



А.С. Черепанов<sup>1</sup>, С.А. Макаров<sup>1</sup>, Н.В. Сапцин<sup>1</sup>, А.В. Ивашенко<sup>1</sup>,  
Б.И. Яремин<sup>2</sup>, А.В. Колсанов<sup>2</sup>

## ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СИМУЛЯЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ЭНДОВАСКУЛЯРНОМУ ОПЕРАТИВНОМУ ВМЕШАТЕЛЬСТВУ

(<sup>1</sup> Magenta Technology, London, UK;

<sup>2</sup> ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет»)

Согласно Резолюции I Съезда Российского общества симуляционного обучения в медицине (РОСОМЕД, 27-28 сентября 2012) освоение практических навыков с помощью симуляционного тренинга исключает риск для жизни и здоровья пациента и обучаемого, позволяет проводить занятия по индивидуальной образовательной программе без учета режима работы клиники и графика преподавателя, дает возможность многократной отработки навыка и доведения манипуляции до автоматизма, обеспечивает объективный контроль качества ее выполнения, позволяет моделировать редкие патологии и клинические случаи, снижает у молодых специалистов стресс при проведении первых вмешательств на реальных пациентах. Разработка новых технологий симуляционного обучения [1] позволит повысить уровень подготовки врачей-хирургов, развить возможности отработки методик с учетом индивидуальных особенностей пациента и, таким образом, обеспечить развитие отечественной медицины. В свою очередь, повышение уровня оказываемых медицинских услуг приведет к общему повышению качества жизни населения.

Эндоваскулярная хирургия предполагает проведение операций на кровеносных сосудах чрезкожным доступом под ангиографическим (рентгеновским) контролем с использованием специальных инструментов: катетеров, проводников и т.д. Поскольку традиционные методы обучения хирургов слабо применимы при обучении эндоваскулярной хирургии, актуальной задачей является разработка специализированных тренажеров, позволяющих обучать методикам проведения операции, не подвергая риску реальных пациентов. В частности, наиболее перспективным направлением является использование тренажеров виртуальной реальности, с применением аппаратно-программных средств, имитирующих процесс ввода реальных инструментов в сосудистую систему пациента и реалистичную рентгеновскую картину в процессе тренировки.

Существует крайне ограниченный перечень доступных для использования виртуальных тренажеров для симуляционного обучения эндоваскулярной хирургии. При этом существующие тренажеры отличаются крайне высокой стоимостью, ограниченным набором доступных операций, закрытой архитектурой, не допускающей возможностей расширения функциональности.

Для устранения этих недостатков в рамках аппаратно-программного комплекса «Виртуальный хирург» был разработан оригинальный тренажер эндоваскулярной хирургии, обеспечивающий реалистичную симуляцию проведения операций. Аппаратное обеспечение тренажера включает манипулятор для ими-



тации работы с зондом, имитирующий ввод и перемещение реальных инструментов в сосудах пациента, а также органы управления рентгеновским оборудованием, используемым в ходе операции. Разработанный впервые манипулятор обеспечивает ввод, контроль положения и силовую обратную связь для 3 инструментов одновременно. Контроль положения реализован по двум направлениям: продольное перемещение инструмента и вращение инструмента вокруг собственной оси.

Для отслеживания положения инструментов используются лазерные оптические датчики перемещения. Для обеспечения обратной связи используются цифровые сервомашины с установленными на валу прижимными качалками. Управление создаваемым усилием осуществляется сочетанием текущего положения качалки и момента силы на валу сервомашин. В манипуляторе выделено три разнесенные зоны для контроля положения и реализации силовой обратной связи по каждому из инструментов.

Программное обеспечение тренажера позволяет получать и обрабатывать управляющие воздействия от обучаемого через манипуляторы и другие элементы интерфейсы, формировать визуальную и силовую реакцию на воздействия пользователя. Программная составляющая тренажера включает модули физического моделирования операций, построения рентгеновских изображений, взаимодействия с манипуляторами и управления операцией.

Модуль физического моделирования эндоваскулярных операций обеспечивает полную реализацию модели физического взаимодействия в рамках операционного поля, включая:

- взаимодействие инструментов между собой;
- обнаружение и обработку контактов инструмента с моделью сосудистой системы пациента;
- определение изменений в положении (перемещение) и в геометрии (деформация) эндоваскулярных инструментов;
- обработку дискретных событий, изменяющих состояние физической модели операционного поля;
- расчет положений и сил при взаимодействии инструментов с объектами операционного поля.

Модуль построения изображений обеспечивает полную реалистичную симуляцию изображения, получаемого в ходе операции (см. рис. 1): изображение операционного поля и визуализацию ввода в артерии инструментов и рентгеноконтрастного вещества. При построении рентгеновского изображения используются трехмерные модели операционного поля, визуальные модели инструментов и алгоритмы, позволяющие добиться необходимых визуальных эффектов, моделирующих рентгенографию/скопию и течение жидкости. Модуль физического моделирования предоставляет модулю построения рентгеновских изображений информацию об изменении положения инструментов, топологии и состава объектов операционного поля.



Модуль взаимодействия с манипуляторами обеспечивает обмен информацией с датчиками и сервомашинами, что позволяет определять текущее положение эндоваскулярных инструментов, задавать настройки симуляции оборудования, используемого при операции и настройки построения рентгеновского изображения.

Модуль управления операцией обеспечивает высокоуровневое управление всеми остальными модулями в соответствии с логикой операции, включая:

- отслеживание и регистрация событий, существенных для хода операции;
- отслеживание и регистрация качественных и количественных показателей, используемых для оценки операции;
- запуск на основе первичных событий – вторичных высокоуровневых событий, изменяющих физическую модель операционного поля;
- отслеживание критериев аварийного завершения операции;
- моделирование действий хирурга реализованных за пределами манипуляторов (например, смена инструмента);
- реализация интерфейса управления операцией: старт/прекращение симуляции, смена инструмента, вывод информации о состоянии пациента, подведение итогов.

Исходными для данного модуля являются данные модуля физического моделирования о событиях взаимодействия инструментов с объектами операционного поля, включая время события, текущий инструмент, объект операционного поля (элемент сосудистой системы), геометрию контакта в локальных координатах объекта и тип взаимодействия.

Модуль управления операцией предоставляет модулю визуализации информацию о дополнительных процессах, требующих визуализации, и параметрах визуализации и команды на начало/паузу/прекращение визуализации с необходимыми параметрами. Также этот модуль позволяет вводить информацию о смене инструментов и данные о дискретных событиях, изменяющих физическую модель операционного поля.

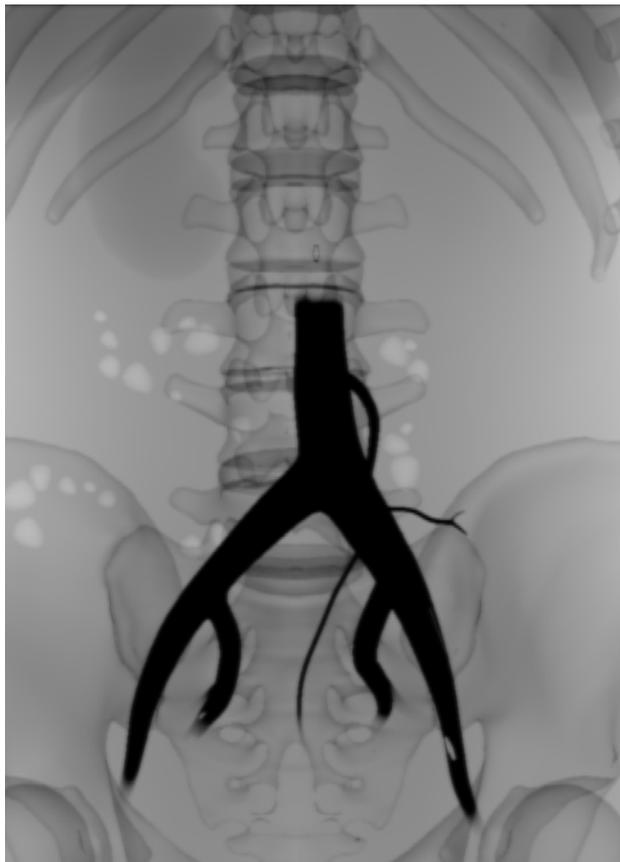


Рис. 1. Фрагмент изображения, созданного по трехмерной модели артерий человека



Таким образом, разработанное программное и аппаратное обеспечение тренажера (см. рис. 2) позволяет обеспечить полностью контролируемый процесс симуляции выполнения эндоваскулярных операций, включая оценку результатов. Тренажер был продемонстрирован на 44-ой Международной выставке медицинской индустрии MEDICA 2012 в г. Дюссельдорф в Германии и вызвал большой интерес у медицинского сообщества.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ.



Рис. 2. Внешний вид тренажера для симуляционного обучения эндоваскулярному оперативному вмешательству в рамках АПК «Виртуальный хирург»

#### Литература

1. Филимонов В.С., Талибов О.Б., Вёрткин А.Л. Эффективность симуляционной технологии обучения врачей по ведению пациентов в критических ситуациях // Врач скорой помощи, 2010. – № 6. – с. 9 – 19
2. Колсанов А.В., Юнусов Р.Р., Яремин Б.И., Чаплыгин С.С., Воронин А.С., Грачев Б.Д., Дубинин А.А., Назарян А.К. Разработка и внедрение современных медицинских технологий в систему медицинского образования // Врач-аспирант, 2012. – № 2.4 (51). – с. 584 – 588