



MODERN VISUALIZATION METHODS IN THE STUDY OF HUMAN ANATOMY: FROM MICROSCOPY TO 3D RECONSTRUCTION

Karieva Khalima Ikramjanovna

Senior Lecturer, Department of Human Anatomy, Pathological
Anatomy, Histology and Forensic Medicine, ZARMED University
Samarkand, Uzbekistan

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17404125>

ARTICLE INFO

Received: 14th October 2025

Accepted: 19th October 2025

Online: 21st October 2025

KEYWORDS

Anatomy; Medical imaging;
Ultrasound; MRI; CT; Micro-
CT; 3D printing; 3D
reconstruction; Virtual
dissection; Digital
anatomical databases; 3D
Slicer.

ABSTRACT

Modern anatomy is rapidly being transformed by medical imaging technologies—from light/electron microscopy and micro-CT to point-of-care ultrasound, MRI/CT, virtual tables, and 3D printing. This review synthesizes data on the didactic value of these methods, their diagnostic capabilities, typical curriculum integration scenarios, and digital ecosystems (3D Slicer, open anatomical databases, and "Visible Human" projects). It is shown that the inclusion of medical imaging and 3D technologies is associated with improved spatial cognition, knowledge retention, and student engagement. The evidence base is most developed for point-of-care ultrasound education (POCUS), virtual tables, and 3D printing, while micro-CT primarily serves scientific and demonstration purposes with its unique resolution of soft tissue structures. A practical "integration ladder" for medical schools, taking into account resources, is proposed.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ИЗУЧЕНИИ АНАТОМИИ ЧЕЛОВЕКА: ОТ МИКРОСКОПИИ ДО 3D- РЕКОНСТРУКЦИИ

Кариева Халима Икрамжановна

Старший преподаватель кафедры Анатомии человека, патологической анатомии,
гистологии и судебно-медицинской экспертизы Университета ЗАРМЕД
Самарканд, Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17404125>

ARTICLE INFO

Received: 14th October 2025

Accepted: 19th October 2025

Online: 21st October 2025

KEYWORDS

Анатомия; медицинская
визуализация; ультразвук;
МРТ; КТ; микро-КТ; 3D-

ABSTRACT

М Современная анатомия стремительно трансформируется под влиянием медицинских технологий визуализации — от световой/электронной микроскопии и микро-КТ до УЗИ у постели больного, МРТ/КТ, виртуальных столов и 3D-печати. В обзоре синтезированы данные о дидактической ценности методов, их



IF = 9.2

печать;
реконструкция;
виртуальная диссекция;
цифровые анатомические
базы; 3D Slicer.

3D-диагностических возможностях, типичных сценариях интеграции в учебные планы и цифровых экосистемах (3D Slicer, открытые анатомические базы, проекты «Visible Human»). Показано, что включение медицинской визуализации и 3D-технологий ассоциировано с улучшением пространственного мышления, сохранением знаний и вовлечённостью студентов; при этом доказательная база наиболее развита для УЗ-обучения (POCUS), виртуальных столов и 3D-печати, тогда как микро-КТ преимущественно служит научным и демонстрационным целям с уникальным разрешением мягкотканых структур. Предложена практическая «лестница интеграции» для медицинских вузов с учётом ресурсов.

Введение. За последнее десятилетие анатомическое образование переместилось от «анатомии на столе» к «анатомии на экране», сочетая классическую диссекцию с КТ/МРТ, УЗ-сканированием, виртуальными столами, 3D-печатью и открытыми наборами данных (напр., Visible Human Project). Обзорные и скопинговые исследования фиксируют устойчивый сдвиг к цифровой анатомии, рост использования визуализации, VR/AR и печатных 3D-моделей, что коррелирует с лучшими учебными исходами и удовлетворённостью обучающихся [1–2, 18–19]. Вклад каждой технологии различается: УЗИ усиливает клиническую релевантность анатомии уже на доклиническом этапе [3–5], КТ/МРТ развивают навык работы с поперечными срезами и 3D-мышление [17–19], а 3D-печать и виртуальные столы служат «мостом» между изображением и осязаемой морфологией [12, 16–17]. Микро-КТ занимает особую нишу — исследовательскую и иллюстративную — обеспечивая субсантиметровое/субмиллиметровое разрешение сложных структур [7, 10–12].

Цель данного обзора — систематизировать дидактические и методические аспекты применения визуализационных технологий в анатомии, обозначить сильные/слабые стороны и предложить практический алгоритм внедрения в учебные планы.

Методы. Проведён целенаправленный поиск (2017–2025 гг.) в PubMed, Scopus, Web of Science и профильных издательствах (Wiley, Springer, BMC, JMIR), а также в официальной документации образовательных платформ (3D Slicer) и открытых анатомических ресурсов (Visible Human). Включались систематические/скопинговые обзоры, мета-исследования, методические статьи по интеграции визуализации в анатомическое обучение, публикации об образовательном эффекте виртуальных столов и 3D-печати, обзоры по микро-КТ, а также описания репрезентативных цифровых баз. Источники серой литературы (руководства, страницы проектов) использовались для справок об инфраструктуре



и доступности [1–5, 7, 10–11, 13, 16, 20–21, 23]. Основные конечные точки: учебные исходы (знания/навыки), пространственное мышление, удовлетворённость, реализуемость и стоимость (где доступны).

Результаты. 1) Ультразвук (POCUS) в анатомии. Систематические и интервенционные исследования демонстрируют, что включение POCUS в доклинический курс укрепляет связь «структура-функция-клиника», повышает удержание знаний и мотивацию, а также улучшает навык пространственной ориентации; модель «спирального» обучения позволяет поэтапно наращивать компетенции [3–5, 24]. Обзор 2022 года суммировал 34 исследования по использованию УЗИ в анатомическом обучении, подтвердив его высокую дидактическую ценность [4]. Недавняя работа 2024 года показала успешную вертикальную интеграцию POCUS в первый год обучения с акцентом на корреляцию с трупной анатомией [3]. Отдельное направление — 3D-печать «ультразвук-совместимых» фантомов для отработки анатомических ориентиров и пункционных навыков [13].

2) КТ/МРТ и поперечно-срезовая анатомия. Внедрение КТ/МРТ в учебные лаборатории и курсы повышает успеваемость, пространственное мышление и уверенность студентов при интерпретации изображений; положительный эффект отмечен как в контролируемых исследованиях, так и в программах «радиология для анатомов» [17–19]. Обзоры периода «новой нормы» подчёркивают, что рентгенография, КТ и МРТ стали неотъемлемой частью большинства учебных планов по анатомии [23]. Виртуальные столы (например, Anatomage) повышают понимание слоёв и топографии, демонстрируя высокую удовлетворённость и прирост знаний по сравнению с одной лишь традиционной диссекцией [16–17].

3) Микро-КТ как «супермикроскоп» анатомии. Обзор 2021 года систематизировал возможности микро-КТ и подчеркнул её преимущества: неразрушающая 3D-визуализация с высоким пространственным разрешением, пригодная для количественной морфометрии; одновременно указаны ограничения — стоимость, доступность, подготовка образцов [7]. На материале человеческих образцов показана трёхмерная визуализация мягких тканей позвоночника и связочного аппарата на эмбальмированных препаратах с фазово-контрастной технологией [10], а также применимость к кардиальным тканям и устройствам [12]. Для массового обучения метод остаётся нишевым, но уникален как иллюстративный и исследовательский инструмент.

4) 3D-печать и тактильная анатомия. Ряды исследований и обзоров показывают, что печатные анатомические модели повышают вовлечённость и помогают преодолеть «разрыв» между 2D-срезами и 3D-восприятием; есть данные о превосходстве комбинированного подхода (КТ/МРТ → сегментация → печать) в понимании сложной топографии [12, 19]. Специальное направление — печать фантомов, по которым можно сканировать УЗ-датчиком (в т.ч. для сосудистого доступа), что связывает визуализацию и симуляционную практику [13].

5) Цифровые базы и программные экосистемы. Проект Visible Human предоставил эталонные многоформатные наборы данных (криосрезы, КТ, МРТ)



мужского и женского тела в открытом доступе, став фундаментом для цифровых атласов и учебных модулей [3, 7–8, 23]. Комбинация «данные + платформа» стала стандартом для учебных и исследовательских задач: 3D Slicer — свободная, открытая среда для визуализации, сегментации, регистрации и количественной оценки, поддерживающая подготовку моделей для 3D-печати и VR-просмотра; её документация подробно описывает сегментацию и рабочие процессы для образовательных кейсов [16, 21]. Коммерческие и академические атласы (напр., e-Anatomy на основе Visible Human) предоставляют размеченные слои и тестовые режимы, ускоряя самостоятельное обучение [13].

Обсуждение. Дидактическая ценность и «педагогическая матрица». Суммарно, визуализационные технологии усиливают три ключевых домена обучения анатомии: (i) пространственное понимание (КТ/МРТ, виртуальные столы, 3D-печать), (ii) клиническая релевантность (POCUS как «анатомия-у-постели»), (iii) исследовательская глубина (микро-КТ) [1, 3–5, 7, 16–19, 23]. Скопинговые и нарративные обзоры цифровой анатомии подчёркивают, что лучшие результаты достигаются в гибридных моделях, где цифровые средства дополняют, а не вытесняют трупную диссекцию [1–2, 23]. Виртуальные столы и VR повышают вовлечённость, но требуют педагогического дизайна и оценки знаний, а не только «вау-эффекта» [16–17].

Инфраструктура и доступ. Практическая реализуемость зависит от доступности КТ/МРТ-данных, лицензий и вычислительных ресурсов. Здесь выигрывают открытые данные (Visible Human) и свободные платформы (3D Slicer), позволяющие выстраивать полный цикл «данные → сегментация → 3D-модель → печать/VR» без барьеров стоимости [16, 21, 23]. Для POCUS ограничивающим фактором остаётся подготовка преподавателей и стандартизация оценивания; современные рамки предлагают «спиральную» интеграцию на всех этапах обучения [24] и междисциплинарные курсы «радиология для анатомов» [18–19].

Микро-КТ остаётся золотым стандартом для демонстрации мелкомасштабной архитектоники и количественной морфометрии, включая костно-связочные и некоторые мягкотканые структуры с контрастированием; однако для рутинного обучения её рационально применять как библиотеку высококачественных 3D-кейсов и иллюстраций, интегрированных в виртуальные столы и LMS [7, 10–12].

Несмотря на многочисленные позитивные отчёты, часть исследований имеет небольшие выборки, гетерогенные дизайны и короткие горизонты наблюдения. Необходимы рандомизированные исследования с единообразными метриками знаний/навыков и оценкой долговременного удержания, а также экономические анализы «стоимость-эффективность» для разных сценариев внедрения [1–2, 16–19, 23].

Практический алгоритм внедрения («лестница интеграции»).

1. База (low-cost): открытые данные (Visible Human) + 3D Slicer для просмотра/сегментации и базовых 3D-реконструкций; начальные POCUS-сессии в анатомлабе (ориентиры, сосуды, органы) [3–5, 16, 21, 23].



2. Средний уровень: виртуальные столы/VR-модули для топографии, КТ/МРТ-кейсы, создание банка собственных данных; печать ключевых структур для «тактильной» обратной связи [16–19].
3. Продвинутый уровень: микро-КТ-библиотека для сложных анатомических областей; разработка УЗ-совместимых фантомов под учебные сценарии (сосудистый доступ, пункции) [7, 10–13].
4. Оценка: стандартизированные рубрики знания/навыков, ОСФЕ-станции с POCUS-элементами, отслеживание долгосрочных учебных исходов [4, 24].

Заключение. Современные методы визуализации формируют новую парадигму преподавания анатомии: POCUS добавляет клиническую направленность и раннюю интеграцию «анатомия-к-клинике»; КТ/МРТ и виртуальные столы укрепляют пространственное мышление и работу со срезами; 3D-печать превращает данные в осязаемые модели; микро-КТ открывает доступ к уникальной микроморфологии. Оптимальный путь — гибридная, ступенчатая интеграция с опорой на открытые наборы данных (Visible Human) и свободные платформы (3D Slicer), стандартизированную оценку учебных результатов и подготовку преподавателей. Такая архитектура доказательно повышает вовлечённость и учебные исходы и одновременно развивает цифровые компетенции будущих врачей [1–5, 12, 16–19, 21, 23–24].

References:

1. Adnan S., et al. A scoping review on the trends of digital anatomy education. *Clinical Anatomy*, 2023.
2. Wickramasinghe N., et al. The Opportunities and Challenges of Digital Anatomy for Medical Education. *JMIR Medical Education*, 2022; 8(2): e34687.
3. Zeitouni F., et al. Integration of point-of-care ultrasound into undergraduate anatomy education. *BMC Medical Education*, 2024.
4. Kenny E. J. G., et al. The Use of Ultrasound in Undergraduate Medical Anatomy Education: A Systematic Review. *Anatomical Sciences Education*, 2022.
5. Brunel M., et al. Bringing anatomy to life: the role of clinical ultrasound in medical education. 2025.
6. National Library of Medicine. The Visible Human Project — Overview. 1994–1995; updated 2025.
7. Data.gov. Visible Human Project — Dataset Catalog. Updated June 19, 2025.
8. IMAIOS e-Anatomy. Visible Human Project: Normal Anatomy Module. 2024–2025.
9. Keklikoglou K., et al. Micro-CT for Biological and Biomedical Studies: A Review. *Microscopy and Microanalysis*, 2021.
10. Barbone G. E., et al. High-Spatial-Resolution 3D Imaging of Embalmed Human Spines with X-ray Phase-Contrast Micro-CT. *Radiology*, 2021.
11. Papazoglou A. S., et al. Current clinical applications and potential of micro-CT in cardiology. *Hellenic Journal of Cardiology*, 2021.
12. Li K. H. C., et al. The role of 3D printing in anatomy education and surgical training: a review. 2017.



13. Krech J. D., et al. Systematic Review of 3D-Printed Ultrasound-able Models for Procedural Training. 2024.
14. 3D Slicer — Official Documentation. About 3D Slicer. ReadTheDocs.
15. 3D Slicer — User Guide. Image Segmentation. ReadTheDocs.
16. Kavvadia E. M., et al. The Anatomage Table: A Promising Alternative in Anatomy Education — Systematic Review. 2023.
17. Telecan T., et al. Dissection in the 21st Century: Virtual Tables versus Traditional Methods. 2025.
18. Patra A., et al. The “new normal” in anatomy education: imaging and digital integration. Surgical and Radiologic Anatomy, 2022.
19. Ramos-Bossini A. J. L., et al. The Educational Impact of Radiology in Anatomy Teaching. Academic Radiology, 2024.
20. 3D Slicer — Training Datasets (CT/MRI and 3D Models). Slicer Wiki., 2022.
21. 3D Slicer — Image Computing Platform (project site). slicer.org.
22. Visible Human Project — Getting the Data (technical specs). National Library of Medicine.
23. Dayan R. R., et al. Principles for Developing a Large-Scale POCUS Curriculum (spiral approach). 2025.
24. Ikromjonovna K. H. A Healthy Lifestyle is a Solid Foundation of Our Society //International Journal on Orange Technologies. – 2023. – Т. 3. – №. 4. – С. 337-339.
25. Ikramjanovna K. K. АНАТОМИЯ В КОНТЕКСТЕ МЕДИЦИНЫ: РОЛЬ В ПЛАНИРОВАНИИ ОПЕРАЦИЙ И ЛЕЧЕНИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ //Eurasian Journal of Medical and Natural Sciences. – 2024. – Т. 5. – №. 2. – С. 135-138.
26. Гадоева М. Г. К., Кариева Х. И. Сегодняшние студенты, их рацион питания и способы его улучшения //Вопросы науки и образования. – 2018. – №. 27 (39). – С. 119-121.