

## МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПЕДИАТРИЧЕСКОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ: ТЕКУЩИЕ ПРОБЕЛЫ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18076367>

Теланг Сахир Прасенджит

### Аннотация

Обучение детской хирургии сопряжено с уникальными трудностями из-за небольшого числа пациентов, анатомической изменчивости, этических ограничений и высокого уровня требуемой технической точности. Традиционные модели обучения на основе наставничества, хотя и исторически эффективны, все чаще оказываются недостаточными для удовлетворения современных образовательных требований и требований безопасности пациентов. В последние годы моделирование, виртуальная реальность (VR) и искусственный интеллект (AI) стали многообещающими инструментами для дополнения хирургического образования. Однако большинство существующих технологий разработаны для хирургии взрослых и не имеют специфического для педиатрии дизайна, валидации и корреляции результатов. В этой статье рассматривается текущая роль моделирования, VR и AI в педиатрической хирургической подготовке, критически анализируются существующие пробелы в их разработке и внедрении, а также намечаются будущие направления исследований и интеграции. Особое внимание уделяется необходимости создания анатомических моделей, учитывающих особенности детского организма, стандартизированной учебной программы, объективных инструментов оценки и равного доступа к технологиям обучения. Устранение этих пробелов имеет важное значение для обеспечения того, чтобы технологические инновации привели к существенному улучшению компетентности детских хирургов и результатов лечения пациентов.

### Ключевые слова

Детская хирургия, Моделирование, Виртуальная реальность (VR), Искусственный интеллект (AI), анатомические модели, учитывающие особенности детского организма, технологические инновации.

Введение:

Детская хирургия принципиально отличается от хирургической практики у взрослых. Хирурги должны оперировать пациентов, начиная от недоношенных новорожденных и заканчивая подростками, каждый из которых имеет свои особенности анатомии, физиологии и развития. Кроме того, многие детские хирургические заболевания встречаются редко, что ограничивает клиническую практику во время обучения. Этические императивы еще больше ограничивают практический опыт, особенно у новорожденных и младенцев, где допустимость ошибок минимальна. Традиционная модель хирургического образования, основанная на принципе «увидел — сделал — научил», все чаще сталкивается с проблемами, связанными с сокращением рабочего времени, повышением требований к безопасности пациентов и медико-юридическими проблемами. В результате растет интерес к альтернативным образовательным стратегиям, позволяющим стажерам развивать технические и нетехнические навыки без ущерба для качества медицинской помощи пациентам.

В качестве потенциальных решений все большую популярность приобретают симуляция, виртуальная реальность (VR) и искусственный интеллект (AI). Хотя эти технологии широко изучаются в обучении хирургии взрослых, их применение в детской хирургии остается ограниченным и фрагментарным. В этой статье рассматривается текущее состояние этих технологий в детском хирургическом образовании, выявляются критические пробелы и предлагаются будущие направления для значимых инноваций.

Уникальные проблемы в обучении детской хирургии

Несколько факторов отличают обучение детской хирургии от обучения хирургии взрослых:

1. Небольшие и деликатные анатомические особенности, требующие исключительной точности и тонкой моторики.
2. Небольшой объем операций при многих врожденных аномалиях, ограничивающий повторение и освоение материала.
3. Широкая анатомическая вариабельность, особенно при врожденных заболеваниях.
4. Этические ограничения, снижающие автономию обучающихся в случаях высокого риска.
5. Нетехнические требования, включая общение с родителями и опекунами, а также сложные процессы получения согласия.

Эти проблемы подчеркивают необходимость в учебных инструментах, специально разработанных для детской хирургии, а не в уменьшенных версиях взрослых моделей.

#### Моделирование в педиатрической хирургической подготовке

Моделирование стало неотъемлемой частью хирургического образования, включая тренажеры с низкой степенью детализации, манекены с высокой степенью детализации, модели животных и кадаверные лаборатории. В детской хирургии моделирование обычно используется для отработки базовых процедурных навыков, реанимации новорожденных и лапароскопических методик.

#### Преимущества

Симуляция позволяет:

1. Повторять упражнения без риска для пациента
2. Приобретать навыки в контролируемой среде
3. Проводить командные тренировки и упражнения по управлению кризисными ситуациями
4. Эти преимущества особенно ценны в детской хирургии, где реальный опыт может быть ограничен.

#### Ограничения и пробелы

Несмотря на свои преимущества, симуляция детской хирургии сталкивается с рядом ограничений:

1. Многие симуляторы адаптированы из моделей взрослых и не могут точно воспроизвести детскую анатомию или свойства тканей.
2. Редкие врожденные аномалии плохо представлены в существующих моделях.
3. Существует ограниченное количество доказательств, связывающих эффективность симуляции с реальными результатами операций.
4. Высокоточные симуляторы часто слишком дороги, особенно в условиях ограниченных ресурсов.
5. Отсутствие стандартизированных, проверенных учебных программ по детской симуляции остается серьезным препятствием для ее широкого внедрения.

#### Виртуальная реальность и дополненная реальность

##### Потенциальные преимущества

Виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) предлагают иммерсивные, воспроизводимые среды обучения. Эти технологии позволяют обучающимся визуализировать сложную анатомию, отрабатывать процедуры

и принимать решения во время операции без риска для пациента. Виртуальная реальность особенно перспективна для редких педиатрических заболеваний, где клиническая практика по своей природе ограничена.

#### Текущее состояние

Большинство VR-платформ в хирургическом образовании сосредоточены на базовых навыках лапароскопии или процедурах для взрослых. Модули, специфичные для педиатрии, встречаются редко, а существующие часто не имеют строгой валидации. Дополненная реальность (AR) изучалась для интраоперационного наведения, но ее роль в структурированном педиатрическом обучении остается недостаточно разработанной.

#### Пробелы в исследованиях

Ключевые пробелы включают:

1. Отсутствие анатомического моделирования, специфичного для детей
2. Минимальное включение деформации тканей и тактильной обратной связи
3. Недостаточно исследований, сравнивающих обучение на основе VR с традиционными методами
4. Ограниченная оценка долговременного сохранения навыков
5. Без устранения этих пробелов VR рискует стать скорее новинкой, чем преобразующим образовательным инструментом.

#### Искусственный интеллект в педиатрическом хирургическом обучении

##### Перспективные приложения

1. ИИ открывает возможность объективной, основанной на данных оценки в хирургическом образовании. Возможные области применения включают:
2. Автоматизированная оценка технических навыков с использованием отслеживания движений
3. Выявление ошибок и сравнительный анализ производительности
4. Персонализированные траектории обучения на основе результатов обучения стажеров
5. Актуальность для детской хирургии

Искусственный интеллект имеет особое значение в детской хирургии, где ограниченное количество случаев и субъективные оценки препятствуют последовательной оценке. Системы на основе ИИ могут дополнить обратную связь от преподавателей и помочь стандартизировать обучение в разных учреждениях.

### Текущие ограничения

Применение ИИ в педиатрической хирургической подготовке находится на начальной стадии. Основные проблемы включают:

1. Отсутствие больших и высококачественных наборов данных по педиатрической хирургии
2. Минимальное количество исследований по валидации, специфичных для педиатрии
3. Этические проблемы, связанные с конфиденциальностью данных и алгоритмической предвзятостью
4. Без целенаправленной разработки, ориентированной на педиатрию, инструменты ИИ рискуют увековечить модели обучения, ориентированные на взрослых.

### 5. Межотраслевые барьеры на пути внедрения

Несмотря на технологические перспективы, ряд системных барьеров ограничивает внедрение:

1. Стоимость и требования к инфраструктуре
2. Необходимость сотрудничества между хирургами, инженерами и преподавателями
3. Сопротивление изменениям в учебных программах
4. Ограниченный доступ в регионах с низким и средним уровнем дохода
5. Равенство должно быть центральным фактором для предотвращения расширения неравенства в качестве хирургической подготовки.

### Перспективы на будущее

Для реализации полного потенциала симуляции, виртуальной реальности и искусственного интеллекта в обучении детской хирургии, в будущем следует сосредоточиться на:

1. Специализации всех технологий обучения для детской хирургии
2. Стандартизированных учебных программ, соответствующих компетентностному подходу в образовании
3. Многоцентровых исследованиях, связывающих результаты обучения с клинической эффективностью
4. Гибридных моделях, сочетающих физическую симуляцию с обратной связью от виртуальной реальности и искусственного интеллекта
5. Масштабируемых и доступных решениях для глобальных учебных сред
6. Инвестиции в совместные исследования и платформы с открытым доступом могут ускорить прогресс и обеспечить более широкое воздействие.



## Заклучение

Симуляция, виртуальная реальность и искусственный интеллект представляют собой мощные инструменты, способные изменить образование в области детской хирургии. Однако их текущее применение остается ограниченным из-за ориентированного на взрослых дизайна, недостаточной валидации и неравного доступа. Для достижения значимого прогресса потребуются целенаправленный переход к инновациям, специфичным для детской хирургии, надежные исследования результатов и инклюзивные стратегии внедрения. Устранив эти пробелы, сообщество детских хирургов может обеспечить, чтобы технологический прогресс приводил к более безопасным операциям и лучшим результатам для детей.

Rogers, M. P. et al. (2020). "The future surgical training paradigm: Virtual reality and machine learning in surgical education." *Surgery*.

Обзор сочетания VR и машинного обучения в хирургическом образовании, с обсуждением существующих ограничений и будущих направлений.

PubMed

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Laspro, M., Groysman, L. et al. (2023). "The Use of Virtual Reality in Surgical Training: Implications for Education, Patient Safety, and Global Health Equity." *Surgeries*.
2. Exploring the use of virtual reality in surgical education – PMC (2023).
3. Surgical Simulation: Virtual Reality to Artificial Intelligence (на ScienceDirect).
4. Transforming Surgical Training With AI Techniques for Training, Assessment, and Evaluation (JMIR, 2025).
5. Advances in Pediatric Surgery Simulation-Based Training – PMC (обзор).
6. Impact of Extended Reality on Robot-Assisted Surgery Training (arXiv, 2025).
7. Augmented Reality and Simulation-Based Training in Pediatric Laparoscopic Surgery (SSIH/PLS study).
8. Связанные источники по виртуальной реальности и ИИ в медобразовании [jtelemed.ru](http://jtelemed.ru)

9. Artificial intelligence systems in surgery: A review of opportunities, limitations, and prospects – Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care (2023).