

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №9 2021г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 80 с.

**ISSN 2079-5920**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте [www.ntvp.ru](http://www.ntvp.ru), и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № Е12025.

*Главный редактор Р.Х. Шагимуллин*

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;  
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н, проф.;  
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харламтиди – д.х.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

**© Рашин Сайнс, 2021 г.**

05.13.18

**А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин,  
А.В. Захаров, С.В. Ровнов, А.В. Иващенко**

Самарский государственный медицинский университет,  
Лидирующий исследовательский центр, реализующий дорожную карту по «сквозной»  
цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности»,  
Самара, anton.ivashenko@gmail.com

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДИКТИВНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ**

*В статье описывается оригинальная модель предиктивной виртуальной реальности, основанная на трехмерной симуляции органов человека и их динамики с помощью временных потоков событий. Приведены результаты успешного применения модели раннем реабилитационном периоде ишемического инсульта. Предложенная модель позволяет определять зависимости объектов и сцен виртуальной реальности на практике при решении разнообразных задач нейрореабилитации.*

Ключевые слова: *дополненная реальность, оптический трекинг, нейрореабилитация.*

В настоящее время виртуальная реальность широко используется в задачах нейрореабилитации [1, 2]. В основе персонифицированного подбора реабилитационных мероприятий с использованием адаптированной среды виртуальной реальности [3, 4] лежит поиск индивидуальных предпочтений реабилитированного демонстрируемым контентом.

Для реализации аппаратно-программного комплекса нейрореабилитации пациентов после инсульта [5, 6] была разработана модель предиктивной виртуальной реальности. Модель основывается на симуляции трехмерной сцены, реализующей высокореалистичное отображение органов человека (см. Рис. 1) и позволяет реализовать настройку параметров визуализации движения верхней конечности в зависимости от исходного уровня двигательного дефекта.

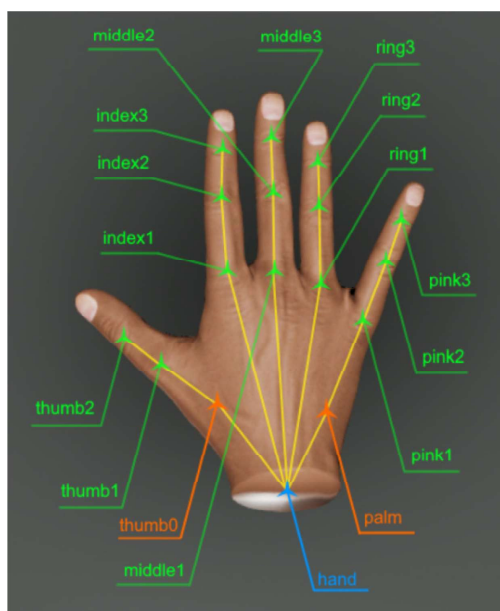


Рис. 1 – Трехмерная модель руки для системы виртуальной реальности

Для моделирования динамических изменений частей тела человека объекты сцены, например фаланги пальцев, моделируются с помощью геометрических примитивов:

$$g_{i,j} = g_{i,j}(w_i, c(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}), r_{i,j}) = \{0, 1\}, \quad (1)$$

где  $w_i$  - объект сцены,  $c(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}), r_{i,j}$  - центр и радиус сферы, характеризующей размер и расположение в пространстве.

Таким образом, можно указать фактическое и ожидаемое положения соответственно для каждой части тела человека.

Тренировочные, обучающие и реабилитационные упражнения пациента описываются потоками событий ожидаемых и реальных действий. Наблюдаемые действия пациента  $u_m$  опишем потоком событий:

$$e_{m,n,i,j} = e_{m,n,i,j}(u_m, g_{i,j}, t_{m,n,i,j}) = \{0, 1\}, \quad (2)$$

где  $t_{m,n,i,j}$  - время события.

Ожидаемые (целевые) действия опишем с помощью потока событий:

$$e'_{m,k,i,j} = e'_{m,k,i,j}(u_m, g'_{i,j}, t'_{m,k,i,j}) = \{0, 1\}. \quad (3)$$

Система должна мотивировать пользователя совершать определенные действия и, таким образом, генерировать поток событий, который приводит к достижению цели. Целевая последовательность требуемых позиций может быть сгенерирована либо экспертом, либо автоматически на основе текущего состояния пациента. Качество манипуляции характеризуется минимальным суммарным отклонением положения и времени:

$$\Delta Q(u_m) = \sum_n \sum_k \sum_i \sum_j e_{m,n,i,j} \cdot e'_{m,k,i,j} \cdot \delta(g_{i,j}, g'_{i,j}) \rightarrow \min,$$

$$\Delta T(u_m) = \sum_n \sum_k \sum_i \sum_j e_{m,n,i,j} \cdot e'_{m,k,i,j} \cdot |t_{m,n,i,j} - t'_{m,k,i,j}| \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $\delta(g_{i,j}, g'_{i,j})$  характеризует отклонение наблюдаемого положения моделируемого объекта от заданного.

Это означает, что для решения задачи реабилитации в среде предиктивной виртуальной реальности необходимо генерировать целевой поток событий, который вдохновляет пользователя выполнять необходимые действия в нужное время.

Данная модель была успешно апробирована на практике. Наиболее перспективными пациентами для изучения эффектов использованной технологии на восстановление двигательных нарушений являлись пациенты с перенесенным острым нарушением мозгового кровообращения в бассейне средней мозговой артерии. Выбор данной категории пациента был обусловлен тем, что у них наблюдалось изолированное повреждение двигательной функции при относительной сохранности остальных сенсорных систем, в том числе и структур отвечающих за зрительное восприятие.

В исследование было включено 10 пациентов в раннем реабилитационном периоде ишемического инсульта, находившихся на лечении в неврологическом отделении для больных с ОНМК Регионального сосудистого центра Самарской областной клинической больницы им. В.Д. Середавина с марта 2021 г. по август 2021 г. Исследование получило одобрение локального этического комитета (протокол № 25 от 02.02.2021).

Все пациенты получали терапию ишемического инсульта и сопутствующих заболеваний в соответствии со стандартами оказания медицинской помощи, а также проводились реабилитационные мероприятия в соответствии с индивидуальными особенностями. Исследование включало в себя два визита, на которых проводилась оценка по шкалам исследования, на 2-3 день, соответствующего включению в исследование и на 14-21 день от момента поступления в стационар (что соответствовало дате выписки), являющийся визитом

завершения участия в исследовании. В течение всего исследования проводилась непрерывная оценка любых нежелательных явлений. На первом визите исследования проводилась рандомизация пациентов в группу сравнения или исследуемую группу.

Пациенты группы сравнения получали медикаментозную терапию в рамках стандарта оказания медицинской помощи пациентам в реабилитационном периоде после ОНМК. Данные пациенты также получали на реабилитацию с использованием технологии виртуальной реальности при демонстрации испытываемому виртуальные среды, не имеющей биологически обратной связи с исходным неврологическим двигательным дефектом реабилитируемого. Таким образом, пациенту демонстрировался полный объем движений верхних или нижних конечностей в зависимости от решаемой реабилитационной задачи в имплицитном режиме. Пациент не мог управлять активностью виртуального аватара (анимированными движениями).

Пациенты группы исследования получали возможность эксплицитного взаимодействия с виртуальной реальностью опосредованно анимации движения виртуального аватара. Объем данной анимации контролировался посредством ЭМГ датчиков, а также оптического трекера, позволяя осуществлять контролируемую визуализацию объема действий, исходя из исходных параметров амплитуды движения верхней или нижней конечности, которая обуславливалась выраженностью неврологического дефицита, а именно степенью снижения мышечной силы. Длительность занятий составляла 10 дней по 20 - 25 минут ежедневно.

Пациенты получали инструкцию, зависящую от двигательного дефекта верхней и нижней конечности. По мере совершения иных реабилитационных движений, а именно при последующих занятиях в рамках процедуры двигательной реабилитации, изменялись коэффициенты чувствительности ЭМГ и оптических датчиков. Это позволяло анимировать движения руки в различных отделах (плечо, предплечье, кисть, отдельные фаланги), мотивируя реабилитируемого прикладывать большие усилия для достижения физиологического объема движений в том или ином составе.

На рисунке 2 отображена динамика значения шкалы ARAT у пациентов сравниваемых групп. Достоверные различия свидетельствуют о более полном восстановлении функции верхней конечности, в том числе и ее дистальных отделов, а именно кисти. Это значительно увеличивает степень функционирования верхней конечности и значительно повышает независимость пациента. Положительная динамика может свидетельствовать об активации нейропластичности в контралатеральном полушарии (в полушарии с зоной ишемии), т.к. именно там максимально представлены дистальные отделы конечности, в частности руки.

Полученные данные демонстрируют положительный эффект дополнительного использования предиктивной виртуальной реальности у пациентов в остром периоде ишемического инсульта, основывающийся в первую очередь на регрессе двигательных нарушений. Основные положительные эффекты проводимой терапии реализуются за счет регресса двигательных нарушений как верхней, так и нижней конечностей.

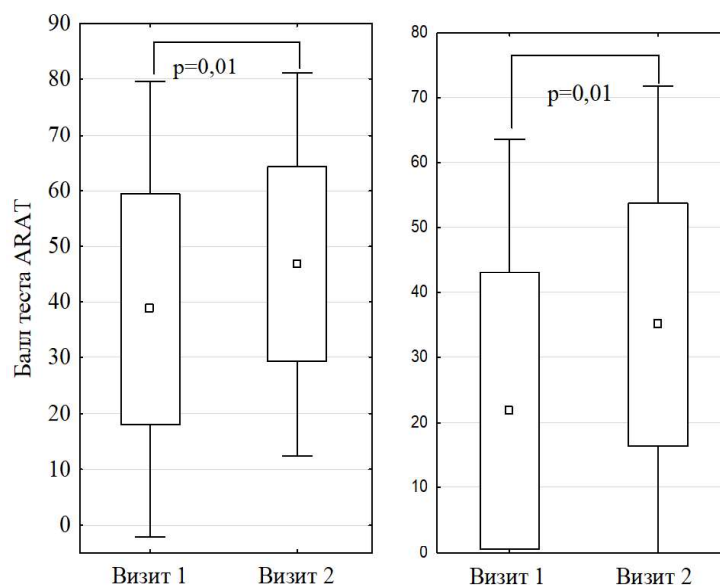


Рис. 2 – Динамика значений теста ARAT в группе исследования (слева) и в группе сравнения (справа)

Тщательная оценка двигательной функции продемонстрировала корреляцию выраженности двигательных нарушений верхней конечности на прогностическую оценку у пациентов после перенесенного ишемического инсульта. На протяжении всего времени исследования не было зарегистрировано каких-либо нежелательных явлений, что соответствует высокому профилю безопасности используемой методики.

#### **Благодарности**

*Результаты получены в рамках реализации программы деятельности Лидирующего исследовательского центра, реализующего дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» при финансовой поддержке Минкомсвязи России и АО «РВК» (Договор о предоставлении гранта №003/20 от 17.03.2020 г., идентификатор соглашения о предоставлении субсидии - 0000000007119P190002).*

#### **Список литературы**

1. Aramaki A., Sampaio R., Reis D., Cavalcanti A., Silva e Dutra F. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review // *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. Vol. 77. – 2019. - pp. 268 – 278
2. Tieri G., Morone G., Paolucci S., Iosa M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies // *Expert Review of Medical Devices*, 15:2. – 2018. - pp. 107 – 117
3. Virtual and Augmented reality: concepts, methodologies, tools and applications. IGI Global USA, 2018. - 1845 p.
4. Ha H-G., Hong J. Augmented Reality in medicine // *Hanyang Medical Reviews*, 36(4). – 2016. – pp. 242 – 247
5. Kolsanov A., Chaplygin S., Rovnov S., Ivaschenko A. Augmented Reality application for hand motor skills rehabilitation // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 11, No. 4. - 2020. – pp. 51 – 57
6. Kolsanov A., Chaplygin S., Rovnov S., Ivaschenko A. Hand motion capturing and simulation in medical rehabilitation applications // *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 1170. – 2020. – pp. 125 – 134