

Выбор учебного оборудования для подготовки эндохирургов

М.Д. ГОРШКОВ, А.В. ФЁДОРОВ

Choice of training equipment for endosurgeons apprenticeship

M.D. GORSHKOV, A.V. FEDOROV

Институт хирургии им. А.В. Вишневского, Москва; кафедра эндохирургии МГМСУ, Москва

В последние три десятилетия наблюдается бурное развитие новых хирургических технологий — эндовидеохирургии, роботхирургии, минилапароскопии, транслюминальной и однопортовой эндохирургии. В повседневной практике хирурги используют нано- и виртуальные технологии, применяют ультразвуковую, лазерную, магнитную, рентгеновскую и иную аппаратуру. Свершившаяся в операционном блоке технологическая революция ставит новые задачи перед системой подготовки современного специалиста. На передний план выходят новые учебные методики, требующие взвешенного и осознанного выбора учебной аппаратуры.

Материал и методы

Многолетнее наблюдение за операциями, бесконечные ассистенции и осторожный переход к самостоятельным вмешательствам — подобная традиционная методика уже не способна обеспечить надлежащую практическую подготовку современного хирурга. Даже интеграция в учебную программу эпизодических занятий на механических коробочных и видеотренажерах не может изменить ситуацию в целом.

Традиционная система практической подготовки хирургов имеет ряд недостатков:

- высок риск развития осложнений, вызванных неумелыми действиями начинающего хирурга;
- имеется зависимость от графика работы операционного блока и наличия требуемых вмешательств;
- в ходе обучения требуется присутствие опытного наставника;
- нет возможности повторить сложный или переделывать неудачно выполненный этап вмешательства;
- уровень подготовки врача оценивается субъективно, невозможно провести объективное тестирование.

— подготовка по традиционной методике — неэффективная, очень долгая и, как ни странно, слишком дорогая.

В доступной нам отечественной литературе отсутствуют расчеты стоимости полного цикла обучения хирурга. Выборочный опрос преподавателей вузов показал широкий разброс мнений — назывались суммы от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч рублей.

Мы считаем, что распространенное мнение о дешевизне отечественной подготовки является иллюзией. Интегральный показатель расходов на подготовку хирурга должен учитывать амортизацию дорогостоящего оборудования операционной, стоимость содержания здания, удорожания лечения за счет ошибок начинающих специалистов и иных скрытых, но значительных затрат, которые могут превышать общепринятые цифры в разы. При сходных эксплуатационных расходах и даже более высоких ценах на медицинское оборудование и инструментарий стоимость подготовки опытного профессионала должна быть сопоставимой с таковой в западных странах.

Учить хирурга в операционной дорого, неэффективно и негуманно! Молодой специалист должен освоить базовые навыки и приобрести свой первый практический опыт еще до того, как встанет к операционному столу. Именно такую задачу должны ставить перед собой вузы и послепломные образовательные учреждения. Решить ее могли бы предварительная практическая подготовка и отработка базовых хирургических навыков в морге и виварии. Однако с учетом количества студентов, ординаторов и хирургов, проходящих первичную специализацию, а затем переподготовку каждые 5 лет, становится понятно, что невостребованных трупов на всех не хватит.

Могло бы хватить лабораторных животных, но здесь также имеется множество «подводных камней». Так, стоимость зарубежных учебных циклов с практическим тренингом в виварии (WetLab) колеблется от 1500 до 4000 евро за двух-трехдневный

цикл. Себестоимость курсов в немногочисленных сохранившихся отечественных вивариях оказывается сходной с таковой за рубежом, в случае, если учитывать все расходы, в том числе коммунальные платежи и эксплуатацию помещений, зарплату персонала, оплату лабораторных животных, амортизацию анестезиологического и хирургического оборудования, стоимость лекарственных веществ. Активно работающий виварий вызывает пристальный интерес органов наркоконтроля и борцов за права животных.

Как в морге, так и в виварии для поведения занятий требуется соответствующее медицинское оборудование, что также существенно удорожает учебный процесс. Поэтому операции на лабораторных животных и трупах в силу организационных, гуманитарных и экономических причин выполняются в единичных случаях, лишь на этапе научного эксперимента или индивидуальной подготовки состоявшихся высококвалифицированных специалистов.

Таким образом, единственной массовой альтернативой обучению на человеке 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. Далее описаны различные типы устройств хирургического тренинга и их классификация по уровням реалистичности.

Классификация хирургических тренажеров

В настоящее время для отработки практических навыков в хирургии помимо медицинского оборудования используются следующие современные 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).

Для полноценного освоения хирургического мастерства учебные пособия должны имитировать реальную обстановку. 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 7 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 высокочастотным генератором, заваривание 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. Измеряются 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, каким образом с помощью учебных устройств 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, высокого класса муляжи органов, которые выполнены из силиконов разной степени плотности и эластичности, окрашенных в реалистичные цвета, содержащие резервуары с имитацией крови. Видео-запись учебного вмешательства на таких моделях органов порой трудно отличить от реальной операции.

Третий уровень воспроизводит эргономику рабочего места эндохирурга — характерную позу во время вмешательства, моторику рук при работе лапароскопическим инструментарием. Используются коробочные тренажеры — от простейших до относительно сложных, воспроизводящих торс челове-

ка, с возможностью прокола троакарами передней брюшной стенки.

На четвертом уровне осуществляется переход от непосредственного визуального наблюдения к опосредованному видеоконтролю за объектом и действиями оперирующего хирурга. Для этого необходимо использование учебного или реального медицинского видеоборудования.

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

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 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 хирургического вмешательства. Подобные симуляционные классы являются абсолютной новинкой и экспериментально существуют в единичных симуляционных центрах;

б) реальная операционная, где ведется обучение по традиционным методикам. Преимущества и недостатки 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 четвертого уровня, обеспечивая 6 из 7 возможных уровней реалистичности, а комбинация нескольких виртуальных симуляторов и реальной медицинской аппаратуры обеспечивает наивысший, седьмой уровень.

Экономический аспект подбора учебного оборудования

Результаты многочисленных работ доказали высокую клиническую и экономическую эффективность данных устройств. Преимущества виртуального тренинга следующие: в ходе обучения не рискуют ни пациент, ни курсант; симулятор «ведет» курсанта по программе практического тренинга, не требуется постоянного присутствия преподавателя, количество повторов и длительность отработки вмешательств неограниченны; расписание курса не зависит от расписания операций, рабочего графика преподавателя; тренинг может осуществляться в удобное для курсанта время; перенос обучения из операционной в симуляционный центр экономически оправдан; редкие виды патологий отрабатываются столь же эффективно, как и распространенные; курсант испытывает меньший стресс при пер-

Таблица 1. Правило утробения

Тренажер, доллары США	1. Визуальный	2. Тактильный	3. Моторика	4. Видео	5. Аппаратный	6. Реактивный	7. Коммуникативный
Анатомическая модель	до 500						
Силиконовый муляж органа		1500					
Тренажер-коробка + инструменты + муляж			5000				
Видеотренажер + инструменты + муляж				15 000			
Видеостойка + инструменты + муляж					50 000		
Виртуальный тренажер-симулятор						150 000	
Гибридный симуляционный класс							500 000

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, Erlanger Zimmer, 50—500 долларов США
Интерактивные компьютерные учебники	E-Learning	Предварительный этап: базовое представление	Дешевизна Интерактивность Объективная оценка	Обучение, предшествующее практике	E-learning systems, 100—1000 долларов США
Коробочный тренажер, Торс	Vox-Trainer, Torso	Базовые + эндошов	Дешевизна Тактильность Инструменты	Низкая реалистичность тканей, нет видео, объемное зрение	Pop-Up Trainer, Simulab, 500 долларов США, Torso 2.000 долларов США
Видеотренажер	Endovideo trainer	Базовые + эндошов	Дешевизна, тактильность, есть видео	Качество видео, нет тканей, нет крови, дорогой расходный материал	SMIT, 3-Dmed, 5000 долларов США
Видеостойка + торс + муляжи или гано-комплекс	LapTower + Torso + Live Tissues	Базовые + эндошов + клинические	Реальные тактильные ощущения, реальное видео	Дорогие инструменты и оборудование, дорогой расходный материал	GIMMI + Simulab, 50 000 долларов США
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 расходный материал	GIMMI + P.O.P Simulator Optimist, 70 000 долларов США
Виварий	Animal Model	50% спектра ЭХ операций	Реалистичность (кровь, тактильность, видео и пр.)	Очень дорогой расходный материал, высокие эксплуатационные расходы	Стойка, инструменты, оборудование операционной и вивария, 300 000 долларов США + 1—2 тыс. на каждого
Виртуально-дополненная реальность	Augmented Reality	Базовые + эндошов+ клинические + ЭХ операции	Тактильность Реализм инструментов Дидактика Объективная оценка	Дорогой расходный материал	Haptica, 50 000 долларов США
Виртуальные симуляторы, виртуальные тренажеры	Virtual Reality, Virtual Simulators	Базовые + клинические + ЭХ операции	Бесплатный расходный материал Преподаватель только контролирует процесс Встроена дидактика Объективная оценка навыка	Высокая цена Нет тактильной чувствительности	LapSim 100 000 долларов США и более
Виртуальные симуляторы с обратной связью	Haptic Virtual Simulators	Базовые навыки, клинические навыки, отдельные хирургические, урологические и гинекологические операции	Высокая реалистичность Имеется тактильная чувствительность	Очень высокая цена, хрупкие детали часто ломаются, недостаточно достоверные тактильные ощущения	LapVR 150 000 долларов США и выше
Гибридный симуляционный класс	Hybrid virtual OR	CRM, нетехнические навыки, командные действия	Высокий реализм аппаратура, взаимодействия операционной бригады	Пока в стадии разработки и эксперимента. Высокая цена	500 000 долларов США
Реальная операционная	Real OR	Все навыки и операции	100% реалистичность	Риск для пациента Высокая удельная стоимость обучения в реальной среде	300 000—500 000 долларов США + текущие расходы

вых реальных вмешательствах и интервенциях; возможность проведения объективной оценки уровня практической подготовки врача, тестирования, сертификации, экзаменов.

Однако, в отличие от других стран, в России виртуальные учебные технологии пока не получили повсеместного распространения, в первую очередь из-за их высокой стоимости. Так, в базовой комплектации симулятор израильского производства стоит 10 000 000 руб., аналогичная канадская модель — 4 500 000 руб., шведская система — 5 000 000 руб.

Цена на учебное устройство по мере увеличения его реалистичности резко возрастает. Данная закономерность четко прослеживается в табл. 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 3 раза.

Так, на первом, визуальном уровне цена интерактивной обучающей программы или анатомической модели составляет несколько сотен долларов США. Придание модели реалистичных тактильных характеристик ведет к ее удорожанию до 1000—1500 долларов США. Имитация эргономики обеспечивается приобретением базового набора эндоскопических инструментов, муляжа и коробочного тренажера, что обойдется в сумму в 3000—5000 долларов США. Замена коробочного тренажера на видеотренажер влечет дополнительные затраты в 5000—10 000, а закупка медицинского эндоскопического оборудования — в 30 000—40 000 долларов США. Наконец, при оснащении учебного центра виртуальным симулятором бюджет переваливает за сотни тысяч долларов, а минимальная спецификация гибридного симуляционного класса начинается от полумиллиона долларов США.

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 (Авиационный пилотажный тренажер).

Ниже в табл. 2 представлены краткие характеристики учебных изделий с указанием их преимуществ, недостатков и отрабатываемых навыков.

Дорогостоящая аппаратура не позволяет 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 в более реалистичной обстановке 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 его удорожание, но снижение 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 конструкция относительно устойчива к механическим нагрузкам.

Результаты

В результате настоящего исследования нами определен ряд принципов подбора и эффективной эксплуатации учебного оборудования.

1. Входной контроль. Для устранения простоев и повышения коэффициента использования аппаратуры курсант должен предварительно освоить теорию и сдать тест «на входе». Рамки теоретических знаний должны быть определены заранее, курсанты должны быть о них осведомлены. Вступительное тестирование повысит мотивацию. Дистанционное проведение тестирования экономит компьютерные ресурсы симуляционного центра и рабочее время его сотрудников.

2. Предварительный инструктаж. Краткий предварительный инструктаж может также проводиться дистанционно. Введение в принципы отработки практических навыков, осуществленное до прихода в учебный центр, позволяет оптимизировать учебный процесс, снизить простой оборудования и посвятить больше рабочего времени практическому тренингу. Данный инструктаж может быть выполнен не только в печатном варианте, но и в форме слайд-презентации или видеофильма.

3. Он-лайн материалы. Поскольку большинство студентов и ординаторов имеют персональные компьютеры с доступом в интернет, мы считаем целесообразным выделять специальные компьютерные классы для теоретической подготовки. Ознакомиться с методичками или инструкторскими видеофильмами, пройти тестирование обучающиеся могут дистанционно на сайте учебного центра. Возможность получить теоретические знания в удобное время не только повышает комфорт учебного процесса, но и позволяет экономить площади, финансовые и преподавательские ресурсы учебного центра.

4. Компьютер, видеопроектор. В то же время в симуляционном классе часто возникает необходимость дать пояснения по ходу учебного процесса, продемонстрировать видеофрагмент вмешательства и т.п. Для этого желательно наличие в классе одного компьютера с видеовыходом на большой экран, видеопроектор или электронную демонстрационную доску

5. Ротация по тренажерам. В ходе учебного процесса предлагается ротация курсантов по тренажерным рабочим местам. Коробочные тренажеры (визуальный контроль), эндовидеостойки или видеотренажеры, а также виртуальные симуляторы — все они позволяют выполнять базовые упражнения FLS (Fundamentals of Laparoscopic Surgery) или отрабатывать эндоскопический шов. При этом первые три типа обеспечат реальную тактильную чувствительность, видеосистемы — реалистичную «картинку» и лишь виртуальный симулятор — метрики (объективную оценку выполнения задания). Кроме того, виртуальный симулятор сам дает задания курсанту и подсказывает методику выполнения. Таким образом, в каждой группе изделий существуют преимущества и недостатки. Переход с одного тренажера на другой позволяет опробовать все типы изделий, воспользоваться их преимуществами и нивелировать недостатки.

6. Минимальная достаточность. Поскольку финансирование является ключевой проблемой, то закупка дорогостоящего оборудования должна четко соответствовать поставленным учебным задачам. Если планируется массовое обучение «потока» студентов, следует концентрироваться на устройствах с первыми 3—4 уровнями реалистичности. Подготовка ординаторов, которые уже приступают к ассистенциям и самостоятельным операциям, обуславливает необходимость аппаратуры нового уровня. Усовершенствование врачей помимо клинического тренинга ставит задачи отработки коммуникаций и нетехнических навыков.

7. Количество. По мнению руководителей научно-практического центра Первого МГМУ им. Сеченова, тренинг одного курсанта на виртуальном симуляторе должен длиться не менее восьми аппаратных часов. Это в целом совпадает с данными зарубежных авторов. Таким образом, при предполагаемом ежегодном числе 500 ординаторов для предоставления каждому возможности проведения 8-часового тренинга необходимо наличие минимум 2 виртуальных симуляторов. Эта цифра при средней загрузке в 50% должна быть удвоена.

8. Компромиссы. Для удешевления проекта оснащения симуляционного хирургического класса можно пойти еще на некоторые компромиссы.

Например, заменить одну или несколько лапароскопических стоек видеотренажерами, т.е. вместо полноценного эндохирургического оборудования (видеокамера, монитор, осветитель, лапароскоп, световод, стойка-тележка) использовать коробочный тренажер с интегрированной видеокамерой и монитором. Подобная система обойдется в 5—10 раз дешевле. И хотя видеотренажеры могут уступать по качеству видеосигнала и теряют аппаратную реалистичность, тем не менее могут обеспечить практический тренинг на первых четырех уровнях реалистичности.

Другим вариантом компромиссного оснащения является использование вместо виртуального симулятора с обратной тактильной чувствительностью симулятора виртуально-дополненной реальности. В подобном устройстве на экран выводится реальное изображение биологических тканей или синтетической модели. Поверх этого изображения накладывается дополнительная виртуальная картинка, демонстрируются учебные задачи. С помощью трэкингового устройства ведется мониторинг движений рабочих инструментов, по окончании упражнения выставляется оценка.

Наконец, простая замена части виртуальных симуляторов с обратной тактильной чувствительностью на модели без таковой также могут сэкономить некоторые средства.

Рассмотрим вариант комплектации симуляционного центра на 6 учебных мест, в котором могут проводиться практические занятия для группы 6—12 студентов (курсантов). Разумеется, оснастить такой учебный центр шестью виртуальными симуляторами, шестью лапароскопическими стойками, шестью видеотренажерами и т.п. нецелесообразно. Учитывая принципы, описанные ранее, мы предлагаем следующую комплектацию.

1. Учебное место отработки базовых навыков — 3:

- а) коробочный тренажер;
- б) базовый комплект инструментария;
- в) комплект учебных пособий.

2. Учебное место отработки базовых и клинических навыков — 2:

- а) видеотренажер типа СМИТ;
- б) базовый комплект инструментария;
- в) комплект учебных пособий и расходного материала.

3. Универсальное учебное место — 1:

- а) эндовидеохирургическая стойка;
- б) расширенный комплект инструментария;
- в) торс-тренажер;

г) комплект учебных пособий и расходного материала (модели тканей для прошивания, сменные части для муляжей органов, шовный материал, клипсы и т.п.).

4. Виртуальный (или с дополненной реальностью) симулятор — 2.

5. Виртуальный симулятор с обратной тактильной чувствительностью — 1.

6. Компьютер администратора с выходом в интернет — 1.

7. Видеопроектор — 1.

Класс должен быть оборудован должным количеством электрических розеток, иметь разъемы подключения к внутренней сети учебного центра, выход в интернет. Желательно наличие в классе раковины, что позволит активно использовать в ходе тренинга препараты биологических тканей.

Общая стоимость подобной спецификации, разумеется, зависит от количества расходных материалов и выбора фирмы-изготовителя. Исходя из цен официальных коммерческих предложений фирм-поставщиков стоимость подобной спецификации составляет 15 000 000 руб. Оснащенный подобным образом класс отвечает самым современным требованиям практической хирургической подготовки. При умелом менеджменте в данном центре пройдут интенсивную подготовку около 500 студентов и врачей последипломной подготовки в год, что соответствует потребности крупного медицинского вуза.

Оснащение сходного по пропускной способности учебного центра без учета сформулированных выше принципов выбора учебного оборудования обойдется на 25 000 000 руб дороже.

Выводы

Начинающий хирург должен освоить базовые навыки и приобрести свой первый практический опыт еще до того, как встанет к операционному столу. Альтернативой обучению на пациентах является приобретение навыков и умений с помощью техни-

ческих имитационных устройств — симуляционный тренинг. Предлагается выделить 7 уровней реалистичности симуляционного тренинга: визуализация, гаптика (тактильная чувствительность), моторика, видео, аппаратура, реактивность, коммуникативность. Сформулировано «Правило утроения»: переход на следующий уровень реалистичности увеличивает стоимость оборудования учебного места в 3 раза. Определен ряд принципов подбора и эффективной эксплуатации учебного оборудования: входной контроль уровня подготовки; дистанционное проведение предварительного инструктажа; проведение теоретической подготовки через он-лайн доступ к материалам учебного центра; интерактивная демонстрация слайдов и видео на электронной доске или видеопроектор в ходе практического занятия; ротация в ходе цикла курсантов по тренажерам; подбор оборудования по принципу минимальной достаточности; эффективный менеджмент для снижения потребности в аппаратуре; использование компромиссных вариантов замены дорогостоящих приборов. Применение данных принципов на практике позволяет существенно снизить затраты при оснащении аппаратурой симуляционного центра.