

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 ценные 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 стандартизованных, 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. Ограниченнная 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 рисуют 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. Стандартизованных учебных программах, 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.

Заключение

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 потребуется 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

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