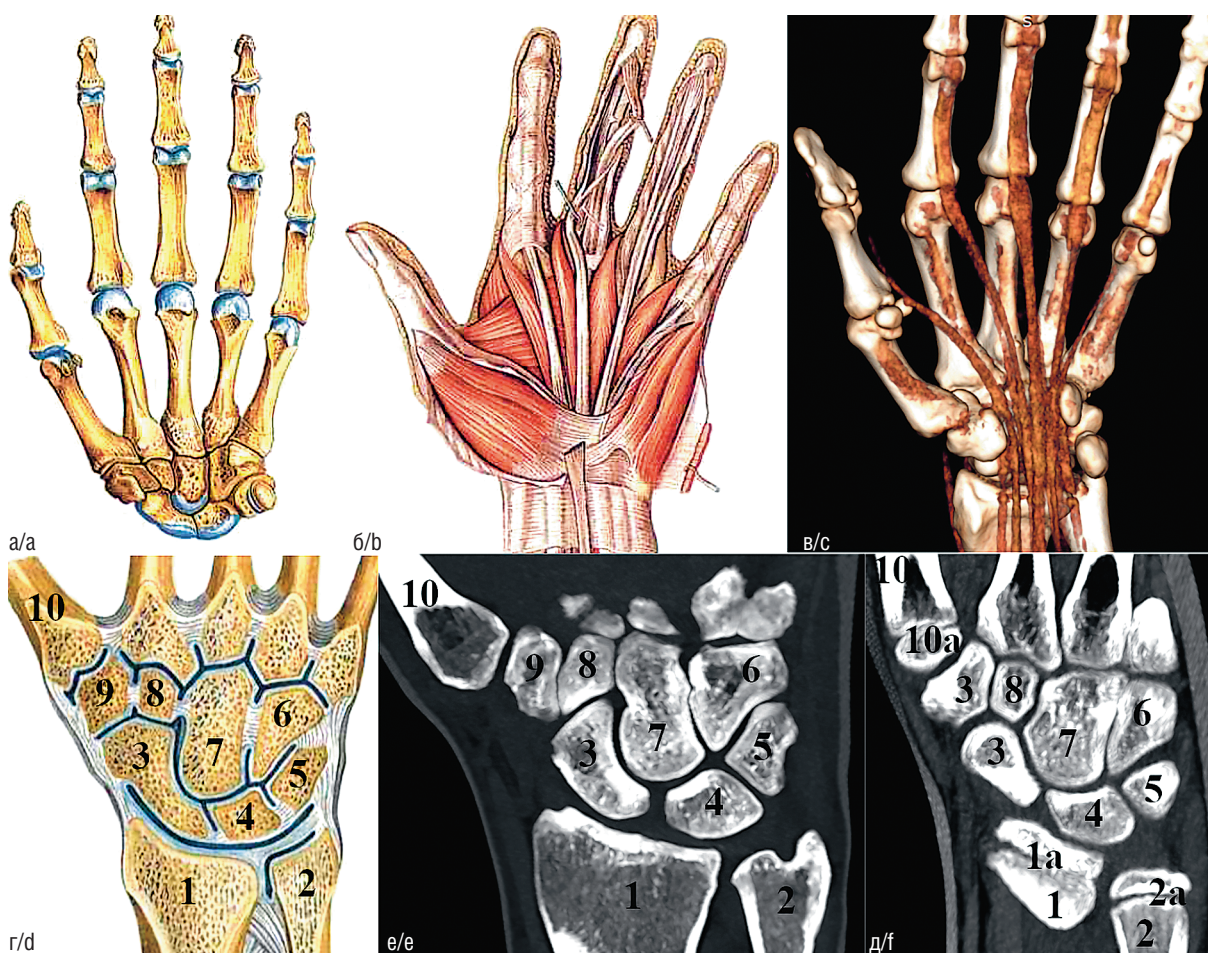


Рис. 6. Совместное использование инструментов MPR и 3D VR для реконструкции изображений: а — кости кисти [28]; б — мышцы и сухожилия кисти [28]; в — 3D-реконструкция КТ костей кисти с сухожилиями; г — кости лучезапястного сустава [28]; д — фронтальная реконструкция костей лучезапястного сустава взрослого пациента; е — фронтальная реконструкция костей лучезапястного сустава ребенка. 1 — лучевая кость; 1а — метаэпифизарная пластинка лучевой кости; 2 — локтевая кость; 2а — метаэпифизарная пластинка локтевой кости; 3 — ладьевидная кость; 4 — полулунная кость; 5 — трехгранная кость; 6 — крючковидная кость; 7 — головчатая кость; 8 — трапецевидная кость; 9 — кость-трапеция; 10 — II пястная кость; 10а — основание II пястной кости

Fig. 6. Combined use of MPR and 3D VR tools for image reconstruction: a — hand bones [28]; b — hand muscles and tendons [28]; c — 3D CT reconstruction of hand bones with tendons [28]; d — wrist joint bones [28]; e — coronal reconstruction of wrist joint bones of an adult patient; f — coronal reconstruction of child wrist joint bones. 1 — radial bone; 1a — metaepiphyseal plate of radial bone; 2 — ulnar bone; 2a — metaepiphyseal plate of ulnar bone; 3 — navicular bone; 4 — semilunar bone; 5 — tripartite bone; 6 — hook bone; 7 — cephalic bone; 8 — trapezoid bone; 9 — trapezoid bone; 10 — II spotted bone; 10a — base of the II metacarpal bone

современных томографов при КТ- и МРТ-ангиографиях позволяют визуализировать даже мелкие артериальные и венозные стволы, их анастомозы, описывать вариантную анатомию (рис. 9, 10).

МРТ применимо для изучения артрологии, где в комплексе на одной плоскости визуализируются ткани, имеющие различную структуру: кости, суставы, связки, сухожилия и мышцы (рис. 7, 8). Кроме того, с помо-

щью МРТ возможно изучать нервную систему, этот метод позволяет отчетливо увидеть крупные нервные стволы, а также центральную нервную систему в высоком разрешении (рис. 11).

И это всего лишь краткий перечень перспективного использования методов «живой анатомии» для широкого внедрения в учебный процесс кафедр морфологического профиля.

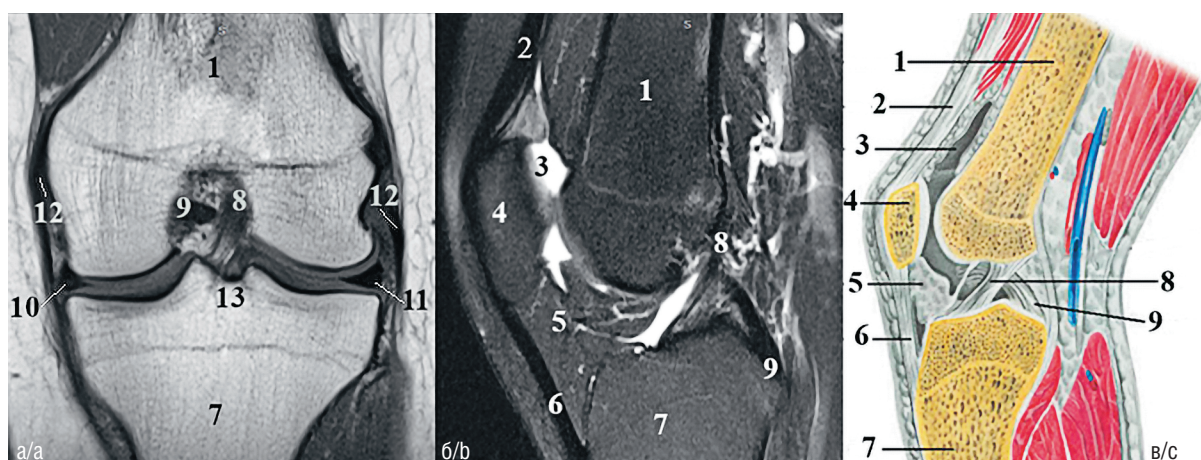


Рис. 7. Коленный сустав в сагиттальной проекции: а — МРТ, T1-последовательность; б — МРТ, T2-последовательность; в — схематичное изображение сагиттального распила [9]. 1 — бедренная кость; 2 — сухожилие четырехглавой мышцы бедра; 3 — надколенная сумка; 4 — надколенник; 5 — крыловидная складка; 6 — связка надколенника; 7 — большеберцовая кость; 8 — передняя крестообразная связка; 9 — задняя крестообразная связка; 10 — медиальный мениск; 11 — латеральный мениск; 12 — коллатеральные связки; 13 — межмыщелковое возвышение

Fig. 7. Knee joint in the sagittal projection: a — MRI, T1-sequence; b — MRI, T2-sequence; c — schematic representation of the sagittal cut [9]. 1 — femur; 2 — quadriceps tendon; 3 — patellar sac; 4 — patella; 5 — wing fold; 6 — patellar ligament; 7 — tibia; 8 — anterior cruciate ligament; 9 — posterior cruciate ligament; 10 — medial meniscus; 11 — lateral meniscus; 12 — collateral ligaments; 13 — intercondylar eminence

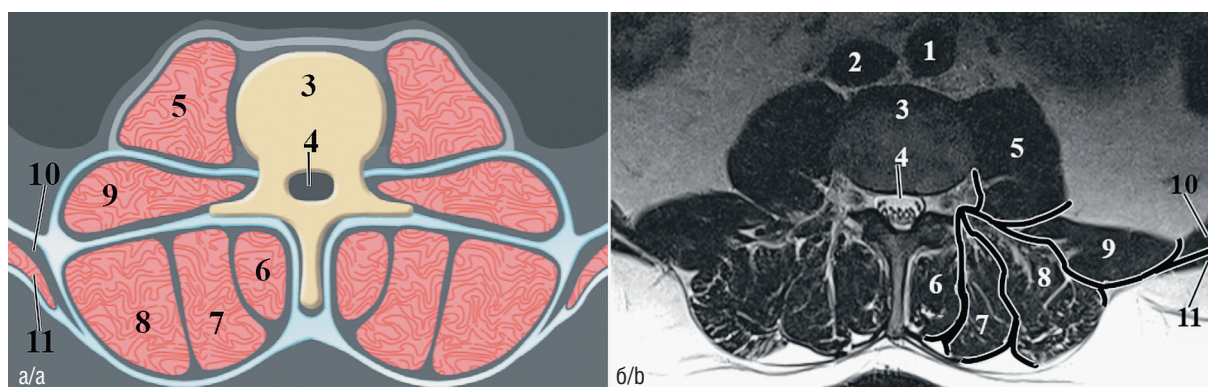


Рис. 8. Соотношение рисунка (а) [37] и МРТ поясничного отдела позвоночника (б): 1 — аорта; 2 — нижняя полая вена; 3 — тело позвонка; 4 — позвоночный канал; 5 — большая поясничная мышца; 6 — многораздельные мышцы; 7 — длиннейшая мышца спины; 8 — подвздошно-реберная мышца; 9 — квадратная мышца поясницы; 10 — внутренняя косая мышца живота; 11 — наружная мышца живота

Fig 8. Correlation of the figure(a) [37] and MRI of the lumbar spine (b): 1 — aorta; 2 — inferior vena cava; 3 — vertebral body; 4 — spinal canal; 5 — greater lumbar muscle; 6 — multiseptal muscles; 7 — longest muscle of back; 8 — iliocostal muscle; 9 — quadriceps lumbar muscle; 10 — internal oblique abdominal muscle; 11 — external abdominal muscle

Некоторые примеры использования данных методов получения изображений для изучения следующих разделов анатомии

На рисунке 4 представлены изображения в MPR (многоплоскостные реконструкции) как пример демонстрации топографии органов брюшной полости в трех классических проекциях.

Для более четкой визуализации структур средней плотности (реберные хрящи, например), а также вен с использованием контрастирования, используется инструмент 3D VR. Он позволяет изучать анатомические структуры в трехмерном пространстве, осуществлять различные манипуляции с ними, а также менять интенсивность обработки, то есть

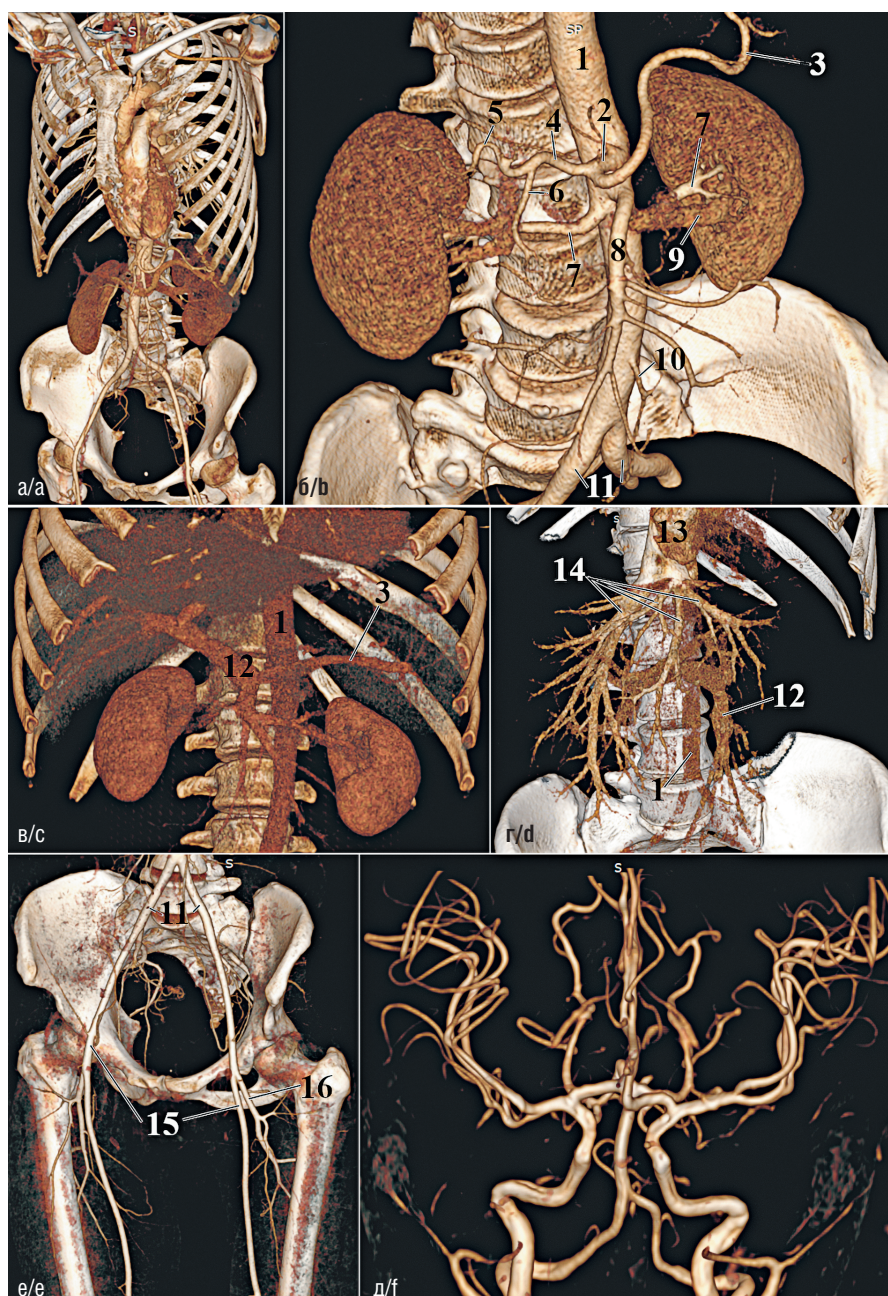


Рис. 9. Визуализация сосудов КТ: а — артериальная фаза контрастирования ангиографии брюшной полости; б — ангиография брюшной аорты; в — венозная фаза контрастирования ангиографии брюшной полости; г — поздняя венозная фаза контрастирования ангиографии брюшной аорты; д — ангиография артерий малого таза и нижних конечностей; МРТ; е — ангиография артерий головного мозга. 1 — аорта; 2 — чревный ствол; 3 — селезеночная артерия; 4 — общая печеночная артерия; 5 — собственная печеночная артерия; 6 — гастродуоденальная артерия; 7 — почечная артерия; 8 — верхняя брыжеечная артерия; 9 — почечная вена; 10 — нижняя брыжеечная артерия; 11 — общие подвздошные артерии; 12 — воротная вена; 13 — нижняя полая вена; 14 — печеночные вены; 15 — бедренные вены; 16 — глубокая артерия бедра

Fig. 9. Visualization of vessels: а — arterial phase of abdominal angiography contrast; б — abdominal aortic angiography; в — venous phase of abdominal angiography contrast; д — late venous phase of abdominal aortic angiography contrast; е — pelvic and lower extremity artery angiography; ф — MR-angiography of cerebral arteries. 1 — aorta; 2 — cranial trunk; 3 — splenic artery; 4 — common hepatic artery; 5 — intrinsic hepatic artery; 6 — gastroduodenal artery; 7 — renal artery; 8 — superior mesenteric artery; 9 — renal vein; 10 — inferior mesenteric artery; 11 — common iliac arteries; 12 — portal vein; 13 — inferior vena cava; 14 — hepatic veins; 15 — femoral veins; 16 — deep femoral artery

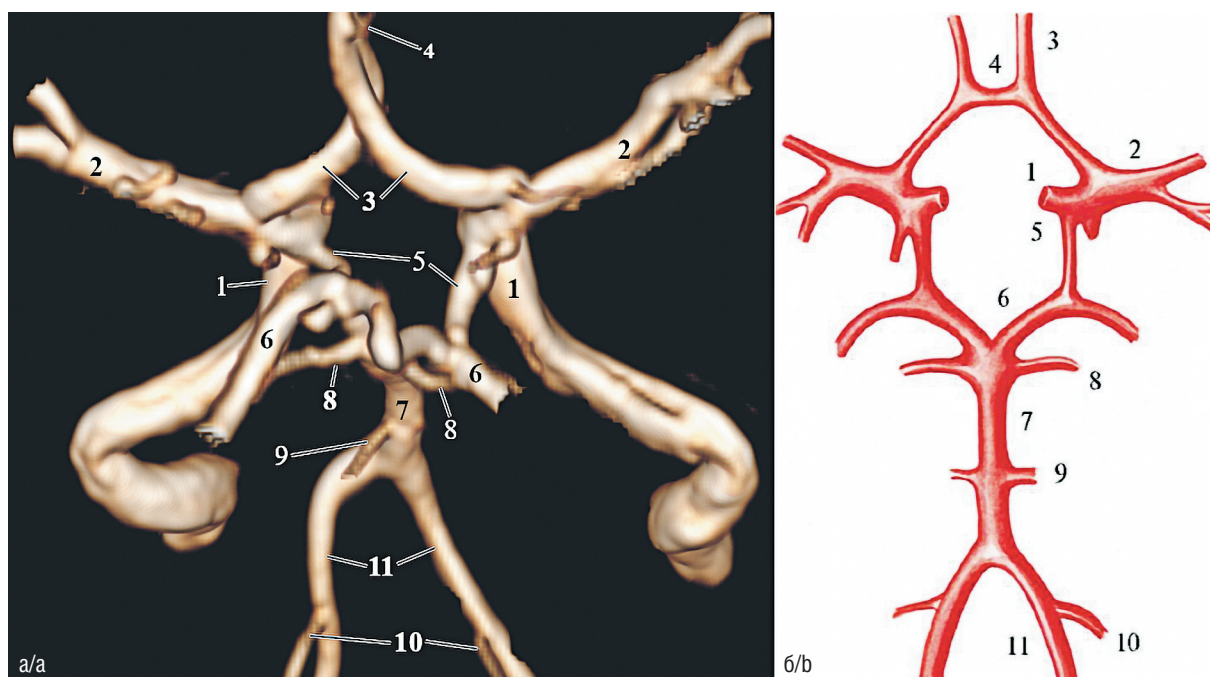


Рис. 10. Аксиальная проекция виллизиевого круга в краниокаудальном направлении: а — 3D-реконструкция; б — схематичное изображение [8]. 1 — мозговая часть внутренней сонной артерии; 2 — средняя мозговая артерия; 3 — передняя мозговая артерия; 4 — передняя соединительная артерия; 5 — задняя соединительная артерия; 6 — задняя мозговая артерия; 7 — базилярная артерия; 8 — верхняя мозжечковая артерия; 9 — передняя нижняя мозжечковая артерия; 10 — задняя нижняя мозжечковая артерия; 11 — позвоночная артерия

Fig. 10. Axial projection of the Willisian circle in craniocaudal direction: a — 3D-reconstruction; b — schematic image [8]. 1 — cerebral part of the internal carotid artery; 2 — middle cerebral artery; 3 — anterior cerebral artery; 4 — anterior connecting artery; 5 — posterior connecting artery; 6 — posterior cerebral artery; 7 — basilar artery; 8 — superior cerebellar artery; 9 — anterior inferior cerebellar artery; 10 — posterior inferior cerebellar artery; 11 — vertebral artery

наращивать или уменьшать слои на 3D-модели (рис. 5).

МРТ дает более точные изображения при исследовании мягких тканей по сравнению с КТ, что можно использовать как один из способов изучения мышц, пример представлен на рисунке 8. Структура определенных мышц на изображении позволяет судить об их физиологии и о функции [27].

«Золотым стандартом» исследования сосудов является КТ, которая дает возможность применять наглядные изображения для изучения ангиологии. Однако у МРТ имеется преимущество в получении изображения сосудов без применения контраста с подавлением костных структур, что особенно актуально для области головы, поскольку кости черепа не затрудняют 3D-реконструкцию изображений (рис. 9, 10).

Для неврологов, нейрохирургов, а также врачей других специальностей важно знать нормальные параметры мозга живого чело-

века. Известно, что под воздействием фиксирующих жидкостей происходит изменение его размеров, веса, рельефа и объема, поэтому такие данные не могут считаться истинными в полной мере. Срезы, полученные с помощью метода МРТ, позволяют изучать центральную нервную систему без влияния различных химических веществ. На них прекрасно визуализируются полостные структуры головного и спинного мозга, прослеживаются особенности организации серого и белого вещества (рис. 11), то есть этот метод предоставляет не только клиницистам, но и анатомам уникальную возможность прижизненного неинвазивного получения истинных изображений и размеров структур головного и спинного мозга [13].

Несколько примеров явно недостаточно для демонстрации всех возможностей использования таких методов для изучения анатомии. Несомненным преимуществом работы с трехмерными моделями является то, что для этого

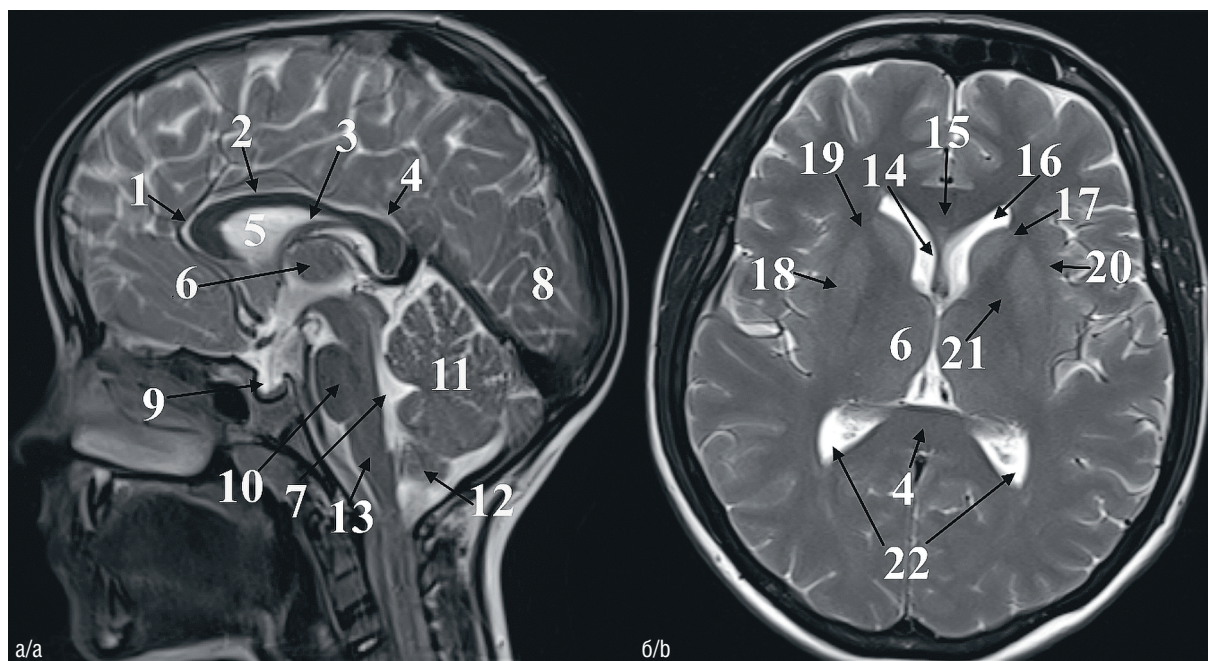


Рис. 11. МРТ головного мозга, T2-последовательность: а — сагиттальная проекция; б — аксиальная проекция. 1 — колено и клюв мозолистого тела; 2 — ствол мозолистого тела; 3 — свод; 4 — валик мозолистого тела; 5 — полость боковых желудочков; 6 — таламус; 7 — полость IV желудочка; 8 — клин; 9 — гипофиз; 10 — мост; 11 — мозжечок; 12 — миндалина мозжечка; 13 — продолговатый мозг; 14 — прозрачная перегородка; 15 — колено мозолистого тела; 16 — передние рога боковых желудочков; 17 — головка хвостатого ядра; 18 — чечевицеобразное ядро; 19 — передние ножки внутренней капсулы; 20 — наружная капсула; 21 — задние ножки внутренней капсулы; 22 — задние рога боковых желудочков

Fig. 11. MRI brain, T2-sequence: a — sagittal projection; b — axial projection. 1 — knee and beak of the corpus callosum; 2 — trunk of the corpus callosum; 3 — arch; 4 — roll of the corpus callosum; 5 — cavity of lateral ventricles; 6 — thalamus; 7 — cavity of IV ventricle; 8 — wedge; 9 — pituitary; 10 — bridge; 11 — cerebellum; 12 — cerebellar amygdala; 13 — medulla oblongata; 14 — transparent septum; 15 — knee of the corpus callosum; 16 — anterior horns of the lateral ventricles; 17 — head of the caudate nucleus; 18 — lenticular nucleus; 19 — anterior legs of the internal capsule; 20 — external capsule; 21 — posterior legs of the internal capsule; 22 — posterior horns of the lateral ventricles

не требуется профессиональное оборудование: различные манипуляции с ними можно производить на персональном компьютере.

Изображения, полученные в результате обследований с помощью КТ и МРТ реальных людей, дополнительно позволяют освещать некоторые моменты вариативности анатомии человека.

Кроме того, наметились перспективы развития интегрированных технологий обучения: создание 3D-моделей сосудов с помощью интерактивного инструмента на методе «виртуального введения контраста». Этот метод позволяет пользователям относительно легко преобразовывать компьютерные томографические или магнитно-резонансные изображения в яркие 3D-фильмы виртуальной реальности с помощью программного обеспечения OsiriX (аналог RadiAnt DICOM Viewer). Всего снято девять фильмов по

этой методике моделирования, охватывающих большинство основных артерий тела. Видео было дополнено соответствующей информацией, цветовыми ключами и примечаниями. Исследования показывают потенциальную перспективу этого метода: позитивное отношение студентов к такому подходу в изучении анатомии, с одной стороны, и более высокие результаты при проверке качества знаний, с другой [38].

Самостоятельное использование студентами методов медицинской визуализации для удаленного изучения или повторения учебного материала возможно под руководством преподавателя [35].

Применение методов КТ и МРТ особенно важно для будущих педиатров, так как имеются возрастные особенности в строении систем и топографии органов детей, а использование методов для сравнительного анализа

возрастной и нормальной анатомии позволит снизить сложность в освоении дисциплины [5, 6, 35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящих исследований доказывают эффективность внедрения в учебный процесс таких радиологических методик прижизненной визуализации, как КТ и МРТ [36]. Их использование уже на ранних стадиях обучения на кафедре анатомии человека оказывается полностью оправданным.

Этому способствуют многие факторы:

- затраты на изготовление и хранение трупного материала, а также его замены в случае неудовлетворительного состояния значительно выше, чем при использовании интерактивных моделей;
- юридические сложности получения трупного материала;
- комбинированный подход в обучении является более результативным, а следовательно, повышает качество знаний у студентов;
- использование 3D-моделей является, пожалуй, единственным способом, позволяющим визуализировать анатомические структуры при дистанционном обучении;
- применение современных технологий повышает мотивацию студентов к обучению и стимулирует их научную деятельность;
- оптимизация учебного процесса, главным образом направленная на организацию самостоятельного обучения;
- повышение компетенции будущих специалистов, особенно в области лучевой диагностики.

Таким образом, имеются весомые предпосылки для внедрения новых методик изучения анатомии с использованием результатов медицинской визуализации на основе КТ и МРТ, но им надлежит быть правильно преподнесенным дополнением к обучению. Комбинация различных методов и отсутствие взаимоисключений повысит уровень знаний у обучающихся, в том числе и в долгосрочной перспективе, а также создаст более благоприятные условия для познания анатомии студентами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешкевич А.И., Рожковская В.В., Сергеева И.И. и др. Основы и принципы лучевой диагностики. Минск: БГМУ; 2016.
2. Андреева С.А. Возрастное преобразование артериального звена малого круга кровообращения. *Forcipe*. 2022; 5(1): 20–6. EDN BSMTQT.
3. Артюх Л.Ю. Магнитно-резонансная томография сердца как основной метод в диагностике кардиомиопатий различного генеза. Студенческая наука-2018: Рецензируемые научно-практические материалы Всероссийского научного форума студентов и молодых ученых с международным участием, Санкт-Петербург, 12–13 апреля 2018 года. СПб.: Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации. 2018: 114–5. EDN YWDASE.
4. Бугакова Н.С., Селезнева Е.А., Михайлова Т.А. Россия в цифрах. Крат. стат. сб. Росстат. М.: Буки Веди; 2020.
5. Соколова И.Н., Артюх Л.Ю., Соколов Д.В., Карелина Н.Р. Возрастные особенности анатомии надпочечников у новорожденных в норме и при родовой травме. *Forcipe*. 2022; 5(1): 4–13. EDN DDLSDU.
6. Карелина Н.Р., Соколова И.Н., Хисамутдинова А.Р. и др. Возрастные особенности строения и развития органов иммунной системы человека. Российские биомедицинские исследования. 2021; 6(4): 47–61. EDN YDWVSE.
7. Джеймс Ф. Гриффис, Харри К. Генант, Томас М. Линк. Визуализация костей — ближе всего к искусству в медицине. Остеопороз и остеопатии. 2013; 1: 39–45.
8. Гусев Е.И., Коновалов А.Н., Скворцова В.И. Неврология и нейрохирургия. Учебник в 2 т. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2009.
9. Ермолаев В.В. КСС. Коленный сустав. Эффективность рентгенологических и ультразвуковых методов диагностики дегенеративных заболеваний суставов (на примере коленного сустава). *RADIOMED*. Доступ по: <https://radiomed.ru/publications/35305-kss-kolennyi-sustav-effektivnost-rentgenologicheskikh-i-ultrazvukovykh-metodov> (дата обращения 28.07.2022).
10. Иванова Н.В., Мурашов О.В., Прокофьев М.С. Использование «Anatmage Table» для изучения вариативной анатомии. Вестник Новгородского государственного университета. 2020; 4(120): 13–6.
11. Итинсон К.С. Инновационное обучение медицине на основе визуальных технологий. *Karelian Scientific Journal*. 2020; 9(1): 16–8.
12. Каган И.И. Клиническая анатомия в современной морфологии и медицине. Медицинское образование и профессиональное развитие. 2011; 2(4): 27–35.
13. Каган И.И., Шехтман А.Г., Малыгина О.Я., Струкова С.С. Магнитно-резонансная томография в анатомическом исследовании и клинической оценке структур головного мозга в условиях нормы и опухолевой патологии. Оренбургский медицинский вестник. 2013; 1(1): 49–52.

14. Карелина Н.Р., Соколова И.Н., Хисамутдинова А.Р. Анатомия человека в графологических структурах. Учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2018. EDN ZRRKPF.
15. Китаев В.М. Методы лучевой диагностики: приоритеты применения. Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. 2007; 2(1): 122–6.
16. Карелина Н.Р., Уварова А.С., Хисамутдинова А.Р. и др. Клетчаточные пространства женского малого таза. Российские биомедицинские исследования. 2022; 7(2): 91–101. EDN AMZTDS.
17. Ковалев А.В., Кинле А.Ф., Коков Л.С. и др. Реальные возможности посмертной лучевой диагностики в практике судебно-медицинского эксперта. Consilium Medicum. 2016; 18(13): 9–25.
18. Коломиец О.М., Голубчикова М.Г. Концептуальные положения развития учебной самостоятельности студентов в образовательном процессе. Мир науки, культуры, образования. 2019; 1(74): 306–8.
19. Комиссарова Е.Н., Родичкин П.В., Сазонова Л.А. Морфологические критерии возрастной гигиены. Учебное пособие: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «050100 — Педагогическое образование»; Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена. СПб.: Элмор; 2014. EDN SESPAJ.
20. Королук И.П., Линденбратен Л.Д. Компьютерная томография. Магнитно-резонансный метод. В кн.: Лучевая диагностика. М.: БИНОМ; 2013: 78–89, 126–37.
21. Косулин А.В., Багатурян Г.О., Пашко А.А., Булатова И.А. Современные методы визуализации в преподавании топографической анатомии. FORCIPE. 2019; 2(2): 35.
22. Куликова О.Е. Различия между КТ и МРТ. МедСевер: сайт диагностического центра. Доступен по: <https://www.moskvia.ru/article/kt-mrt> (дата обращения 28.07.2022).
23. Оганесян М.В., Шумак А.В., Болотская А.А. Диагностика и формирование мотивации у будущих врачей при изучении учебной дисциплины «Анатомия человека». Мир науки, культуры, образования. 2019; 1(74): 309–11.
24. Попова Ю.Н. Современные методы визуализации в преподавании морфологических дисциплин. FORCIPE. 2020; 3(1): 33–6.
25. Карелина Н.Р., Хисамутдинова А.Р., Артюх Л.Ю., Денисова Г.Н. Преподавание дисциплины «Анатомия человека» в новых условиях в период эпидемии COVID-2019. Педиатр. 2020; 11(3): 13–22. DOI: 10.17816/PED11313-22. EDN BHRMCU.
26. Андреева С.А., Карелина Н.Р., Ким Т.И. и др. Роль лекций в современном образовательном пространстве. Педиатр. 2021; 12(4): 103–12. DOI: 10.17816/PED124103-112. EDN YGIMPA.
27. Самсонова А.В., Комиссарова Е.Н. Биомеханика мышц. Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербургский государственный университет физической культуры им. П.Ф. Лесгафта. СПб.; 2008. EDN TRYREX.
28. Сапин М.Р., Билич Г.Л. Нормальная анатомия человека. Учебник в 2 кн. Кн. 1. М.: Медицинское информационное агентство; 2010: 166, 223.
29. Сеченов П. DICOM Viewer изнутри. Воксельный рендер. Хабр: новостной сайт. Доступен по: <https://habr.com/ru/amp/post/252429/> (дата обращения 28.07.2022).
30. Складорова Е.К., Жаров Л.В., Дергоусова Т.Г. История фармации. Ростов н/Д: Феникс; 2015.
31. Зимица М.А., Карелина Н.Р., Хисамутдинова А.Р., Артюх Л.Ю. Структура практических занятий по анатомии человека для иностранных студентов, обучающихся в СПбГПМУ на английском языке. Педиатр. 2022; 13(3): 89–101. DOI: 10.17816/PED13389-101. EDN IJTHJK.
32. Хисамутдинова А.Р., Карелина Н.Р., Артюх Л.Ю. Особенности остеогенеза у здоровых девочек с разными соматометрическими характеристиками и у девочек с задержкой роста. Российские биомедицинские исследования. 2021; 6(3): 3–6. EDN RVUPEX.
33. Черняев А.П., Волков Д.В., Лыкова Е.Н. Компьютерная томография. В кн.: Физические методы визуализации в медицинской диагностике. М.: ООП физического факультета МГУ; 2019: 36–53.
34. Щеглов Б.О., Безуленко Н.И., Аташиков С.А., Щеглова С.Н. Виртуальный атлас персонализированной анатомии человека «SkiaAtlas» и возможности его применения. Вестник НГУ. 2020; 18(1): 84–93.
35. Ялуцин Н.В. Интегративные подходы в преподавании анатомии обучающимся педиатрического факультета Уральского государственного медицинского университета. FORCIPE. 2020; 3(1): 8–11.
36. Burbridge B., Burbridge C., Costa J., Carter Y. ODIN. Adaptation of an HTML 5-Compatible DICOM Viewer for MIRC-TFS, Enhancing the Incorporation of Clinical Images into the Health Science Curriculum. Medical Science Educator. 2019; 29(1): 11–7. DOI: 10.1007/s40670-018-00679-w.
37. Donald A. Neumann. Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation. Mosby/Elsevier; 2010.
38. Helge Petersson, David Sinkvist, Chunliang Wang, Örjan Smedby. Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. Anatomical Sciences Education. 2009; 2(2): 61–8. DOI: 10.1002/ase.76.
39. La Medicina estrena museo. Foto: Rama Knight, 2007, © The Wellcome Library, London. Доступен по: https://www.elmundo.es/albumes/2007/06/25/museo_medicina/index.html (дата обращения 28.07.2022).

40. Medixant. RadiAnt DICOM Viewer [Software]. Version 2021.1. Jun 27, 2021. Доступен по: <https://www.radiantviewer.com> (дата обращения 28.07.2022).
41. Kurianov P., Lipin A., Antropov A. et al. Popliteal Artery Angioplasty for Chronic Total Occlusions with versus without the Distal Landing Zone. *Annals of Vascular Surgery*. 2020; 62. DOI: 10.1016/j.avsg.2020.04.054. EDN FCOWBP.
42. Singal A. Transforming anatomy education: then and now. *Anatomical Science International*. 2022; 97(2): 230–1.
43. Kuchai A.A., Lipin A.N., Antropov A.V. et al. Treatment of multilevel lesions of arteries in lower extremities in cases of CLTI. *Medical Alliance*. 2022; 10(S3): 187–9. EDN IWSMIP.

REFERENCES

1. Aleshkevich A.I., Rozhkovskaya V.V., Sergeyeva I.I. i dr. *Osnovy i printsipy luchevoy diagnostiki* [Fundamentals and principles of radiation diagnostics]. Minsk: BGMU Publ.; 2016. (in Russian).
2. Andreyeva S.A. Vozrastnoye preobrazovaniye arterial'nogo zvena malogo kruga krovoobrashcheniya [Age-related transformation of the arterial link of the pulmonary circulation]. *Forcipe*. 2022; 5(1): 20–6. EDN BSMTQT. (in Russian).
3. Artyukh L.Yu. Magnitno-rezonansnaya tomografiya serdtsa kak osnovnoy metod v diagnostike kardiomiopatii razlichnogo geneza [Magnetic resonance imaging of the heart as the main method in the diagnosis of cardiomyopathies of various origins]. *Studencheskaya nauka-2018: Retsenziruyemye nauchno-prakticheskiye materialy Vserossiyskogo nauchnogo foruma studentov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiyem, Sankt-Peterburg, 12–13 aprelya 2018 goda*. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy pediatricheskiy meditsinskiy universitet Ministerstva zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii. 2018: 114–5. EDN YWDASE. (in Russian).
4. Bugakova N.S., Selezneva Ye.A., Mikhaylova T.A. *Rossiya v tsifrakh* [Russia in figures]. *Krat.stat.sb. Rosstat*. Moskva: Buki Vedi Publ.; 2020. (in Russian).
5. Sokolova I.N., Artyukh L.Yu., Sokolov D.V., Karelina N.R. Vozrastnyye osobennosti anatomii nadpocheknikov u novorozhdennykh v norme i pri rodovoy travme [Age-related features of the anatomy of the adrenal glands in normal newborns and with birth trauma]. *Forcipe*. 2022; 5(1): 4–13. EDN DDLSDU. (in Russian).
6. Karelina N.R., Sokolova I.N., Khisamutdinova A.R. i dr. Vozrastnyye osobennosti stroeniya i razvitiya organov immunnogo sistema cheloveka [Age features of the structure and development of the organs of the human immune system]. *Rossiyskiye biomeditsinskiye issledovaniya*. 2021; 6(4): 47–61. EDN YDWVSE. (in Russian).
7. Dzheymys F. Griffis, Kharri K. Genant, Tomas M. Link. Vizualizatsiya kostey — blizhe vsego k iskusstvu v meditsine [Bone imaging is the closest thing to an art in medicine]. *Osteoporoz i osteopatii*. 2013; 1: 39–45. (in Russian).
8. Gusev Ye.I., Kononov A.N., Skvortsova V.I. *Nevrologiya i neyrokhirurgiya* [Neurology and neurosurgery]. Uchebnik v 2 t. Moskva: GEOTAR-Media Publ.; 2009. (in Russian).
9. Yermolayev V.V. KSS. Kolennyy sustav. Effektivnost' rentgenologicheskikh i ul'trazvukovykh metodov diagnostiki degenerativnykh zabolevaniy sustavov (na primere kolennogo sustava) [Knee-joint. The effectiveness of X-ray and ultrasound methods for diagnosing degenerative joint diseases (for example, the knee joint)]. *RADIOMED*. Dostup po: <https://radiomed.ru/publications/35305-kss-kolennyy-sustav-effektivnost-rentgenologicheskikh-i-ul'trazvukovykh-metodov> (дата обращения 28.07.2022). (in Russian).
10. Ivanova N.V., Murashov O.V., Prokof'yev M.S. Ispol'zovaniye «Anatome Table» dlya izucheniya variativnoy anatomii [Using the Anatome Table to study variable anatomy]. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2020; 4(120): 13–6. (in Russian).
11. Itinson K.S. Innovatsionnoye obucheniye meditsine na osnove vizual'nykh tekhnologiy [Innovative education in medicine based on visual technologies]. *Karelian Scientific Journal*. 2020; 9(1): 16–8. (in Russian).
12. Kagan I.I. Klinicheskaya anatomiya v sovremennoy morfologii i meditsine [Clinical anatomy in modern morphology and medicine]. *Meditsinskoye obrazovaniye i professional'noye razvitiye*. 2011; 2(4): 27–35. (in Russian).
13. Kagan I.I., Shekhtman A.G., Malygina O.Ya., Strukova S.S. Magnitno-rezonansnaya tomografiya v anatomicheskoy issledovanii i klinicheskoy otsenke struktur golovnoy mozga v usloviyakh normy i opukholevoy patologii [Magnetic resonance imaging in the anatomical study and clinical assessment of brain structures in normal conditions and tumor pathology]. *Orenburgskiy meditsinskiy vestnik*. 2013; 1(1): 49–52. (in Russian).
14. Karelina N.R., Sokolova I.N., Khisamutdinova A.R. *Anatomiya cheloveka v grafologicheskikh strukturakh* [Human anatomy in graphological structures]. Uchebnik. Moskva: GEOTAR-Media Publ.; 2018. EDN ZRRKPF. (in Russian).
15. Kitayev V.M. Metody luchevoy diagnostiki: priority primeneniya [Methods of radiodiagnosis: application priorities]. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*. 2007; 2(1): 122–6. (in Russian).
16. Karelina N.R., Uvarova A.S., Khisamutdinova A.R. i dr. *Kletchatochnyye prostranstva zhenskogo malogo*

- taza [Cellular spaces of the female small pelvis]. *Rossiyskiye biomeditsinskiye issledovaniya*. 2022; 7(2): 91–101. EDN AMZTDS. (in Russian).
17. Kovalev A.V., Kinle A.F., Kokov L.S. i dr. Real'nyye vozmozhnosti posmertnoy luchevoy diagnostiki v praktike sudebno-meditsinskogo eksperta [Real possibilities of post-mortem radiation diagnostics in the practice of a forensic medical expert]. *Consilium Medicum*. 2016; 18(13): 9–25. (in Russian).
18. Kolomiyets O.M., Golubchikova M.G. Kontseptual'nyye polozheniya razvitiya uchebnoy samostoyatel'nosti studentov v obrazovatel'nom protsesse [Conceptual provisions for the development of educational independence of students in the educational process]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2019; 1(74): 306–8. (in Russian).
19. Komissarova Ye.N., Rodichkin P.V., Sazonova L.A. Morfologicheskiye kriterii vozzrastnoy gigiyeny [Morphological criteria for age-related hygiene]. *Uchebnoye posobiye: dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po napravleniyu «050100 — Pedagogicheskoye obrazovaniye»*; *Rossiyskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet im. A.I. Gertsena*. Sankt-Peterburg: Elmor Publ.; 2014. EDN SESPAJ. (in Russian).
20. Korolyuk I.P., Lindenbratei L.D. Komp'yuternaya tomografiya [Computed tomography]. *Magnitno-rezonansnyy metod*. V kn.: *Luchevaya diagnostika*. Moskva: BINOM Publ.; 2013: 78–89, 126–37. (in Russian).
21. Kosulin A.V., Bagaturiya G.O., Pashko A.A., Bulatova I.A. Sovremennyye metody vizualizatsii v prepodavanii topograficheskoy anatomii [Modern visualization methods in teaching topographic anatomy]. *FORCIPE*. 2019; 2(2): 35. (in Russian).
22. Kulikova O.Ye. Razlichiya mezhdru KT i MRT [Differences between CT and MRT]. *MedSeven: sayt diagnosticheskogo tsentra*. Dostupen po: <https://www.moskvia.ru/article/kt-mrt> (data obrashcheniya 28.07.2022). (in Russian).
23. Oganessian M.V., Shumak A.V., Bolotskaya A.A. Diagnostika i formirovaniye motivatsii u budushchikh vrachev pri izuchenii uchebnoy distsipliny «Anatomiya cheloveka» [Diagnosis and formation of motivation in future doctors in the study of the academic discipline “Human Anatomy”]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2019; 1(74): 309–11. (in Russian).
24. Popova Yu.N. Sovremennyye metody vizualizatsii v prepodavanii morfologicheskikh distsiplin [Modern methods of visualization in teaching morphological disciplines]. *FORCIPE*. 2020; 3(1): 33–6. (in Russian).
25. Karelina N.R., Khisamutdinova A.R., Artyukh L.Yu., Denisova G.N. Prepodavaniye distsipliny “anatomiya cheloveka” v novykh usloviyakh v period epidemii COVID-2019 [Teaching the discipline “human anatomy” in new conditions during the COVID-2019 epidemic]. *Pediatr*. 2020; 11(3): 13–22. DOI 10.17816/PED11313-22. EDN BHRMCU. (in Russian).
26. Andreyeva S.A., Karelina N.R., Kim T.I. i dr. Rol' lekt-siy v sovremennom obrazovatel'nom prostranstve [The role of lectures in the modern educational space]. *Pediatr*. 2021; 12(4): 103–12. DOI: 10.17816/PED124103-112. EDN YGIMPA. (in Russian).
27. Samsonova A.V., Komissarova Ye.N. Biomekhanika myshts [Muscle biomechanics]. *Uchebno-metodicheskoye posobiye*. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet fizicheskoy kul'tury im. P.F. Lesgafta. Sankt-Peterburg; 2008. EDN TRYREX. (in Russian).
28. Sapin M.R., Bilich G.L. Normal'naya anatomiya cheloveka [Normal human anatomy]. *Uchebnik v 2 kn*. Kn. 1. Moskva: Meditsinskoye informatsionnoye agentstvo; 2010: 166, 223. (in Russian).
29. Sechenov P. DICOM Viewer iznutri. Voksel'nyy render [DICOM Viewer from the inside]. *Khabr: novostnoy sayt*. Dostupen po: <https://habr.com/ru/amp/post/252429/> (data obrashcheniya 28.07.2022). (in Russian).
30. Sklyarova Ye.K., Zharov L.V., Dergousova T.G. Istoriya farmatsii [History of Pharmacy]. Rostov n/D: Feniks Publ.; 2015. (in Russian).
31. Zimina M.A., Karelina N.R., Khisamutdinova A.R., Artyukh L.Yu. Struktura prakticheskikh zanyatiy po anatomii cheloveka dlya inostrannykh studentov, obuchayushchikhsya v SPbGPMU na angliyskom yazyke [The structure of practical classes in human anatomy for foreign students studying at St. Petersburg State Pediatric Medical University in English]. *Pediatr*. 2022; 13(3): 89–101. DOI: 10.17816/PED13389-101. EDN IJTJHK. (in Russian).
32. Khisamutdinova A.R., Karelina N.R., Artyukh L.Yu. Osobennosti osteogeneza u zdorovykh devochek s raznymi somatometricheskimi kharakteristikami i u devochek s zaderzhkoy rosta [Features of osteogenesis in healthy girls with different somatometric characteristics and in girls with growth retardation]. *Rossiyskiye biomeditsinskiye issledovaniya*. 2021; 6(3): 3–6. EDN PVUPEX. (in Russian).
33. Chernyayev A.P., Volkov D.V., Lykova Ye.N. Komp'yuternaya tomografiya [Computed tomography]. V kn.: *Fizicheskoye metody vizualizatsii v meditsinskoy diagnostike*. Moskva: OOP fizicheskogo fakul'teta MGU Publ.; 2019: 36–53. (in Russian).
34. Shcheglov B.O., Bezulenko N.I., Atashchikov S.A., Shcheglova S.N. Virtual'nyy atlas personifitsirovannoy anatomii cheloveka «SkiaAtlas» i vozmozhnosti yego primeneniya [Virtual atlas of personalized human anatomy «SkiaAtlas» and the possibility of its application]. *Vestnik NGU*. 2020; 18(1): 84–93. (in Russian).
35. Yalunin N.V. Integrativnyye podkhody v prepodavanii anatomii obuchayushchimsya pediatricheskogo fakul'teta Ural'skogo gosudarstvennogo meditsins-

- kogo universiteta [Integrative approaches in teaching anatomy to students of the pediatric faculty of the Ural State Medical University]. FORCIPE. 2020; 3(1): 8–11.
36. Burbridge B., Burbridge C., Costa J., Carter Y. ODIN. Adaptation of an HTML 5-Compatible DICOM Viewer for MIRC-TFS, Enhancing the Incorporation of Clinical Images into the Health Science Curriculum. Medical Science Educator. 2019; 29(1): 11–7. DOI: 10.1007/s40670-018-00679-w.
37. Donald A. Neumann. Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation. Mosby/Elsevier; 2010.
38. Helge Petersson, David Sinkvist, Chunliang Wang, Örjan Smedby. Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. Anatomical Sciences Education. 2009; 2(2): 61–8. DOI: 10.1002/ase.76.
39. La Medicina estrena museo. Foto: Rama Knight, 2007, © The Wellcome Library, London. Доступен по: https://www.elmundo.es/albumes/2007/06/25/museo_medicina/index.html (date of access 28.07.2022).
40. Medixant. RadiAnt DICOM Viewer [Software]. Version 2021.1. Jun 27, 2021. Available at: <https://www.radiantviewer.com> (date of access 28.07.2022).
41. Kurianov P., Lipin A., Antropov A. et al. Popliteal Artery Angioplasty for Chronic Total Occlusions with versus without the Distal Landing Zone. Annals of Vascular Surgery. 2020; 62. DOI 10.1016/j.avsg.2020.04.054. EDN FCOWBP.
42. Singal A. Transforming anatomy education: then and now. Anatomical Science International. 2022; 97(2): 230–1.
43. Kuchai A.A., Lipin A.N., Antropov A.V. et al. Treatment of multilevel lesions of arteries in lower extremities in cases of CLTI. Medical Alliance. 2022; 10(S3): 187–9. EDN IWSMIP.