История симуляционного обучения

«Машина» для симуляции родов, Франция, 1758

Горшков
Максим Дмитриевич

Председатель президиума правления Российского общества симуляционного обучения в медицине РОСОМЕД, ответственный редактор журнала «Виртуальные технологии в медицине», член Европейского общества симуляционного обучения в медицине SESAM.

Колыш
Александр Львович

Исполнительный директор Российского общества симуляционного обучения в медицине РОСОМЕД, директор ООО «Интермедика».

Симуляционный тренинг в авиации

Симуляционное медицинское обучение в период новейшей истории опиралось на успехи симуляционного тренинга в других отраслях, связанных с риском для жизни практического обучения в реальных условиях, прежде всего – в авиации.

В подготовке пилотов симуляционный тренинг шел рука об руку с развитием авиационной техники. Так, первый управляемый полет с мотором состоялся в 1903 году, а уже спустя всего шесть лет, в 1909 году появился первый симулятор для отработки управления самолетом *Антуанетта*. Оригинал этого тренажера сейчас выставлен в тренировочном центре концерна Эйрбас в Тулузе, Франция.

Следующей важной вехой в истории пилотажного тренинга стало изобретение Эдвина Линка – тренажер *Blue Box*, который талантливый американский инженер запатентовал в 1929 году. Линк открыл эффективный и безопасный, а значит менее дорогостоящий способ обучения полетам по радиопеленгу. Интересно, что первое время «Синий Ящик» приносил своему создателю прибыль лишь в качестве аттракциона в парке развлечений. Покупателей на учебное пособие долгое время не находилось и Линку даже пришлось открыть собственную авиашколу, где будущие пилоты осваивали пеленгацию с помощью тренажера под авторским руководством. Первыми его образовательную ценность признали американские ВВС и после серии фатальных катастроф в условиях плохой видимости они в 1934 году приобрели шесть экземпляров устройства.

Постепенно к Линку пришло и мировое признание. В конструкторском бюро талантливого изобретателя в годы второй мировой войны появились новые устройства: первые в мире тренажер фронтового бомбардировщика, пилотажный и астронавигационный тренажеры.

Симулятор Антуанетта
Франция, 1909 г.

Симулятор Blue Box
Эдвина Линка,
США, 1929 г.

В 1955 году тренажеры перестали быть исключительной прерогативой военных и начали использоваться для подготовки летчиков гражданской (коммерческой) авиации, а Федеральное авиационное управление США приняло постановление об обязательной переаттестации на тренажерах для продления срока действия лицензий лётчиков. Создание аналоговых компьютеров в 1950-х годах дало возможность усложнить и создать более реалистичные тренажеры, появились совместные с *NASA* разработки в космической отрасли, например, симулятор космического корабля Аполлон.

Компьютерная техника стала управлять видеосистемами проекции изображений, а гидравлические механизмы имитировали перемещения кабины самолета – так в 1970-е годы появились первые так называемые «Полнопилотажные симуляторы» *(Full Flight Simulators)*. Эти системы размером с двухэтажный дом занимают целые залы и продаются по цене настоящего самолета. Однако благодаря исследованиям, доказавшим, что человеческий фактор вышел на первое место в причинах авиакатастроф, центры подготовки авиаторов начали оснащать подобными системами.

Существенное значение при обеспечении безопасности полётов было отведено системе управления ресурсами в кризисной ситуации, введен термин *CRM (Crisis Resource Management)*. В 1990 году программа обучения управлением командой экипажа в кабине пилота была расширена и стала включать не только обучение экипажа в кабине пилота, но и обучение всего экипажа. Упражнения на тренажерах были интегрированы в техническое обучение и перестали быть отдельным тренировочным блоком. После публикации отчета Федерального авиационного управления США о 41 смертельном случае во время учебных полетов Национальный комитет по вопросам безопасности транспорта принял Свод правил «*Zero Flight Time Rules*», который регламентирует использование полнопилотажных тренажеров для переподготовки и аттестации пилотов к эксплуатации самолетов иного типа без совершения реальных полетов на них.

В настоящее время летчики оценивают степень реалистичности современных полетных симуляторов на уровне 98%. Пока производители не научились управлять гравитацией – имитация перегрузок невозможна и в ходе симуляции ограничиваются изменением положения тела в пространстве.

К сожалению, в сфере симуляционных технологий отставание нашей страны пока весьма существенно. Главный конструктор ведущего Российского производителя авиационных тренажеров ЗАО «*Динамика*» д.т.н. А.Бюшгенс в январе 2012 года привел такие цифры: «В США функционирует более 550 гражданских авиационных тренажеров высшего уровня (Full Flight Simulation), имитирующих полет на летательном аппарате на 98%. В России эксплуатируется только 5 таких тренажеров, что в 110 раз меньше, при сопоставимом воздушном парке».

Полнопилотажный симулятор

Эдвин Линк

Вертолетный полнопилотажный симулятор

История симуляционного тренинга в медицине

История медицинской симуляции насчитывает многие тысячелетия и неразрывно связана с развитием медицинских знаний, ходом научно-технического прогресса и военными заказами. Так, успехи химической промышленности обусловили появление пластмассовых манекенов, прогресс компьютерных технологий предопределил создание виртуальных тренажеров и симуляторов пациента. Многие современные проекты по созданию симуляторов имели прикладное военное значение и финансировались оборонными ведомствами.

Докомпьютерная эра

В настоящее время мало что известно о средневековых медицинских тренажерах, и первыми документальными свидетельствами и изделиями, дошедшими до наших дней, стали французские родовые фантомы XVIII века.

Анжелика де Кюдрэ (*Angélique Marguerite Le Boursier du Coudray*, 1712-1789), вошедшая в историю как *Мадам дю Кудрэ*, придумала собственную методику симуляционного тренинга повитух с помощью фантома. Будучи рожденной в семье выдающихся медиков, она стала главной *accoucheuse* в Отéль-Дьё де Парú (*Hôtel-Dieu de Paris*, «Парижский божий приют») — старейшей и единственной тогда общественной больнице Парижа.

По ее эскизам была изготовлена «*Машина*» для демонстрации и отработки родового пособия, впоследствии знаменитая во всей Европе. В 1758 она была одобрена Французской Академией Хирургов в качестве учебного пособия. Симулятор родов был сложным устройством и стоил целых 300 ливров – он изготавливался из хлопка и кожаных ремней, для дополнительной реалистичности тазовое кольцо формировалось с помощью вставленных в него человеческих костей. Меняя натяжение кожаных ремней можно было имитировать сложные роды с затрудненной проходимостью родовых путей. Голова плода снабжена пальпируемым носом, вышитыми глазами, нарисованными волосами и откры-

Мадам дю Кудрэ, изобретательница «Машины» для симуляции родов (1712-1789)

Машина» Мдам дю Кудрэ Франция, 1758

Фантомы и манекены обучения родам. Япония, XIX век

тым ртом с языком. В рот плода можно было ввести два пальца на глубину до 5 см. Эти детали были важны для диагностики положения плода и отработки оказания родового пособия. Курсантам в начале занятия демонстрировалось родовое пособие при родах в головном или тазовом предлежаниях на фантоме, а затем они уже самостоятельно отрабатывали эти навыки, чтобы по окончании курса подтвердить свое мастерство – также на фантоме.

Когда машину продемонстрировали французскому королю Людовику XV, тот был настолько впечатлен очевидной практической ценностью изделия, что высочайше повелел Анжелике дю Кудрэ заняться обучением акушерок всей Франции.

«Анжелика и Король» оказали Франции огромную услугу – за 25 лет просветительской деятельности Мадам дю Кудрэ удалось обучить около 5 тысяч повитух и свыше 500 хирургов. Заслуги ее были оценены Францией по достоинству, и в старости она получала от государства пенсию в размере 3 тысяч ливров.

В дальнейшем и другие индустриальные державы стали уделять внимание подготовке врачей и среднего медицинского персонала с помощью фантомов и манекенов. Так, независимо от Мадам дю Кудрэ сходный симулятор родов был изобретен британским акушером Смелли (тем, что впервые измерил диагональную конъюгату таза, сконструировал краниотомические ножницы и гнутые щипцы с «английским» замком и разработал «приём Смелли» при тазовом предлежании плода). До наших дней дошли подобные изделия конца XIX – начала XX века, произведенные в Германии, Англии, Японии – прежде всего предназначенные для изучения анатомии и отработки сестринских навыков.

Ресаски Энн

С развитием химии полимеров и появлением электроники возникли предпосылки для создания современных пластиковых манекенов с электронным управлением. Не случайно, одним из первых их изготовителей стала фирма Асмунда Лаэрдала (*Asmund Laerdal*), производившая в те времена резиновые игрушки.

Питер Сафар (*Peter Safar*), заведующий анестезиологией Городской больницы города Балтимор, США, разработал принципы СЛР (сердечно-легочной реанимации) и для мнемонического запоминания разбил процесс на три этапа:

- **A** (*Airway* – Дыхательные пути),
- **B** (*Breathing* - Дыхание) и
- **C** (*Chest compressions* – массаж грудной клетки);

Ресаски Энн, ее модификации, слепок с посмертной маски Лаэрдал, Норвегия, 1960

В 1957 Питер Сафар опубликовал книгу «*ABC of Resuscitation*», где подробно изложил основы СЛР, буквально перевернувшие представления о принципах оказания неотложной помощи. Его работа обратила на себя внимание врачей во всем мире, в том числе и в Норвегии. Доктору Бьорну Линду (*Bjorn Lind*) удалось воодушевить своим рассказом о новейшем медицинском открытии своего знакомого, норвежского предпринимателя Асмунда Лаэрдала. Он, убежденный своим другом, изготовил первый опытный образец манекена для отработки приемов искусственного дыхания. Пособие было представлено медицинской общественности в 1960 году. Изобретатель СЛР Петер Сафар дал изделию высокую оценку, в дальнейшем по его предложению в манекен была встроена пружина, имитирующая сопротивление грудной клетки, что позволило отрабатывать полный цикл навыков СЛР.

Поскольку лицо манекена было изготовлено с гипсового слепка лица неизвестной французской девушки, утонувшей в реке Сена в XIX веке, манекен получил торговое название «Ресаски Энн» (англ. *Resusci Anne* – «Оживленная Анна»). Реаниматологи в шутку называют Ресаски Энн «самой часто целуемой девушкой всех времен».

Компьютерные манекены

Первый компьютерный симулятор человека в полный рост для обучения анестезии был спроектирован в Университете Южной Калифорнии в середине шестидесятых, примерно в то же время, когда там появились первые программы по стандартизированным пациентам (см. далее). Инженер, д.т.н. Стефан Абрахамсон (*Stephen Abrahamson*) и врач-терапевт Джадсон Денсон (*Judson Denson*) в сотрудничестве с корпорацией Аэроджет Дженерал (*Aerojet General Corp.*) разработали *SIM 1*; также в литературе встречается написание *Sim One*. Финансовым стимулом для конструирования симулятора был поиск компанией Аэроджет разработок в альтернативных, мирных областях в связи с сокращением средств, выделяемых на военные нужды.

Анестезиологический компьютерный симулятор SIM 1, Абрахамсон и Денсон США, 1965

Функциональные особенности симулятора SIM 1 включали в себя моргание глаз, зрачки переменного диаметра, выдвигающуюся нижнюю челюсть. Грудная клетка симулятора двигалась при дыхании, сердцебиение было синхронизировано с пульсом на височной и сонной артериях и соответствовало давлению крови. Симулятор реагировал на лекарственные препараты из обширного списка и предполагал отработку выполнения приемов восстановления проходимости дыхательных путей. Симулятор управлялся гибридным аналого-цифровым компьютером «с объемом памяти в 4096 слов».

К сожалению, изобретатели на четверть века опередили свое время. Манекен изготовили в единственном экземпляре, он так и не получил широкого признания: в те времена компьютеры были слишком дороги и маломощны, а медицинские школы не признавали иных способов обучения, кроме как у постели больного.

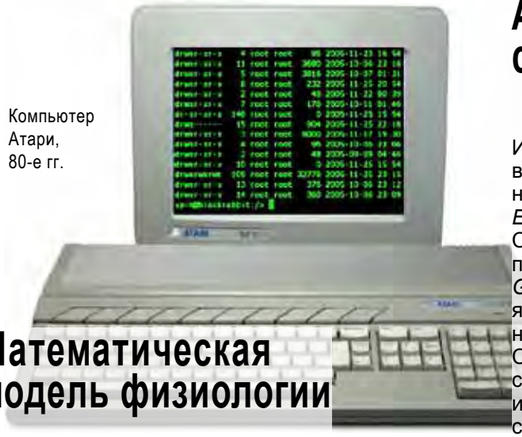
Кардиологический манекен Харви

Чуть позже, в 1968 году в Университете г. Майами, Флорида, США был сконструирован манекен для отработки навыков диагностики состояния сердечно-сосудистой системы. Его создатель, доктор Майкл Гордон (*Michael Gordon*), назвал тренажер Харви *(Harvey)* в честь своего учителя. Модель воспроизводила различные варианты дыхания, пульса, кровяного давления, шумов и тонов сердца, соответствующих 25 различным сердечно-сосудистым патологиям.

Это было весьма сложное электромеханическое устройство, укрепленное на неподвижном ящике метровой высоты, содержавшем в себе моторы, рычаги, трансмиссии и электрические детали. Позднее, по мере развития технологий были выпущены сходные с ним модели, например, японский *Simulator K*.

Сам же манекен Харви выпускается и поныне, разумеется, в более совершенном варианте, с использованием современной компьютерной техники; в настоящее время число воспроизводимых патологий доведено до 30.

Кардиологический симулятор Harvey США, 1968



Компьютер Атари, 80-е гг.

Математическая модель физиологии

Важным шагом в развитии медицинских симуляторов стала разработка в начале 80-х годов математических моделей физиологических процессов сердечно-сосудистой и дыхательной систем и их взаимодействие с лекарственными веществами. Математика описывала не только статичную картину, но и последовательные изменения, происходящие в человеческом организме по мере развития патологии, коррекции состояния фармакологическими препаратами и проведения реанимационных мероприятий. Моделирование физиологии стало предпосылкой к созданию **роботов-пациентов**, прототипы которых независимо друг от друга разработали две группы американских исследователей – из *Стэнфорда* (Калифорния) и *Гэйнсвилля* (Флорида).

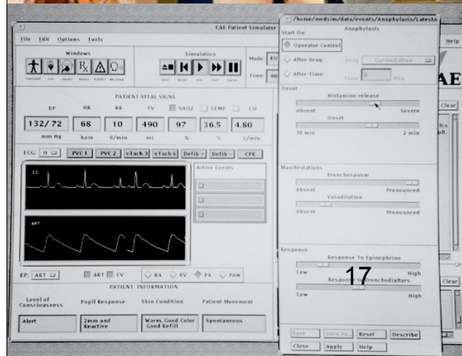
Анестезиологический симулятор CASE

Исследовательской группой Стэнфордского университета в 1986 году был создан андроид, названный CASE – *Comprehensive Anesthesia Simulation Environment* (Обучающая Анестезиологическая Симуляционная Среда). Руководил разработкой профессор анестезиологии Дэвида Габа (*David Gaba*), впоследствии ставший одной из наиболее ярких фигур в симуляционном сообществе, основателем и поныне бессменным руководителем Симуляционного центра Стэнфордского университета. Дэвид Габа помимо врачебного диплома имел степень бакалавра инженера биомедицинской техники и лицензию пилота частной авиации, что, возможно, не только натолкнуло его на идею использования принципов летной подготовки в области медицинского обучения, но и помогло воплотить свои идеи в практику.

Для имитации мониторинга в симуляторе использовался коммерчески доступный генератор графиков физиологических параметров. Измерение артериального давления с помощью манжетки управлялось автоматической программой, установленной на один из первых персональных компьютеров – Macintosh Plus®. В последующих модификациях появилась возможность окклюзии главного бронха, внутривенных инфузий, масочной и эндотрахеальной искусственной вентиляции легких с их аускультацией, но при этом модель не была снабжена такими привычными сейчас функциями, как спонтанное дыхание и пальпация пульса. Изначально логика программирования CASE 1.2 была построена на скриптах, описывающих варианты предполагаемых изменений, в ответ на различные действия обучаемых. Кроме того, опытный анестезиолог наблюдал за ходом симуляции и через персональный интерком отдавал инструктору распоряжения по изменению физиологического статуса.

Анестезиологический симулятор пациента CASE. Стэнфордский университет. США, 1986

Изобретатель симулятора пациента CASE, проф. Дэвил Габа

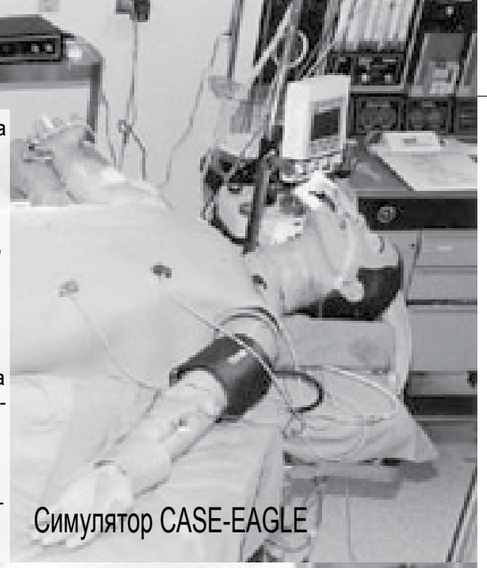


Пользовательский интерфейс симулятора CASE

Это позволяло проводить обучение по индивидуализированной схеме, не ограничиваясь рамками стандартных реакций. Однако данный вариант управления имел определенные недостатки: ни один самый опытный врач не может быстро и объективно точно предсказать индивидуальную реакцию пациента на манипуляцию или введенное лекарство. Поэтому данная схема управления могла быть хоть и реалистичной, но субъективной, воссозданной не точно. Учет в реальном времени всего множества взаимодействующих факторов (преморбидный фон, вес, возраст, пол, индивидуальная переносимость и пр.) невозможно выполнить человеку без помощи специальных программных алгоритмов. Создатели учебного андроида осознавали этот недостаток и в 1989 году модель *CASE* версии 2.0 уже была снабжена моделью физиологии сердечно-сосудистой системы, в том числе непосредственно в реальном времени генерировавшей ЭКГ-кривые и аускультативную картину тонов сердца, и фармакологической библиотекой, содержавшей 70 препаратов. Преподаватель мог выбирать задание из 35 сценариев различных клинических ситуаций.

Несмотря на свое известное высказывание: «Ни в одной отрасли, где жизнь человека зависит от точности навыков квалифицированных операторов, специалисты не ждали появления неопровержимых доказательств пользы симуляторов до начала их использования», Дэвид Габа в 1992 году вместе с проф. Джефри Купером (Гарвардская Школа Медицины) провели в Бостоне так называемый «Великий Симуляционный Эксперимент» (‘*The Great Simulation Experiment*’), в котором приняли участие 70 клиницистов, проходящие обучение по программе CRM в анестезиологии (*Crisis Resource Management*). В ходе эксперимента были получены убедительные доказательства эффективности симуляционных технологий, в результате чего в 1993 году в Гарварде был создан Центр Медицинской Симуляции (*Center for Medical Simulation*).

Лицензия на CASE была продана канадской корпорации CAE-Link (пилотажные симуляторы, в т. ч. ранее и знаменитые тренажеры Линка). В 1993 году андроид под торговой маркой *SAM* был представлен в Брюсселе на съезде Европейского общества анестезиологов. Затем права на симулятор были переуступлены американской компании *Eagle* и некоторое время он выпускался под одноименным названием, а проф.Габа, как изобретатель, до 2000 года получал авторские отчисления от продаж. В октябре 1998 года фирму *Eagle* приобрела израильская *MedSim*, однако вскоре производство симулятора пациента было прекращено, поскольку технологии того времени были нестабильными, себестоимость симулятора оказалось высокой и он не нашел себе сбыта.



Симулятор CASE-EAGLE

проф. Дэвид Габа

Анестезиологический симулятор GAS

Параллельно с группой Габы и практически одновременно с ней (1988) независимые разработчики Университета Флориды (Гэйнсвилль, США) под руководством Дж. Гравенштейна (*J.S. Gravenstein*) создали симулятор *Gainesville Anesthesia Simulator* – GAS (Гэйнсвилльский Анестезиологический Симулятор), который впоследствии стал прародителем целой линейки роботов-симуляторов, выпускаемых сначала компанией *METI* (*Medical Education Technologies Inc.*), а ныне - *CAE Healthcare*.

В симуляторе также использовался коммерческий генератор графиков физиологических параметров и центральный управляющий компьютер. *GAS* мог имитировать неинвазивное измерение АД, пальпируемый пульс и в отличие от *CASE* воспроизводил спонтанные дыхательные движения (механические легкие были размещены не в грудной клетке, а в корпусе кушетки, на которой был смонтирован симулятор.

В комплекте с манекеном поставлялась система имитации наркозного аппарата, воспроизводившего различные клинические проблемы и поломки. Также значительным шагом вперед стала система точной симуляции газообмена. Концентрация таких газов, как O_2, N_2O, N_2 и одного газообразного анестетика могли рассчитываться математической моделью газообмена – всасывания, распределения и выделения газов. Движения большого пальца сигнализировали о глубине нейромышечной блокады. Позднее группа из Гэйнсвилла разработала систему компьютерного контроля, дополненную моделями физиологии и фармакологии.

GAS открыл новый класс учебных изделий – «роботы-симуляторы пациента»; в дальнейшем изделие стало коммерческим продуктом и продавалось под маркой _METI HPS – Human Patient Simulator_ («Симулятор пациента человека»)

Впоследствии при проведении исследования эффективности обучения на новом симуляторе уже первые полученные данные показали более высокий темп и глубину компетенции резидентов основной группы по сравнению с контрольной. Любопытно, что исследование пришлось завершить по просьбе резидентов контрольной группы ранее намеченного срока, так как они просили допустить их к симуляционному тренингу.

Цели и подходы двух упомянутых выше команд существенно различались между собой. Специалисты в Стенфорде были более ориентированы на командный тренинг при возникновении критических состояний. Свою программу они разработали на основе программы управления экипажем при полёте, используемой в лётных тренажерах, и назвали ее «Управление критическими состояниями при анестезии» (*Anesthesia Crisis Resource Management*). Специалисты в Гейнсвилле ориентировались на создание симулятора для обучения резидентов навыкам анестезии, проработки типичных ошибок, действий при поломке анестезиологического оборудования.

Симулятор *CASE* на ранних этапах развития данных технологий был уверенным лидером, но робот *GAS* хоть и развивался медленнее, лучше перенес приобретение компанией *METI*. Множество контрактов с вооруженными силами, а также создание первого симулятора ребенка в полный рост (*PediaSim*) помогло компании METI стать к концу 1990 годов мировым лидером в области симуляционных технологий.

Симулятор GAS

Стандартизированные пациенты

Параллельно с использованием математических модулей симуляционный тренинг успешно развивался совсем в другом направлении – с привлечением стандартизированных пациентов.

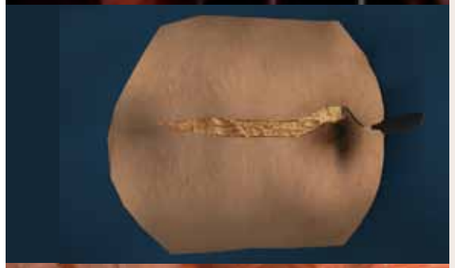
Применение актёров вместо больных в ходе практических занятий началось в 1963 году, такой подход был впервые апробирован преподавателями Университета Южной Калифорнии при обучении студентов-медиков в рамках трёхгодичной программы обучения неврологов. Роль пациентов играли актеры, обученные изображать патологические состояния.

Описание данного опыта было опубликовано в 1964 году, но тогда, полвека назад метод посчитали дорогостоящим и ненаучным. Затем в 1968 году была введена практика использования помощников для демонстрации гинекологического обследования. Более широко подобная скрытая интеграция актеров, изображающих пациентов, в работу клиник произошла в 70-е годы, в ходе чего произошла смена названия «пациентов-инструкторов» на «стандартизированных пациентов».

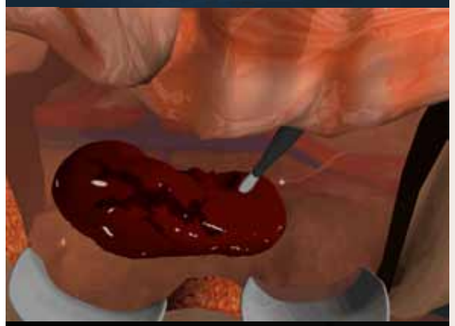
С 1998 года стала ежегодно проводиться Конференция по обучению с использованием стандартизированных пациентов, хотя Ассоциация преподавателей с использованием стандартизированных пациентов ASPE была официально учреждена только в 2011 году. В дополнение к формальным образовательным программам Ассоциация предлагает доступные через интернет семинары, данные мониторинга, выделяются субсидии на научные исследования, ежегодно присуждается награда выдающемуся тренеру.

Конференции положили начало использованию стандартизированных пациентов для оценки клинических компетенций, также были сформированы союзы учебных учреждений, заинтересованные в использовании стандартизированных пациентов для оценки компетенций курсантов. В результате таких объединений был организован проект по использованию стандартизированных пациентов Национального Совета медицинских экзаменаторов США (*NBME*). В 1993 году Ассоциация Американских медицинских коллежей финансировала исследование использования стандартизированных пациентов в медицинских учебных заведениях. Более чем три четверти учебных заведений подтвердили использование стандартизированных пациентов. Более чем одна четверть учебных заведений подтвердила использование стандартизированных пациентов в ходе выпускного экзамена. Такой тип тестирования был назван «практический клинический экзамен» (*Clinical Practical Examination*). Образовательная комиссия для выпускников иностранных медицинских институтов с 1990 по 1992 год выполнила пробные испытания методики оценки навыков студентов-медиков с помощью стандартизированных пациентов. Медицинский Совет Канады в 1993 году впервые включил оценку навыков студентов-медиков с помощью стандартизированных пациентов в программу выдачи лицензий, а в следующем году этот метод оценки знаний и навыков был официально принят образовательной комиссией для выпускников иностранных медицинских институтов (*ECFMG*). Валидность, надежность и практичность «практического клинического экзамена» была подтверждена и описана в двух подробных исследованиях, чьи данные стали основанием для официального утверждения Советом NBME практики использования стандартизированных пациентов на IV-VII курсах обучения. Первое обязательное тестирование студентов-медиков США (Клинические навыки – этап II) было выполнено в 2004 году как часть государственной программы лицензирования.

Виртуальный хирургический симулятор абдоминальной травмы HATS, 1997



Виртуальная симуляция оперативного вмешательства: кожный разрез. Симулятор HATS



Этап выделения почки. Симулятор HATS

Устройство обратной тактильной связи Phantom Omni компании SensAble

Хирургические виртуальные симуляторы

В конце XX века ряд предпосылок предопределил появление нового поколения медицинских тренажеров:

- Увеличение **быстродействия компьютеров** обеспечило доступную по цене аппаратную базу для виртуальных тренажеров. Из высшей лиги ценовых тяжеловесов симуляторы переместились в разряд обычных учебных пособий, пусть и не столь дешевых.
- **Прогресс в инвазивной диагностике и эндовидеохирургии** привел к появлению целой отрасли, где врач наблюдает за своими действиями на экране монитора. Непривычная моторика, фулькрум-эффект, двухмерная картина операционного поля наряду с огромной популярностью малоинвазивных технологий обеспечили высокий спрос на обучение и переподготовку специалистов;
- **Проект Visible Human** был осуществлен Национальной Медицинской Библиотекой США в 1994 году. Виртуальная анатомическая модель человеческого тела основана на оцифрованных фотографиях поперечных сечений трупов мужчины и женщины. Изображения можно просматривать в 3D формате и осуществлять манипуляции с анатомическими структурами. На данных, полученные в ходе реализации проекта Visible Human Project, базировалось большинство первых онлайн-упражнений, виртуальных хирургических тренажеров, курсов тренинга на моделях с использованием виртуальной реальности.
- Изобретения в области **сенсорных технологий** закрыли последнюю брешь – теперь не только зрение и слух, но и осязание оказались в преподавательском арсенале. Технологию обратной тактильной связи *TouchSense* патентует фирма Immersion - кстати, сегодня именно данная технология применяется в сенсорных экранах смартфонов.

Первая упрощенная модель брюшной полости, которая позволяла выполнить упражнения по холецистэктомии, была создана Джароном Ланье (*Jaron Lanier*) – «Отцом виртуальной реальности», предложившим сам термин «виртуальная реальность». Дж.Ланье стал разработчиком и соавтором множества других симуляционных изделий и проектов – виртуальных перчаток, виртуальных очков, трэкингового устройства *Kinect*, проекта *Second Life* и пр.

В конце 80-х годов хирург Ричард Сатава (*Richard Satava*) подал заявление в *NASA*, проводившей очередной набор в астронавты. Его кандидатура была отклонена, но в результате «контакта» возник целый ряд проектов, выполнявшихся им по заданию NASA, в частности, исследования особенностей хирургических вмешательств, выполняемых на космической станции в невесомости. Тогда перед исследователями возник вопрос: если в космосе не окажется врача, кто будет оперировать пациента? Сходная проблема стояла перед американскими военными - солдаты погибали на поле боя в первый час после тяжелого ранения, если им не была оказана квалифицированная медицинская помощь (так называемый «Golden Hour»).

Ричард Сатава, к тому времени уже полковник медицинской службы США, познакомился на одной из конференций с Дж.Ланье, и под впечатлением услышанного создал собственную концепцию оказания медицинской помощи на поле боя. Вместо транспортировки бойца в госпиталь Сатава предлагал приблизить госпиталь к солдату, превратив «Золотой час» в «Золотую минуту». Сама идея, по его словам, была подчерпнута из научно-фантастической романа Роберта Хайнлайна (*Robert Anson Heinlein*) «Звездный десант», где медицинский кокон *TraumaPod* автоматически отправлялся с космического корабля для эвакуации и одновременного лечения раненного десантника. Сатава разработал следующую концепцию: раненный укладывается санитарами в медицинскую капсулу, где они присоединяют к нему датчики мониторинга жизненных параметров, устанавливают внутривенную систему. С помощью физиологического мониторинга, а также встроенных в капсулу ультразвуковых и рентген-сканеров проводится диагностика, данные телеметрически отправляются в госпиталь, и по дистанционной команде врача лечение бойца начинают проводить уже на этапе транспортировки.

Автоматизированная медицинская капсула TraumaPod ↓

↑ TraumaPod в роботизированной операционной

Ричард Сатава (справа), полковник медицинской службы США, профессор Университета Вашингтона, создатель концепции симуляционного обучения в хирургии (фото автора)

Ричард Сатава поделился своими идеями с Главным хирургом Армии США и проект был принят к рассмотрению. Технология виртуального управления оперативным вмешательством тесно пересекалась с принципами хирургии с помощью роботов, управляемых компьютерами, которая была давней задумкой американских военных медиков, а фраза «спасти жизнь солдата» открывала почти неограниченные источники финансирования.

Заказчиком создания спасательной медицинской капсулы *TraumaPod* стала NASA, а финансирование осуществляла *DARPA* – агентство передовых оборонных исследовательских проектов, структура американского Министерства обороны. Тем временем, Сатава публикует программную статью, где излагает принципы подготовки хирургов в виртуальной реальности (1993, журнал *Surgical Endoscopy*). Тогда, еще 20 лет назад он предсказал, что «врач будущего будет изучать анатомию и совершенствовать хирургическое мастерство еще до выполнения первых вмешательств на пациентах».

В середине 90-х годов от основных разработок «отпочковалось» направление симуляционного тренинга, и при финансовой поддержке DARPA компанией *HT Medical Inc.* был создан первый в мире виртуальный симулятор хирургического пособия при травме органов брюшной полости, который был назван *HATS (HT Abdominal Trauma Surgery Simulator*). Симулятор размещался на операционном столе, накрытый опербельем, в области раны горизонтально располагался монитор, на котором отображался соответствующий этап операционного вмешательства - хирургическая рана с внутренними органами. Компьютерная генерация анатомического строения органов велась на основе данных международного проекта *Visible Human*. Симулятор обладал удивительными для своего времени функциями и характеристиками: виртуальные органы с отображением повреждений и кровотечения можно деформировать, рассекать, коагулировать; среди отрабатываемых вмешательств были резекция желудка, удаление селезенки, ревизия поврежденной почки. Тактильные ощущения обеспечивалась устройством обратной связи - манипулятором *Phantom* компании *SensAble*, который и по сей день является наиболее распространенным гаптическим устройством, используемым в виртуальных симуляторах с обратной связью.

К сожалению, симулятор HAST не попал в серийное производство, так и оставшись прототипом. В числе причин разработчики впоследствии называли «скептицизм медицинского сообщества и отсутствие недорогих высокоскоростных компьютеров». Однако важные уроки, полученные в ходе исследований, были усвоены отраслью.

Так, компания HT Medical Inc. продолжила разработки виртуальных технологий и под руководством Мортона Нильсена (*Morton Bro Nielsen*) в конце 90-х годов были созданы симуляторы *CathSim*™ (отработка внутривенных инъекций), *PreOp*™ *Endoscopy* (эндоскопический симулятор) и *PreOp*™ *Endovascular* (обучение ангиографии) - прародители широко известных сейчас виртуальных симуляторов *EndoVR* и *CathLabVR*.

Мортон Нильсен, д.т.н., разработчик симуляторов CathSim, PreOp Endoscopy и PreOp Endovascular

Первая часть названия «PreOp» свидетельствовала о том, что изделия задумывались не только для обучения, но и планирования, а также отработки предстоящих операций. Созданная в 1987 году, компания HT Medical Inc. десять лет спустя была признана одной из 500 наиболее быстро развивающихся американских компаний (рейтинговое бюро *Deloitte & Touche*), и на пике роста своей капитализации в 2000 г. была вместе со всеми патентами приобретена фирмой *Immersion Inc.* Эта компания, в свою очередь, уже была известна в отрасли - на базе ее гаптических устройств в то время работали лапароскопические симуляторы *MIST* и *LapSim*.

Надо отметить, что всякий раз всплеск развития симуляционных технологий был связан с ростом напряженности политической ситуации и усилением военной угрозы. Так, 30-тысячный (!) тираж производства пилотных симуляторов Линка *Blue Box* пришелся на II-ю Мировую войну, изобретение Абрахамсона произошло перед Вьетнамской кампанией, а проекты Габы, Гравенштейна и Сатавы спонсировались оборонными агентствами и корпорациями военно-промышленного комплекса в 80-е – годы наивысшей политической напряженности (война в Афганистане, сбитый южнокорейский лайнер, размещение американских ракет Першинг в Европе). До начала 1990-х годов 80% технологий имитаторов и тренажеров использовалось в военной промышленности.

Затем наступила перестройка, успешно проведена война в Персидском заливе и поток военных заказов обмелел. В середине 90-х годов в сфере симуляции военную промышленность превзошла индустрия игр, именно она стала движущей силой развития высокоскоростной графики высокого разрешения. Интерес к симуляционным технологиям вырос и в самом медицинском сообществе. Финансирование здравоохранения во многих странах превысило оборонные бюджеты, и разработки стали оплачиваться из более мирных, далеких от военного ведомства, источников.

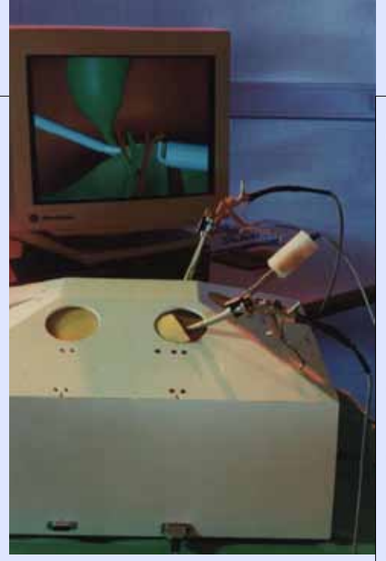
Увэ Кюнапфель, разработчик лапароскопического симулятора KISMET

Виртуальные симуляторы лапароскопии

Внедрение минимально-инвазивных вмешательств в качестве альтернативы традиционным открытым операциям было затруднено высокой продолжительностью освоения сложных и непривычных моторных навыков, и поэтому первая же виртуальная модель была принята весьма благосклонно.

Немецкие ученые из Исследовательского центра Карлсруэ (*Forschungszentrum Karlsruhe)* и Института прикладной информатики (*Insitut für Angewandte Informatik*) под общим руководством д-ра Увэ Кюнапфеля (*Uwe Kühnapfel*) с 1986 начали вести исследования, в результате которых был разработан симулятор *KISMET*. Первая апробация симулятора прошла в 1996 году в Университете Тюбингена под руководством проф. Буеса (*Bues*), а затем после доработок и усовершенствований под торговой маркой *VEST* (*Virtual Endoscopical Surgery Training*) он был в 2000 году запущен в серийное производство.

Характеристикам VEST позавидуют многие современные «инновационные» изделия: отработка базовых упражнений и холецистэктомии в режиме реального времени; имитация инструментов и видеокамеры, трехмерное изображение (требовались дополнительные 3D очки).



Виртуальный симулятор KISMET
Карлсруэ, Германия, 1996

Для имитации обратной тактильной связи в различные периоды использовались три устройства:

- *Laparoscopic Impulse Engine* корпорации *Immersion* (США);
- *PHANTOM фирмы SensAble* (США);
- *HIT - Hauptabteilung Ingenieurtechnik* (Германия)

В начале 2000-х годов производство и маркетинг симулятора были лицензированы немецкой компании *Select IT Vest Systems AG*, чей офис размещался в кампусе Бременского университета. Ряд клиник, прежде всего в Германии, начали применять его в обучении базовым навыкам лапароскопической хирургии. Тренажер *VEST* стал выпускаться в новом футуристическом дизайне, получил плоский экран, был дополнен целым рядом учебных модулей, в т.ч. и блоком гинекологических вмешательств.

В те годы зачастую приходилось не только доказывать преимущества виртуальных технологий, но и продолжать убеждать хирургов в неоспоримых плюсах самой лапароскопической хирургии. К сожалению, просчеты в маркетинге, недостаток достоверных исследований эффективности его применения наряду с высокой ценой (эквивалентной 150 тысяч ЕВРО) привели к крушению проекта. Симулятор *VEST* был выпущен в единичных количествах и вскоре исчез с рынка.

Виртуальный симулятор лапароскопии *VEST*, сконструированный на базе симулятора *KISMET*, Германия, 2000

Практически одновременно с немецкими исследователями в Манчестере, Великобритания, в Центре минимально-инвазивной терапии Вольфсона ведущий хирург Рори МакКлой (*Rory McCloy*) и директор фирмы *VR Solutions Ltd.*, доктор наук Роберт Стоун (*Robert Stone*) в рамках совместного проекта разработали виртуальный симулятор лапароскопии, который получил название *MIST*. Хотя и принято считать годом его изобретения 1997, нам удалось в литературе найти первое упоминание о нем датированное 1996 годом.

Система состояла из компьютера (200 MHz *Pentium*® PC с 32 MB RAM), соединенного с подставкой, на которой подвижно закреплены два лапароскопических инструмента, чьи движения отображались на экране в границах куба 10x10 см. На симуляторе отрабатывались различные базовые навыки, необходимые для выполнения лапароскопической холецистэктомии.

Пользователь в любой момент мог просмотреть видеофрагменты, демонстрирующие применение данных навыков в ходе реального вмешательства. Предусматривалась настройка программы под другие типы вмешательств и инструментария, например, артроскоп и эндоскоп. Проводилась анализ и оценка уровня выполнения упражнения, сравнение между результатами различных учебных сессий, курсантов и групп.

Первое время симулятор коммерчески распространялся «по разумной цене» компанией *Ethiskill* (подразделением *Ethicon Ltd.*), а затем все патенты перешли в собственность шведской фирмы *Mentice*, основанной в 1999 году, которая еще долгое время производила симулятор под этим же названием. Она, к слову, также приобрела фирму *XiTact* (Швейцария), возникшую в апреле 2000 на базе Лозаннского Института Технологий Швейцарской Конфедерации (*Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, EPFL*). Фирма XiTact выпускала периферию имитации эндохирургических инструментов с обратной связью, которая многие годы использовалась целым рядом известных производителей симуляционных изделий (*Simbionix*, Израиль; *Surgical Science*, Швеция; *VirtaMed*, Швейцария).

Симулятор MIST обеспечил прорыв в исследованиях симуляционного тренинга хирургических навыков. Именно на его базе было выполнено огромное количество первых исследований возможности переноса к клиническую практику навыков, приобретенных в виртуальной среде. Запрос в PubMed выдает 108 работ с упоминанием симулятора MIST, тогда как на базе других моделей проведено от 20 до 60 исследований.

Виртуальный лапароскопический симулятор XiTact Швейцария, 2001

Виртуальный симулятор лапароскопии MIST, Великобритания, 1996

Почти одновременно с европейскими коллегами с виртуальными технологиями ознакомились и отечественные специалисты – в феврале 2002 года впервые в России на съезде Общества эндохирургов был продемонстрирован виртуальный симулятор ЛапСим (*LapSim*) производства шведской компании Седжикал Сайенс (*Surgical Science*). В том же году он прошел апробацию на кафедре эндохирургии ФУВ МГМСУ (заведующий кафедры профессор Емельянов С.И.), а в 2003 году первый виртуальный симулятор лапароскопии СимСургери (*SimSurgery*, Норвегия) был приобретен учебным центром медицинского факультета Санкт-Петербургского Государственного Университета.

Виртуальный симулятор LapSim стал первым, на котором была доказана эффективность клинического тренинга - опыт, приобретенный в виртуальной среде, достоверно переносился в операционную. Этому вопросу в середине 2000-х годов было посвящено несколько фундаментальных исследований.

Так, резиденты-хирурги, отработавшие на нем в виртуальной реальности лапароскопическую холецистэктомию, при выполнении первых 10 самостоятельных вмешательств в реальной операционной допускали в 3 раза меньше ошибок, чем их коллеги, прошедшие «стандартную подготовку» (Г. Альберг 2007).

Другое исследование (К.Ларсен, 2009) показало, что резиденты-гинекологи после виртуального тренинга выполняли лапароскопическую сальпингэктомию вдвое быстрее, чем их коллеги из контрольной группы - за 12 минут вместо 24. При этом количество допущенных ошибок и длительность вмешательства были сопоставимы с показателями врачей, имеющих средний уровень опыта, приобретенный в ходе выполнения 20-50 лапароскопических вмешательств удаления придатков.

Благодаря этим и другим исследованиям возможность тренинга по хирургии с привлечением симуляционных технологий уже многие годы считается доказанной.

Во всем мире, в том числе и в России, виртуальные симуляторы заняли достойное место в ряду арсенала методик подготовки специалистов хирургического профиля.

Демонстрация виртуального симулятора лапароскопии LapSim на Съезде эндохирургов в Институте им.А.В.Вишневского, Москва (фото автора)

Бум виртуальных симуляторов

В начале 2000-х годов словно прорвало плотину - рост симуляционных технологий стал лавинообразным, охватывая все больший спектр медицинских специальностей. Все их перечислить невозможно, поэтому приведем лишь несколько примеров.

Д-р Стив Доусон (*Steve Dawson*), руководитель исследовательской группы *SimGroup* в Массачусетс Дженерал Хоспитал (Бостон, США), опубликовал в 2000 году данные о разработанном совместно с японской компанией Мицубиси Электроник (*Mitsubishi Electronics*) симуляторе для тренинга по интервенционной кардиографии. В дальнейшем разработка была приобретена шведской компанией Mentice и сегодня этот виртуальный тренажер широко известен под торговой маркой *VIST*, предлагая более 20 групп симуляционных упражнений по ангиографии различных органов и систем.

Израильская компания *MedSim* (основана в 1995) еще до приобретения симулятора пациента CASE-Eagle занялась разработкой виртуального тренажера ультразвуковой диагностики *UltraSim*. Его первые модели были проданы в 1997 году, а после того как в 2000 году производство симулятора пациента прекратилось, фирма сконцентрировалась на собственном изобретении.

За первую декаду XXI века были сконструированы виртуальные тренажеры по стоматологии, нейрохирургии, ортопедии, артроскопии, хирургии глазных и ЛОР-болезней. Сейчас уже трудно назвать специальность, в которой бы не существовал виртуального симулятора для отработки той или иной манипуляции, вмешательства.

В наши дни сотни роботов-симуляторов и тысячи манекенов ежегодно вступают в строй армии виртуальных пациентов и поступают «на лечение» в симуляционные центры по всему миру.

Начиная с 2007 года Сенатом США трижды принимался Закон о государственном финансировании развития симуляционных технологий в медицинском образовании.

В Европе на учредительном съезде (1994 году в Копенгагене) было создано Европейское общество симуляционного обучения в медицине *SESAM* (*Society in Europe for Simulation Applied to Medicine*), которое с тех проводит авторитетные конференции. Позднее было создано международное Общество Симуляции в Здравоохранении *SSIH* (*Society for Simulation in Healthcare*) со штаб-квартирой в Миннеаполисе, США, которое также проводит ежегодные конференции по симуляционному обучению в здравоохранении (*IMSH*), но уже на американском континенте. Помимо этого общество осуществляет добровольную сертификацию симуляционных центров и издает журнал «Симуляция в здравоохранении» (главный редактор журнала - пионер симуляционных технологий Дэвид Габа, профессор, руководитель симуляционного центра Стэнфордского Университета).

В России общественное объединение, призванное решать сходные задачи, было организовано в феврале 2012 года - на учредительном съезде создано «Российское общество симуляционного обучения в медицине», РОСОМЕД. Общество проводит научно-практические мероприятия, съезды. Печатным органом общества стал издающийся с 2008 года журнал «Виртуальные технологии в медицине» (главный редактор академик Кубышкин В.А.).

Литература

1. Ahlberg G., Enochsson L., Gallagher A.G., Hedman L., Hogman C., McClusky D.A. 3rd, Ramel S., Smith C.D., Arvidsson D. Proficiency-based virtual reality training significantly reduces the error rate for residents during their first 10 laparoscopic cholecystectomies // Am J Surg. 2007 Jun;193(6):797-804.
2. Cooper J.B., Taqueti V.R. A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training // Qual Saf Health Care 2004;13(Suppl 1):i11–i18.
3. Good M.L., Gravenstein J.S.: Anesthesia simulators and training devices // Int Anesthiol Clin 27:161–166, 1989
4. Kuhn, Kuhnapfel, Krumm, Neisius. A virtual reality based training system for minimally invasive surgery, Proc. Computer Assisted Radiology (CAR'96), pp. 764-769, 1996
5. Kühnapfel U.G. et. al.: Endosurgery Simulations with KISMET: A flexible tool for Surgical Instrument Design, Operation Room Planning and VR Technology based Abdominal Surgery Training // Материалы конференции VR'95 WORLD, февраль 1995, Stuttgart
6. Lane JL, Slavin S, Ziv A. Simulation in medical education: a review. // Simul Gaming 2001;32:297-314.
7. Larsen C.R., Soerensen J., Grantcharov T.P., Dalsgaard T., Schouenborg L., Ottosen C., Schroeder T.V., Ottesen B.S. Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial // BMJ. 2009 May 14;338:b1802. doi: 10.1136/bmj.b1802.
8. Rosen K.R. The history of medical simulation // Journal of Critical Care (2008) 23, 157–166
9. Satava R.M. Virtual reality surgical simulator. The first steps // Surg Endosc. 1993 May-Jun;7(3):203-5.
10. Ассоциация ASPE, сайт www.aspeducators.org
11. Журнал «Виртуальные технологии в медицине». Официальный сайт www.medsim.ru
12. Найговзина Н.Б., Филатов В.Б., Горшков М.Д., Гущина Е. Ю., Колыш А. Л. Общероссийская система симуляционного обучения, тестирования и аттестации в здравоохранении. Москва. 2012
13. Общество ROSOMED, сайт www.rosomed.ru
14. Общество SESAM, сайт www.sesam-web.org
15. Общество SSIH, сайт www.ssih.org
16. Симулятор HATS http://mortenbronielsen.net/ht_darpa.htm (дата обращения: 20.08.2013)
17. Симулятор KISMET www-kismet.iai.fzk.de/TRAINER/mic_trainer1.html (дата обращения: 20.08.2013)
18. Симулятор VEST www-kismet.iai.fzk.de/KISMET/VestSystem.html (дата обращения: 20.08.2013)

Хронология

1957	Основы сердечно-легочной реанимации (принцип ABC). Питер Сафар, США
1960	Манекен отработки СЛР Resusci Anne. Асмунд Лаэрдал, Норвегия
1963	Методика стандартизированного пациента. Университет Южной Калифорнии, США
1965	Компьютерный симулятор анестезиологии Sim 1. Абрахамсон, США
1968	Кардиологический симулятор Harvey. Майкл Гордон, США
1986	Анестезиологический симулятор CASE-Eagle. Дэвид Габа, США
1988	Анестезиологический симулятор GAS. Дж.Гравенштейн, США
1993	Технология тактильной обратной связи TouchSense. Immersion, США
1993	Концепция виртуального обучения в хирургии. Ричард Сатава, США
1994	Проект Visible Human. Майкл Акерман, США
1994	Создано Европейское общество симуляции в медицине SESAM
1996	Виртуальный симулятор малоинвазивной хирургии MIST. Рори МакКлой, Великобритания
1996	Виртуальный симулятор лапароскопии KISMET. Увэ Кюнапфель, Германия
1997	Симулятор хирургического лечения абдоминальной травмы HATS. DARPA / HT Medical, США
1997	Виртуальный симулятор ультразвуковой диагностики UltraSim. MedSim, Израиль
1999	Виртуальный тренажер эндоскопии PreOp Endoscopy. HT Medical, США
1999	Виртуальный симулятор ангиографии и эндоваскулярной хирургии PreOp Endovascular. HT Medical, США
1999	Педиатрический симулятор пациента PediaSim. METI, США
2000	Симулятор лапароскопии LapSim Surgical Science, Швеция
2000	Симулятор пациента SimMan. Laerdal, Норвегия
2001	Симулятор пациента ECS. METI, США
2001	Виртуальный симулятор глазной хирургии EYESI. Vrmagic, Германия
2010	Комплексная симуляционная платформа ORcamp. Orzone, Швеция
2012	Российское общество симуляционного обучения в медицине, РОСОМЕД