

ЦИФРОВАЯ БИОМИКРОСКОПИЯ ПЕРЕДНЕГО СЕГМЕНТА ГЛАЗА В СИСТЕМЕ СИМУЛЯЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Бакуткин Валерий Васильевич, Бакуткин Илья Валерьевич

ООО «МАКАО ИТ», г. Саратов, Российская Федерация

ORCID: Бакуткин В. В. 0000-0001-9461-211X

ORCID: Бакуткин И. В. 0000-0002-9755-9489

bakutv@bk.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2025_4_2146

Аннотация. В статье представлен анализ возможностей применения цифровой биомикроскопии переднего сегмента глаза в системе современного медицинского образования. Детально рассматриваются методологические аспекты создания стандартизированных визуальных материалов для симуляционного обучения, формирования структурированных клинических баз данных и разработки специализированных датасетов для обучения нейронных сетей. Приводятся результаты практической реализации аппаратно-программного комплекса цифровой биомикроскопии в образовательном процессе, демонстрируются количественные и качественные показатели эффективности.

Ключевые слова: цифровая биомикроскопия, симуляционное обучение, передний сегмент глаза, искусственный интеллект, медицинское образование, стандартизация диагностических изображений.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Бакуткин В. В., Бакуткин И. В. Цифровая биомикроскопия переднего сегмента глаза в системе симуляционного обучения: методологические аспекты и практическая реализация // Виртуальные технологии в медицине. 2025. № 4. С. 398–402. DOI: 10.46594/2687-0037_2025_4_2146

Научная специальность: 3.2.3. Общественное здоровье и организация здравоохранения, социология и история медицины.

Поступила в редакцию 25 сентября 2025 г.

Поступила после рецензирования 04 декабря 2025 г.

Принята к публикации 07 декабря 2025 г.

DIGITAL BIOMICROSCOPY OF THE ANTERIOR SEGMENT OF AN EYE IN A SIMULATION LEARNING SYSTEM: METHODOLOGICAL ASPECTS AND PRACTICAL IMPLEMENTATION

Bakutkin Valery, Bakutkin Ilya

MACAO IT, Saratov, Russian Federation

bakutv@bk.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2025_4_2146

Annotation. The article presents an analysis of the possibilities of using digital biomicroscopy of the anterior segment of an eye in the system of modern medical education. The methodological aspects of creating standardized visual materials for simulation training, forming structured clinical databases, and developing specialized datasets for training neural networks are considered in detail. The results of the practical implementation of the hardware and software complex of digital biomicroscopy in the educational process are presented, quantitative and qualitative performance indicators are demonstrated.

Keywords: digital biomicroscopy, simulation training, anterior segment of the eye, artificial intelligence, medical education, standardization of diagnostic images.

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

For quotation: Bakutkin Valery, Bakutkin Ilya Digital Biomicroscopy of the Anterior Segment of an Eye in a Simulation Learning System: Methodological Aspects and Practical Implementation // Virtual Technologies in Medicine. 2025. No. 4. P. 398–402. DOI: 10.46594/2687-0037_2025_4_2146

Received September 25, 2025

Revised December 04, 2025

Accepted December 04, 2025

Актуальность

Современное медицинское образование характеризуется активной интеграцией цифровых технологий в учебный процесс. Особую значимость приобретают методы визуализации, позволяющие стандартизировать процесс обучения и объективизировать оценку приобретаемых компетенций [2; 5]. Цифровая биомикроскопия глаза представляет собой перспективное направление в симуляционном обучении, что обусловлено ростом патологий органа зрения, связанных с увеличением зрительной нагрузки и распространенностью системных заболеваний [2]. Это требует от современных специалистов владения высокоуровневыми диагностическими навыками, формирование которых невозможно без использования современных образовательных технологий [1; 3]. Традиционные методы обучения демонстрации клинических случаев имеют существенные ограничения, связанные с вариабельностью качества визуализации, субъективностью оценки и невозможностью создания обширных клинических датасетов. Цифровая биомикроскопия позволяет преодолеть эти ограничения путем создания стандартизированной библиотеки клинических случаев и их использования в симуляционном обучении, в том числе дистанционно. Развитие технологий

искусственного интеллекта в медицине требует создания качественных размеченных датасетов для обучения нейронных сетей. Формирование таких массивов данных невозможно без применения стандартизированных протоколов получения и обработки диагностических изображений. Методика биомикроскопии глаза является базовой в офтальмологии, для этого используются оптические дорогостоящие импортные приборы. Имеется высокая потребность в портативных, автоматизированных цифровых визуализаторах переднего сегмента глаза для использования в симуляционном обучении.

Цель работы: исследование возможности использования цифровой биомикроскопии переднего сегмента глаза в системе симуляционного обучения.

Материалы и методы исследования

Цифровая биомикроскопия представляет собой метод исследования биологических тканей с использованием цифровых технологий и микроскопов высокого разрешения. Разработан аппаратно-программный комплекс визуализации переднего сегмента глаза с возможностью получения изображений переднего сегмента глаза.



Рис. 1. Визуализация переднего сегмента глаза с использованием аппаратно-программного комплекса цифровой биомикроскопии

Для обеспечения стандартизированных условий получения цифровых изображений используются свето-изолирующие амбразуры и оригинальная система освещения, сбалансированная по параметрам яркости, баланса белого и наличие монохроматических источников света (красный, зеленый, синий), что соответствует системе освещения в щелевой лампе. Аналогично ос-

ветительной системе щелевой лампы имеются варианты фокального и бокового освещения. Используется система фото- и видео-регистрации в разрешении 4K и система адаптивной оптики. Управление системой визуализации осуществляется микрокомпьютером с возможностью хранения, архивации и дистанционной демонстрации изображений через интернет. Для

демонстрации клинических случаев можно использовать любые устройства (мониторы или проекторы). Программное обеспечение поддерживает обработку и анализ изображений с функциями автоматической сегментации структур глаза. Разработан протокол стандартизации, включающий проведение калибровки системы по эталонным тест-объектам для обеспечения постоянства цветопередачи и резкости. Определение и фиксация унифицированных параметров для съемки различных структур (роговица, радужка, хрусталик), получение серии изображений в высоком разрешении с соблюдением протокола, внесение в метаданные информации о диагнозе (по МКБ), локализации патологического процесса, режиме съемки. Имеется программа «каталогизация и загрузка изображений в базу данных симуляционной системы».

Полученные результаты и их обсуждение. Создан образовательный контент, а именно комплекс учебных материалов, включающий библиотеку из 250 стандартизированных изображений переднего сегмента глаза. На основе полученных данных был создан датасет для обучения нейронных сетей, характеризующийся возможностью выделения анатомических отделов переднего сегмента глаза — век, глазной щели, конъюнктивы, сосудов, роговицы, радужной оболочки, зрачка с точностью распознавания — 96,3%, чувствительностью алгоритма — 94,8%, специфичностью — 97,2%.

На рисунке 2 представлена биомикроскопическая картина микроциркуляции переднего сегмента глаза.

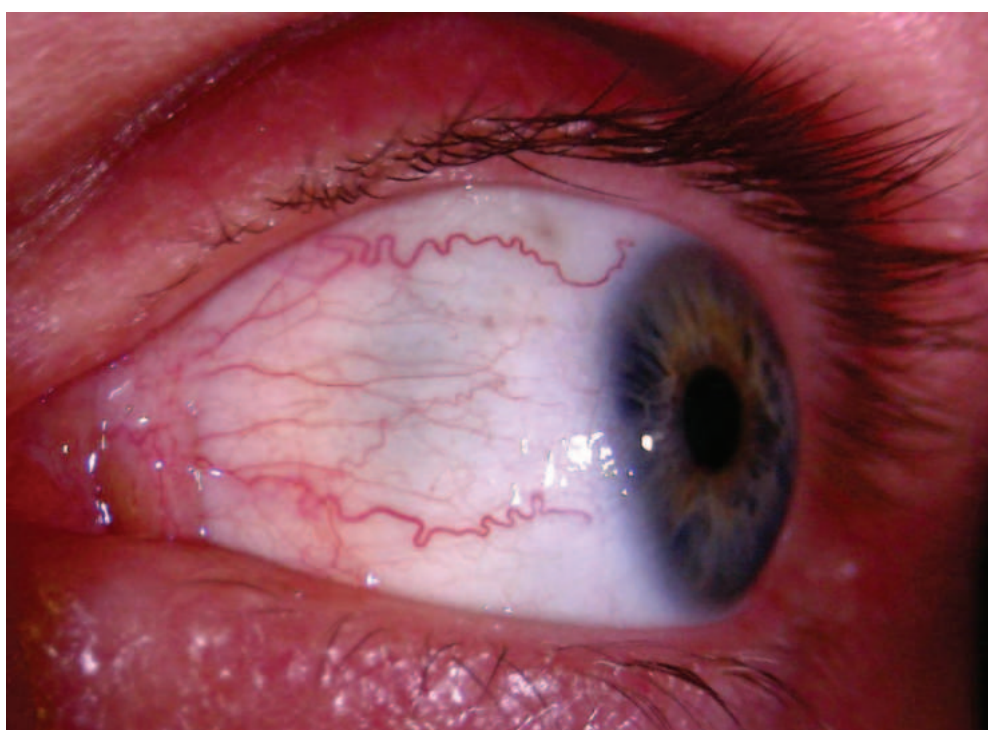


Рис. 2. Биомикроскопическая картина микроциркуляции переднего сегмента глаза

Использование методики цифровой биомикроскопии переднего сегмента глаза с аппаратно-программным комплексом дает существенные преимущества, прежде всего, стандартизацию изображений, воспроизводимость, благодаря машинному зрению. Цифровая регистрация минимизирует человеческий фактор и повышает точность исследований. Это дает возможность использования изображений в качестве эталонов для разбора клинических случаев на симуляционных тренажерах. Подготовлены курсы обучения по разделам: неотложная помощь, контактная коррекция, эндокринная офтальмопатия. Внедрение цифровой биомикроскопии в учебный процесс показало следующие результаты: сокращение времени освоения практических навыков биомикроскопии переднего сегмента глаза на 38%.

Междисциплинарное применение заключается в демонстрации симптомов и клинических случаев в офтальмологии, неврологии, эндокринологии.

Система симуляционного обучения представлена аппаратно-программным комплексом для получения, просмотра и анализа библиотеки изображений с возможностью дистанционного обучения и телементорства.

Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность применения цифровой биомикроскопии в системе симуляционного обучения. Основные преимущества метода включают:



КОС-СИМ

виртуальный симулятор эстетической медицины

Симулятор предназначен для отработки в виртуальной реальности навыков, а также анализа и оценки степени практического мастерства по инъекционным косметологическим процедурам.

Движения инструментов отслеживаются компьютером и воспроизводятся на экране монитора в реальном времени. С помощью компьютерной графики на экране изображается взаимодействие инструментов с виртуальной анатомией и поверхностью кожи, моделируются упражнения или инъекционные процедуры.

В ходе выполнения каждой отдельной виртуальной операции на симуляторе:

- производится анализ, сбор и демонстрация информации (в зависимости от режима), связанной с проведением процедуры, в частности распознаются точки прокола, угол и глубина ввода,
- распознаются и отображаются инъекционные техники,
- демонстрируется процесс прокола кожи и ввода иглы,
- визуализируется анатомия с динамической процедурной генерацией трехмерных срезов.

Результаты выполнения процедур оцениваются по определенным параметрам, в том числе, время выполнения, корректность места прокола, точность попадания препарата в анатомическую точку.



- 1) возможность создания стандартизированного образовательного контента;
- 2) формирование структурированных медицинских данных для исследований;
- 3) высокую точность диагностики при использовании алгоритмов ИИ;
- 4) широкие возможности для междисциплинарного применения.

Заключение

Внедрение методики цифровой биомикроскопии для получения стандартизированных изображений переднего сегмента глаза обеспечивают повышение объективности и качества обучения: обучающиеся работают с эталонными, верифицированными изображениями, что формирует корректные визуальные шаблоны для распознавания патологий. Унификация изображений позволяет создавать единые оценочные критерии для проверки знаний и навыков идентификации заболеваний, минимизируя субъективный фактор. Метод исключает дискомфорт для реальных пациентов во время длительного учебного осмотра и позволяет соблюдать конфиденциальность их данных. Таким образом, использование цифровой биомикроскопии для создания стандартизированных обучающих датасетов является необходимым и логичным шагом в развитии современного компетентностного подхода в подготовке высококвалифицированных офтальмологических кадров. Дальнейшее развитие направления связано с интеграцией искусственного интеллекта для автоматической классификации изображений и создания адаптивных обучающих систем, интеграцию с системами телемедицины для удаленного обучения.

Вклад авторов: Бакуткин В. В. — разработка концепции, анализ данных, написание текста; Бакуткин И. В. — сбор данных, иллюстрации, редактирование, утверждение версии.

Авторы одобрили рукопись и несут ответственность за ее аспекты. Все авторы подтверждают соответствие критериям ICMJE.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакуткин В. В., Бакуткин И. В. Сервис для обучения принятия врачебных решений с использованием аппаратно-программного симулятора офтальмо-скопии // Виртуальные технологии в медицине. 2023. № 1 (4). С. 346–349. DOI: 10.46594/2687-0037_2023_4_1777
2. Русина Е. В., Перепелица С. А. Симуляционный тренинг in situ как метод формирования профессиональной компетенции при изучении дисциплины «офтальмология» // Виртуальные технологии в медицине. 2024. № 1 (1). С. 27–32. DOI:10.46594/2687-0037_2024_1_1789.
3. Свистунов А. А., Краснолуцкий И. Г., Тогоев О. О., Кудинова Л. В., Шубина Л. Б., Грибков Д. М. Аттестация с использованием симуляции // Виртуальные технологии в медицине. 2015. № 1 (13). С. 10–12. DOI: 10.46594/2687-0037_2015_1_10
4. Janczukowicz J., Rees C. E. Preclinical medical students' understandings of academic and medical professionalism: visual analysis of mind maps // BMJ Open. 2017. V. 7, no. 8. e 015897.
5. Pong K. M., Teo J. T., Cheah F. C. Simulation-based education in the training of newborn care providers — a Malaysian perspective // Front Pediatr. 2021; V. 9. No. 619035. DOI: 10.3389/fped.2021.619035.
6. Rosen M. A., Hunt E. A., Pronovost P. J., Federowicz M. A., Weaver S. J. In situ simulation in continuing education for the health care professions: a systematic review // J. Continuous Education Health Prof. 2012. No. 32 (4). P. 243–254. DOI: 10.1002/chp.21152.