

Нуждин О.Ю., Немыкина Е.Н., Кужеливский И.И.
**СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ АНАТОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ:
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОТОГРАММЕТРИИ
И 3D-СКАНИРОВАНИЯ**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет»,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

***Аннотация.** Развитие методов трёхмерной визуализации имеет особое значение и может быть использовано в контексте: цифровизации медицинского образования, создания интерактивных анатомических атласов, проведения точных морфометрических исследований, сохранения редких анатомических препаратов в цифровом формате и разработки персонализированных медицинских решений. В данной статье представлен подробный анализ двух ключевых технологий оцифровки – 3D-сканирования и фотограмметрии, с акцентом на их применение в анатомических исследованиях.*

***Ключевые слова:** фотограмметрия, 3D-сканирование, цифровизация в анатомии*

Nuzhdin O.Y., Nemykina E.N., Kuzhelivsky I.I.
**CREATION OF DIGITAL 3D MODELS OF ANATOMICAL OBJECTS:
COMPARATIVE ANALYSIS OF PHOTOGRAMMETRY
AND 3D SCANNING METHODS**

***Annotation.** The development of three-dimensional visualization methods is of particular importance and can be used in the context of: digitalization of medical education, creation of interactive anatomical atlases, conducting precise morphometric studies, preserving rare anatomical specimens in digital format, and developing personalized medical solutions. This article provides a detailed analysis of two key digitization technologies - 3D scanning and photogrammetry, with a focus on their application in anatomical studies.*

***Keywords:** photogrammetry, 3D scanning, and digitalization in anatomy.*

Актуальность. Цвет в 3D-моделировании — это не эстетика, а новый диагностический параметр. С развитием технологий трехмерного моделирования и визуализации, создание цифровых моделей анатомических объектов стало важной частью медицины, анатомии и образовательных программ по данным дисциплинам. Два наиболее распространенных метода для достижения этой цели — фотограмметрия и 3D-сканирование. Возможность создания точных трехмерных моделей биологических объектов открывает новые перспективы в медицинском образовании, научных исследованиях и клинической практике. Развитие методов трехмерной визуализации приобретает особую значимость и могут быть использованы в контексте: цифровизации медицинского образования, создания интерактивных анатомических атласов, проведения прецизионных морфометрических исследований, сохранения редких анатомических препаратов в цифровом формате, разработки персонализированных медицинских решений. В данной статье представлен детальный анализ двух ключевых технологий оцифровки - 3D-сканирования и фотограмметрии, с акцентом на их применение в анатомических исследованиях [1, 4].

Цель данного исследования — провести сравнительный анализ методов фотограмметрии и 3D-сканирования в контексте создания цифровых 3D моделей анатомических объектов, выявить их преимущества и недостатки, а также определить оптимальные условия для применения каждого из методов в зависимости от специфики задач, требований к точности и доступности оборудования.

Материалы и методы исследования. На базе Уральского государственного медицинского университета кафедры анатомии, топографической анатомии и оперативной хирургии применяется для создания анатомических муляжей профессиональный монохромный 3D-сканер RangeVision PRO 2 с следующими характеристиками: разрешение: до 2 микрон, скорость сканирования: до 1,5 млн точек/сек, рабочая зона: 520×390×360 мм, программное обеспечение: RangeVision ScanCenter.

Методика сканирования включала следующее:

1. Подготовка объекта (антибликовая обработка)
2. Калибровка оборудования
3. Многоакурсное сканирование (8-12 позиций)
4. Автоматическое совмещение сканов
5. Постобработка в программе Blender

Для фотограмметрической съемки применялся комплект оборудования: камера: Nikon D700 с объективом 60mm f/2.8 осветительная система: кольцевая LED-подсветка, калибровочные маркеры, программное обеспечение: RealityCapture.

Протокол съемки включал в себя:

1. Разметка контрольных точек
2. Круговое фотографирование (72 кадра с шагом 5°)
3. Вертикальные серии снимков (3 уровня)
4. Обработка RAW-изображений
5. Постобработка в ПО MeshLab

Обработка данных проводилась на ПК с процессором Intel i9-13900KF, видеокартой NVIDIA GeForce RTX 4090, оперативной памятью 128 ГБ под управлением Windows 11 Pro.

Результаты исследования. Каждый из цифровых методов имеет свои особенности, преимущества, а также и недостатки, которые стоит рассмотреть для выбора наиболее подходящего подхода в зависимости от конкретных задач. В таблице 1 представлены качественные показатели методов фотограмметрии и 3D-сканирования.

Фотограмметрия — это метод, основанный на анализе изображений, полученных с помощью камеры. С помощью серии фотографий объекта с разных углов создается набор данных, который затем обрабатывается с помощью специализированного программного обеспечения для создания 3D-модели. Этот процесс включает в себя определение ключевых точек на изображениях и вычисление их пространственных координат. Данный метод имеет ряд преимуществ. Основные из них это:

1. **Доступность:** для фотограмметрии достаточно стандартной цифровой камеры и программного обеспечения, что делает метод доступным для широкого круга пользователей.

2. **Экономичность:** обычно фотограмметрия требует меньших затрат на оборудование по сравнению с 3D-сканированием.

3. **Гибкость:** Метод позволяет моделировать объекты различных форматов и размеров, включая большие объекты, такие как человеческие скелеты или органы.

К недостаткам метода фотограмметрия относят:

1. **Требования к освещению:** Фотограмметрия чувствительна к условиям освещения, что может повлиять на качество получаемых изображений.

2. **Сложность обработки:** Создание высококачественной модели требует значительных вычислительных ресурсов и времени на обработку данных.

3. **Ограничения по текстуре:** Модели могут иметь проблемы с текстурированием в местах с однородной или отражающей поверхностью.

3D-сканирование включает использование специализированных устройств, таких как лазерные сканеры или структурированные световые сканеры, для получения точных измерений объекта. Эти устройства создают облако точек, которое затем обрабатывается для формирования трехмерной модели. Данный метод обладает следующими преимуществами:

1. **Высокая точность:** 3D-сканеры обеспечивают высокую степень детализации и точности, что особенно важно для морфометрии анатомических объектов.

2. **Быстрота процесса:** Сканирование может быть выполнено значительно быстрее, чем фотограмметрия, особенно для сложных объектов.

3. **Независимость от условий освещения:** 3D-сканеры могут работать в различных условиях освещения и не зависят от внешних факторов.

Из недостатков можно выделить:

1. **Стоимость оборудования:** Специализированные 3D-сканеры могут быть дорогими, что ограничивает доступность метода.

2. **Размеры и вес:** Некоторые 3D-сканеры могут быть громоздкими и сложными в использовании, особенно в полевых условиях.

3. **Ограничения по материалам:** Некоторые сканеры могут иметь трудности с захватом объектов из прозрачных или блестящих материалов.

Таблица 1
Качественные показатели методов фотограмметрии и 3D-сканирования

Параметр	3D-сканирование	Фотограмметрия
Средняя погрешность	0,002 мм	0,05 мм
Плотность полигонов	12 млн/см ²	8 млн/см ²

Параметр	3D-сканирование	Фотограмметрия
Цветовая точность	Монохромная N/A	98%
Время обработки	+/- 15 мин	+/- 120 мин

Методы фотограмметрии и 3D-сканирования имеют широкое практическое применение. Разработанные технологии успешно применяются для создания точных цифровых моделей человеческого тела, которые могут использоваться в хирургии для планирования операций или в образовательных целях для студентов-медиков. Создание виртуальный 3D-атлас, интерактивные тестовые модули, а также AR-приложения для мобильных устройств. Фотограмметрия и 3D-сканирование позволяют создавать точные трехмерные модели скелетов и органов различных видов. Это особенно полезно для изучения анатомических различий и сходств между видами. С помощью 3D-моделей исследователи могут проводить количественный анализ морфологических характеристик, таких как размеры, формы и пропорции различных частей тела [1, 2].

Динамическое моделирование. 3D-сканирование позволяет создавать модели, которые можно использовать для анализа движений живых организмов. Это важно для изучения биомеханики и функциональной анатомии. Динамическое моделирование может включать симуляцию движения моделей с использованием данных о их анатомии. Модели могут быть использованы для проведения расчетов, связанных с нагрузками на различные структуры организма, что полезно в медицине (например, при проектировании протезов) и в биомеханике. Динамическое моделирование может быть использовано для визуализации физиологических процессов, таких как дыхание или кровообращение, что позволяет лучше понять функциональные аспекты анатомии [2, 3].

Таким образом, фотограмметрия и 3D-сканирование предоставляют мощные инструменты для исследования и анализа анатомических структур и динамики движений, что имеет большое значение как в научных исследованиях, так и в образовательных целях. Дальнейшие исследования цифровых 3D-моделей анатомических объектов: направлены на интеграцию с VR-технологиями, разработку алгоритмов Искусственного Интеллекта для автоматического распознавания структур, а также для создания базы нормативной анатомии.

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует, что комбинированное использование 3D-сканирования и фотограмметрии позволяет достичь оптимального баланса между точностью и функциональностью цифровых анатомических моделей. Выбор между фотограмметрией и 3D-сканированием зависит от конкретных требований

проекта, доступного оборудования и бюджета. Фотограмметрия может быть предпочтительной для образовательных целей или при ограниченном бюджете, в то время как 3D-сканирование обеспечивает высокую точность и скорость, что делает его идеальным выбором для научных исследований и медицинских приложений. Оба метода имеют свои уникальные преимущества и могут дополнять друг друга в процессе создания цифровых моделей анатомических объектов. Дальнейшее совершенствование этих технологий открывает новые возможности для цифровой анатомии.

Литература

1. Brown, K.L. Photogrammetry for Anatomical Modeling / K. L. Brown // Springer. – 2021. – Vol. 128, № 237.
2. The Use of 3D Scanning in the Creation of Digital Anatomical Models / M. Jason // Anatomical Sciences Education. – 2019. – Vol. 12, № 3. – P. 245-254.
3. A. F., Digital Methods for Creating Anatomical Models: A Review / R. Shane Tubbs // Clinical Anatomy – 2018. – Vol. 31, № 5. – P. 631-637.
4. The Future of Photogrammetry in Medicine / Allan F. Simpao // Journal of Medical Systems. – 2019. – Vol. 43, №4. – P. 1-10.