

КЛАССИФИКАЦИЯ ПО УРОВНЯМ РЕАЛИСТИЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ЭНДОХИРУРГИИ

Горшков М.Д., Федоров А.В.

Институт Хирургии им. А. В. Вишневского, МГМСУ, каф. эндохирургии. Москва, Россия

Предлагается выделить 7 уровней реалистичности симуляционного тренинга: визуализация, гаптика (тактильная чувствительность), моторика и эргономика, видеоизображение, аппаратура, реактивность, коммуникативность. «Правило утروения»: переход на следующий уровень реалистичности увеличивает стоимость оборудования учебного места втрое.

REALITY GRADES CLASSIFICATION OF THE EQUIPMENT FOR ENDOSURGERY TRAINING

Maxim Gorshkov, Andrey Fedorov
Vishnevsky Institute for Surgery, MGMSU University,
chair of endosurgery, Moscow, Russia

Novice surgeon has to obtain his first clinical experience in virtual reality. Classification of training tools has seven grades of reality. Upgrade to each next level of realism triples cost

Актуальность

Внедрение в практику эндохирургических технологий поставило новые задачи перед системой подготовки современного специалиста. Традиционная методика подготовки перестала отвечать высоким требованиям практики. Чуть более десяти лет назад стали появляться новые учебные методики с использованием виртуальных симуляционных технологий. При оснащении современного учебного центра требуется взвешенный подход и осознанный выбор моделей этой дорогостоящей учебной аппаратуры.

Материалы и методы

Традиционная система практической подготовки хирургов имеет ряд недостатков:

- высок риск развития осложнений, вызванных неумелыми действиями начинающего хирурга;
- имеется зависимость от графика работы оперблока и наличия требуемых вмешательств;
- в силу организационных причин практическая подготовка ведется неэффективно, много времени уходит непродуктивно, из-за чего подготовка длится долго;

- в ходе обучения требуется присутствие опытного наставника;
- нет возможности многократного повторения сложного этапа вмешательства;
- субъективная оценка уровня подготовки врача, нельзя провести объективное тестирование;
- за счет неумелых, неуверенных действий начинающего специалиста увеличивается длительность проведения вмешательства, удорожается лечение, страдает клиническая база.

Дешевизна отечественной подготовки является иллюзией. При сходных эксплуатационных расходах и даже более высоких ценах на медоборудование и инвентарий стоимость подготовки опытного профессионала должна быть сопоставимой с таковой на Западе.

Единственной альтернативой обучению на людях в масштабах огромной страны является **симуляционный тренинг** – приобретение практических навыков и умений с помощью симуляционных устройств, имитирующих ткани и органы человека, клиническую ситуацию и комплексные реакции организма на действия курсанта. Ниже предпринята попытка систематизировать имеющиеся типы устройств хирургического тренинга и провести их классификацию по уровням реалистичности.

Классификация тренажеров

В настоящее время для отработки практических навыков в хирургии помимо медицинского оборудования используются следующие виды учебных пособий:

- электронные учебники;
- интерактивные электронные пособия;
- анатомические модели;
- тренажеры (коробочные и видеотренажеры, тренажеры с перфузией);
- фантомы органов и органокомплексов;
- виртуальные симуляторы (комбинированные с дополненной реальностью, виртуальные и виртуальные с тактильной чувствительностью).

Любой симуляционный процесс может быть разбит на отдельные составляющие, которые, наслаиваясь друг на друга, повышают достоверность имитации, ее реализм. В хирургическом тренинге мы предлагаем выделить **семь уровней реалистичности**. Каждый последующий уровень сложнее воплотить технически.

1. Визуальный

Изображение внешнего вида тканей и органов.

2. Тактильный

Реалистичные тактильные характеристики тканей, их сопротивление в ответ на приложенное усилие – *пассивная* реакция тканей.

3. Моторика

Имитация эргономики рабочего места эндохирурга и моторики его движений во время вмешательства.

4. Видео

Наблюдение за ходом вмешательства при помощи видеоаппаратуры.

5. Аппаратный

Реалистичное воспроизведение обстановки операционной, медицинской аппаратуры.

6. Реактивный

Сложная *активная* реакция тканей на манипуляции обучаемых – кровотечение при повреждении кровеносного сосуда, коагуляция ткани и гемостаз при воздействии ВЧ-генератором, заварива-

ние тканей при наложении аппарата ЛигаШу и пр. В случае с виртуальным симулятором активная реакция подразумевает не только отклик виртуальных тканей на действия курсанта, но и точную объективную оценку этих действий. Измеряется объем кровопотери, обширность повреждения, точность движений – всего до сотни различных показателей, что позволяет использовать виртуальные симуляторы в сертификационных целях.

7. Коммуникативный

Взаимодействие с другими членами операционной бригады, имитация сложных или нестандартных клинических ситуаций для отработки нетехнических навыков, командных действий, кризис-менеджмента.

Рассмотрим подробнее, как учебными устройствами воспроизводятся те или иные уровни реалистичности.

Первый визуальный уровень обеспечивают все перечисленные виды учебных пособий – фантомы, муляжи, симуляторы и т.п. Анатомические модели, электронные учебники и интерактивные учебные пособия мы также условно отнесли к списку *практических* учебных пособий – визуализация является базисом, неотъемлемой составной частью практического навыка. Данные пособия ограничиваются только первым уровнем реалистичности.

Второй уровень – тактильные свойства тканей и органов – с той или иной степенью достоверности имитируются всеми остальными учебными пособиями, за исключением виртуальных симуляторов без обратной тактильной связи. Имеются, например, муляжи органов высокого класса, которые выполнены из силиконов разной степени плотности и эластичности, окрашенных в реалистичные цвета, содержащие резервуары с имитацией крови. Видеозапись учебного вмешательства на таких моделях органов порой трудно отличить от реальной операции.

Третий уровень воспроизводит эргономику рабочего места эндохирурга – характерную позу во время вмешательства, мо-

торику рук при работе лапароскопическим инструментарием. Используются коробочные тренажеры – от простейших до относительно сложных, воспроизводящих торс человека, с возможностью прокола троакарами брюшной стенки.

На **четвертом** уровне идет переход от непосредственного визуального наблюдения к опосредованному видеоконтролю за объектом и действиями оператора. Для его осуществления необходимо использование учебного или реального медицинского видеооборудования.

Пятый, реактивный уровень имитации помимо реальных вмешательств (лабораторные животные, пациенты) может быть воспроизведен лишь с помощью виртуальных симуляторов. Как уже упоминалось выше, они могут быть снабжены устройствами обратной тактильной реакции или нет.

Аппаратная составляющая (**шестой** уровень) частично обеспечивается виртуальными симуляторами – работа с функциями осветителя, видеокамеры, коагулятора. Однако для полноценного освоения принципов работы с эндохирургической аппаратурой необходимо ее физическое использование в учебном процессе. Это возможно либо при отработке упражнений на фантомных или биологических моделях с использованием лапароскопической стойки (при этом будет отсутствовать третий, реактивный уровень реалистичности), либо в ходе ассистенций или самостоятельных вмешательств уже в реальной операционной.

Наконец, наивысший – **седьмой** коммуникативный уровень реалистичности учебного процесса (при наличии предыдущих четырех) можно воспроизвести лишь в двух вариантах:

а) **Гибридный симуляционный класс:** установка виртуального симулятора с обратной тактильной связью в учебную операционную и дополнение его роботом-симулятором пациента, способным автоматически воспроизводить физиологическую реакцию на кровопотерю, проводимую фармакотерапию и

иные действия обучаемого в ходе оперативного вмешательства. Подобные симуляционные классы являются абсолютной новинкой и экспериментально существуют в единичных симуляционных центрах.

б) **Реальная операционная**, где ведется обучение по традиционным методикам. Плюсы и минусы данного варианта очевидны, но стоит добавить, что к важнейшей методике обучения коммуникативным навыкам относится дебрифинг – просмотр видеозаписи учебной сессии, ее обсуждение и анализ. В реальной ситуации структурированный дебрифинг не проводится.

Таким образом, виртуальные симуляторы являются **устройствами VI уровня**, обеспечивая шесть из семи возможных уровней реалистичности, а комбинация нескольких виртуальных симуляторов и реальной медицинской аппаратуры обеспечивает наивысший, седьмой уровень.

Экономический аспект

Многочисленные работы доказали высокую клиническую и экономическую эффективность устройств симуляционного тренинга. Однако, в отличие от других стран, в России виртуальные технологии пока не получили повсеместного распространения, в первую очередь, из-за их высокой стоимости. Так, в базовой комплектации виртуальный лапароскопический тренажер израильского производства стоит 10 млн., канадская модель – 4,5 млн., шведская – 5 млн. рублей.

Цена на учебное устройство по мере увеличения его реалистичности резко возрастает. Данная закономерность четко прослеживается в таблице 1. Наблюдая за ростом стоимости аппаратуры, мы выявили закономерность, которую назвали «Правило утроения».

Правило утроения: Переход на следующий уровень реалистичности увеличивает стоимость оборудования учебного места в три раза.

Так, на первом, визуальном уровне цена интерактивной обучающей программы или

анатомической модели составит несколько сотен долларов. Придание модели тактильных характеристик приведет к удорожанию до 1-1,5 тысяч. Эргономика обеспечивается приобретением базового набора эндоинструментов, муляжа и коробочного тренажера, что обойдется в 3-5 тысяч долларов. Замена коробочного тренажера на видеотренажер влечет дополнительные затраты в 5-10 тысяч, а закупка медицинского эндовидеооборудования – в 30-40 тысяч долларов. Наконец,

при оснащении центра виртуальным симулятором бюджет переваливает далеко за сотню тысяч долларов, а минимальная спецификация гибридного симуляционного класса начинается от полумиллиона. Кстати, сходная закономерность наблюдается и в авиации, где цена базового симуляционного оборудования исчисляется тысячами долларов и, нарастая в геометрической прогрессии, доходит до десятков миллионов при покупке Full Flight Simulator (Авиационного пилотажного тренажера).

Таблица 1. **Правило утروения.**

Анатомическая модель	\$500	Визуальный (1)
Силиконовый муляж органа	\$1.500	Тактильный (2)
Тренажер-коробка + инструменты + муляж	\$5.000	Моторика (3)
Видеотренажер + инструменты + муляж	\$15.000	Видео (4)
Видеостойка + инструменты + муляж	\$50.000	Аппаратный (5)
Виртуальный тренажер-симулятор	\$150.000	Реактивный (6)
Гибридный симуляционный класс	\$500.000	Коммуникативный (7)

В таблице 2 (см. след. страницу) представлены краткие характеристики учебных изделий с указанием их преимуществ, недостатков и отрабатываемых навыков. Дорогостоящая аппаратура не способна решить все 100% учебных задач. Некоторые простейшие навыки легко отрабатываются без специальных приспособлений, например, завязывание хирургических узлов. Ряд навыков целесообразно отрабатывать на простых устройствах в силу финансовых причин. Отдельные манипуляции отрабатываются с лучшим реализмом именно на коробочных тренажерах, например, сосудистый или кишечный шов. Таким образом, оснащение учебного центра лишь виртуальными симуляторами по числу учебных мест нецелесообразно с практической и экономической точки зрения.

Усложнение конструкции тренажера влечет не только к его удорожанию, но и снижению надежности и долговечности – опыт эксплуатации виртуальных симуляторов с обратной тактильной связью показывает, что при небрежном обращении курсанты быстро выводят их из строя. Подобного не происходит при работе на симуляторах без сервомоторов, их конст-

рукция относительно устойчива к механическим нагрузкам. Классификация учебного оборудования по уровням реалистичности и использование «Правил утروения» имеет практическое значение при выборе и эффективной эксплуатации учебного оборудования.

ВЫВОДЫ

Начинающий хирург должен освоить базовые навыки и приобрести свой первый практический опыт еще до того, как встанет к операционному столу - с помощью технических имитационных устройств (**симуляционный тренинг**).

Предлагается выделить **семь уровней реалистичности** симуляционного тренинга: визуализация, гаптика (тактильная чувствительность), моторика и эргономика, видеоизображение, аппаратура, реактивность, коммуникативность.

Сформулировано «**Правило утروения**»: переход на следующий уровень реалистичности увеличивает стоимость оборудования учебного места в три раза.

Таблица 2. Сводная таблица эндохирургических учебных изделий

Название в отечественной литературе	Международное название	Отрабатываемый навык	Преимущества	Недостатки	Пример
Анатомическая модель	Anatomy Model	Предварительный этап: анатомия	Дешевизна Визуализация	Обучение, предшествующее практике	Anatomy models, Erler Zimmer, до 500 \$
Интерактивные компьютерные учебники	E-Learning	Предварительный этап: базовые знания	Дешевизна Интерактивность Объективная оценка	Обучение, предшествующее практике	E-learning, 100-1000 \$
Коробочный тренажер, Торс	Box-Trainer, Torso	Базовые + эндошов	Дешевизна Тактильность инструментов	Низка реалистичность тканей, нет видео, объемное зрение	Pop-Up Trainer, Simulab, 500 \$, Torso 2.000 \$
Видеотренажер	Endovideo trainer	Базовые + эндошов	дешевизна, тактильность, есть видео	Качество видео, нет тканей, нет крови, дорогой расходник	SMIT 3-Dmed, 5.000 \$
Видеостойка + торс + муляжи или ганоккомплекс	LapTower + Torso + Live Tissues	Базовые + эндошов + клинические	Реальные тактильные ощущения, реальное видео	Дорогие инструменты и оборудование, дорогой расходник	GIMMI + Simulab, 50.000 \$
Видеостойка + Перфузионный тренажер + органокомплекс	LapTower + P.O.P. + Live Tissues	Базовые + эндошов + клинические	Реальные тактильные ощущения, в т.ч. пульсация крови под давлением, видео	Дорогие инструменты и оборудование, дорогой расходник	GIMMI + P.O.P Simulator Optimist, 70.000 \$
Виртуально-дополненная реальность	Augmented Reality	Базовые + эндошов+ клинические + ЭХ операции	Тактильность Реализм инструментов, Дидактика Объективная оценка	Дорогой расходник	Haptica, 50.000 \$
Виртуальные симуляторы, виртуальные тренажеры	Virtual Reality, Virtual Simulators	Базовые + клинические + ЭХ операции	Расходник = «0» \$ Преподователь только контролирует процесс Встроена дидактика Объективная оценка навыка	Высокая цена Нет тактильной чувствительности	LapSim 100.000 \$ и выше
Виртуальные симуляторы с обратной связью	Haptic Virtual Simulators	Базовые навыки, клинические навыки, отдельные хирургические, урологические и гинекологические операции	Высокий реализм Имеется тактильная чувствительность	Очень высокая цена, хрупкие детали часто ломаются, недостаточно достоверные тактильные ощущения	LapVR 150.000 \$ и выше, в зависимости от наличия программных модулей
Гибридный симуляционный класс	Hybrid virtual OR	CRM, нетехнические навыки, командные действия	Высокий реализм аппаратура, взаимодействия опербригады	Пока в стадии разработки и эксперимента. Высокая цена	500 тысяч \$
Виварий	Animal Model	Около 50% спектра эндохирургических операций	Реализм (кровь, тактильность, видео аппаратура и пр.)	Очень дорогой «расходник», высокие эксплуатационные расходы. Нет объективной оценки практич. навыков	Оборудование операционной и вивария, 300.000 \$ + 1-2 тыс. на каждое животное
Реальная операционная	Real OR	Все навыки и операции	100% реализм	Риск для пациента Высока удельная стоимость обучения в реальной среде, Нет объективной оценки навыков	300-500 тысяч \$ + текущие расходы