

**БАЗОВЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ АУГМЕНТАЦИИ  
В СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНИРУЮЩИХ МЕДИЦИНСКИХ СИМУЛЯТОРАХ**

*В.А. Лукашевич<sup>1</sup>, А.П. Сиваков<sup>1</sup>, Д.А. Давыдов<sup>2</sup>,  
А. V. Khromenkov<sup>3</sup>, Н.М. Тарасевич<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> УО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», Минск, РБ

<sup>2</sup> «Ви Энд Эй Лаборатори», Сколково, РФ

<sup>3</sup> Urbana Illinois University, USA

<sup>4</sup> ГУ «Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии», Минск, РБ

Abstract. The aim of this article was describing the basic algorithms of modern simulators with medical purpose. By the way the emphasis was placed on the allocation of augmentation as a basic function supported in the mentioned devices above. We distinguish own and exogenous augmentation. Their combination in medical simulators will theoretically allow to model complex spatial movements of human body parts. Implementation of the principles set out in the medical engineering will create a new level of simulators

В настоящее время в сфере IT отмечается интенсивное развитие аппаратно-программных комплексов, позволяющих имитировать процесс управления каким-либо событием. Данные устройства обозначаются как симуляторы. Термин «симулятор» охватывает компьютерные игры и задействует управление виртуальной средой. Ряд симуляторов способен выступать в качестве тренажеров, формирующих у оператора специфические навыки посредством трансформации умения. Группы тренирующих симуляторов могут быть представлены игровыми (XD Motion), спортивными (GOLFZON), медицинскими (ЛОКОМАТ) и специальными симуляторами (например, симуляторы для подготовки пилотов самолетов). Вне зависимости от принадлежности симуляторов к тренирующим либо к игровым устройствам, их основным преимуществом является аугментация. Под аугментацией следует понимать совокупность виртуальных и реальных факторов способствующих усилению представления о выполняемом действии на верхнем уровне регуляции сложной локомоции. Эффект аугментации является важным элементом медицинских симуляторов, облегчающим восприятие происходящего события за счет активации таких нейрофизиологических уровней как премоторный (уровень действия) и пирамидно-стриарный (уровень пространственного поля). Сочетание аугментации с роботизацией позволяет создать эффективную кибернетическую машину способную выполнять технологии интеллектуальной аппаратной реабилитации. На перспективность данного подхода указывает развитие технологий связанных с созданием экзоскелетов, которые по своему назначению могут подразделяться на: 1) стационарные тренажерные комплексы, позволяющие проводить активно-пассивную механотерапию с целью восстановления, утраченной двигательной функции шага (ходьбы), либо разработку суставных контрактур (суставная гимнастика); 2) автоматических юнитов, позволяющих осуществлять утраченные моторные функции, либо облегчать механическую нагрузку на тело или его части. Эффективность автоматического экзоскелета «ReWalk» подтверждена целым рядом научных исследований (Esquenazi A. (2012), Packel A. (2012), Fineberg D.B. (2013), Spungen A. (2014)). Применение стационарных тренажеров «Lokomat», по данным Swinnen E. (2010), Houldin A. (2011), Krewer C. (2012), Bergmann J. (2013), Venturi M. (2014), является «золотым стандартом» процесса восстановления циклической локомоции шага.

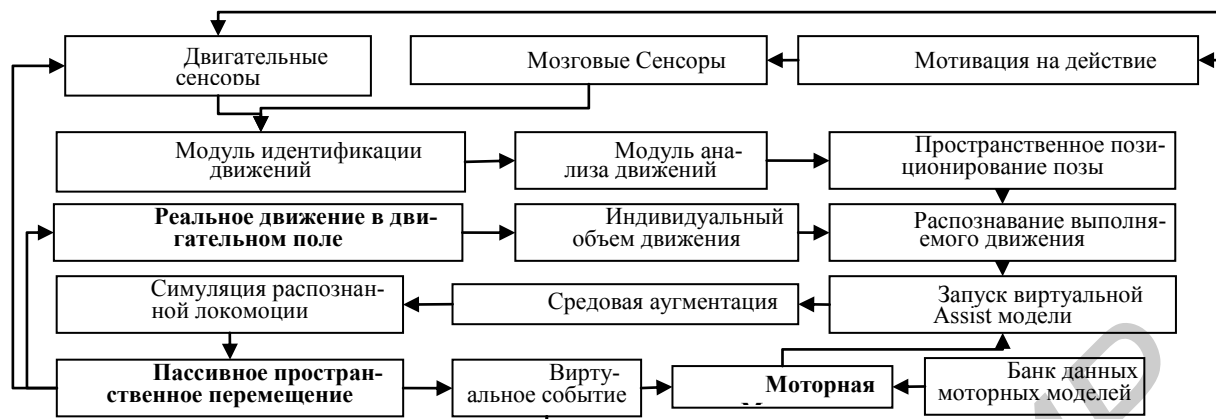
Таким образом, современные симуляторы могут быть как игровыми, так и тренирующими. Последние разделяются на спортивные, специальные и медицинские. Несмотря на групповую принадлежность симуляторов, главным условием их эффективного использования является аугментация. Актуальность данной работы заключается в том, что, несмотря на имеющиеся в настоящее время медицинские тренирующие симуляторы, вопрос о формировании базовых представлений об аугментации, а именно ее роли в нейрореабилитации

литации остается неизученным. Вероятно, это связано с отсутствием теоретической базы, адекватной оценки и понимания психонейробиомеханических процессов, на которые может оказывать влияние данный фактор.

Целью данной теоретической работы являлось систематизация и описание базовых аспектов аугментации как составляющей, непосредственно интегрируемой в перспективные тренирующие медицинские симуляторы.

Оценка и программирование (нейросенсорное программирование) центральных механизмов управления позой и движениями, а также их сенсомоторная коррекция является сложной задачей, выполнение которой происходит за счет предметного и абстрактного взаимодействия на разных уровнях подсистем ЦНС, регулирующих локомоцию человека. Целью подобного взаимодействия является формирования адекватных исполнительных команд, в свою очередь позволяющих осуществлять сенсомоторное регулирование целесообразное для текущей ситуации по принципу: «ситуация-действие-коррекция». На комплексный характер проблемы в своей книге «Элементы мысли» указывал еще И.М. Сеченов: «Дальнейший шаг в эволюции чувствования можно определить как сочетанную или координированную деятельность специальных форм чувствования между собой и с двигательными реакциями тела». По мнению В.С.Гурфинкеля и Ю.С.Левика для регуляции позы и движений, а также пространственной ориентации мозг должен формировать внутреннюю модель мира с размещенной в ней собственной моделью тела (модель самого себя). Внутренняя модель тела является сложноинтегрированным нейрофизиологическим субстратом – матрицей, выполняющей важнейшую роль в обеспечении коммуникативного пути взаимодействия человека с окружающим его пространством, как на предметном, так и на смысловом уровнях. Вместе с тем структура матрицы нестабильна: дискретность трансформаций внутренней модели тела человека прямо пропорциональна уровню внешнесредовой репеллерности и обратно пропорциональна скачкам качественных параметров отдельных факторов. Другими словами: чем чаще происходят изменения со стороны внешней среды (определяемые сенсорной системой человека), тем чаще необходимо менять структуру «внутренней модели», при этом, чем больше качественные различия подобных изменений одного фактора внешней среды, тем меньше необходимость в трансформации «внутренней модели». Для стабилизации системы восприятия, а именно для снижения скачков качественных параметров внешней среды необходим эффект аугментации позволяющий вывести моторные реакции на максимально эффективный уровень. По сути, средовая аугментация представляет собой искусственно трансформируемую среду, адаптированную под выполнение текущей моторной задачи в индивидуальном пространстве движения.

Суть средовой аугментации сводится к тому, что программный модуль идентификации активно выполняемого (фактического) движения из имеющегося информационного банка выбирает и запускает определенную готовую модель - матрицу виртуального перемещения, так называемую «виртуальную моторную ассист – модель». Согласно данной модели осуществляется аппаратно-программная трансформация различного рода средовых факторов. В пределах ограниченного двигательного пространства средовая трансформация превращает фактическое (активно выполняемое) движение человека в пассивное. Под трансформацией внешнего средового фактора подразумевается любое внешнее воздействие оказывающее влияние на образ постуральных и динамических реакций человека в ограниченном двигательном пространстве. В результате чего любое, даже логически не законченное движение, завершается пассивно в соответствии с автоматически выбранной адекватной текущей ситуации «ассист-моделью».



**Рисунок 1** – Принципиальная схема аугментации

Выделяются следующие этапы внешнесредовой аугментации: 1) инициация активной локомоции: фактическое перемещение; 2) распознавание выполняемого движения; 3) выбор и запуск ассист-модели; 4) трансформация средового фактора (средовая аугментация); 5) симуляция распознанной локомоции; 6) пассивное завершение двигательного акта.

При этом кольцевое регулирование осуществляется по следующим каналам:

- 1) движение – сенсоры движений – распознавание выполняемого движения;
- 2) пассивное перемещение – сенсоры движений – распознавание выполняемого движения;
- 3) пассивное перемещение – позиционирование позы – распознавание движения;
- 4) позиционирование позы – запуск виртуальной assist-model – пассивное перемещение;
- 5) распознавание движения – выбор виртуальной assist-model – пассивное перемещение;
- 6) виртуальное событие – выбор виртуальной assist-model – средовая аугментация;
- 7) виртуальное событие – сенсоры движений – распознавание выполняемых движений;
- 8) виртуальное событие – мотивация – пространственное позиционирование позы.

Пассивное перемещение формирует следующую фазу активного (фактического) перемещения человека в двигательном пространстве. Данное событие замыкает кольцевую связь.

Таким образом, эффективность перспективных нейрореабилитационных комплексов относящихся к категории тренирующих симуляторов будет определяться эффектом аугментации, позволяющим стабилизировать систему восприятия и пространственного ориентирования за счет снижения скачков качественных параметров репеллерности внешней среды.

#### *Литература*

1. Лукашевич, В. А. Биомоделирование в нейрореабилитации / В.А. Лукашевич, А.В. Хроменков, Д.А. Давыдов // Россия – Беларусь – Сколково: единое инновационное пространство: материалы международной конференции Минск, 19 сент. 2012 г. / НКО Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий (Фонд «Сколково») Национальная академия наук Беларуси; под общ. Редакцией С.Я. Килин. – Минск: «Беларуская навука», 2012. – С. 86-87.
2. Лукашевич, В. А. Некоторые теоретические аспекты выделения системы познодинамического контроля для оценки сложных взаимодействий в замкнутой биологической системе «человек - внешняя среда» / В.А. Лукашевич, А.В. Хроменков, Д.А. Давыдов // Неврология и нейрохирургия Восточная Европа – 2012. – № 2. – С. 124–126.
3. Effect of a robotic restraint gait training versus robotic conventional gait training on gait parameters in stroke patients / С. Bonnyaud [et al.] // Exp. Brain Res. – 2014. – Vol. 232, № 1. – P. 31–42.
4. Exercise intensity of robot-assisted walking versus overground walking in nonambulatory stroke patients / Van Nunen MP [et al.] // J Rehabil Res Dev. – 2012. – Vol. 49, № 10. – P. 1537–1546.