

РАЗРАБОТКА БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЕМ МОЗГОВОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ

В.Ю. Степанкевич

stepankevitch2015@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены причины нарушения кровообращения головного мозга, их последствия и методики реабилитации. Проанализированы современные методы и технические средства реабилитации пациентов. Рассмотрены характеристики тренажера, способствующего восстановлению двигательной активности пациента и утраченных навыков. Разработан алгоритм реабилитации пациента и математическая модель работы системы. Проведены испытания предложенной системы. Доказана ее работоспособность.

Ключевые слова

Нарушение кровообращения головного мозга, методы реабилитации, утраченные навыки, обучение навыкам, алгоритм реабилитации

Поступила в редакцию 15.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Проблема профилактики и реабилитации инсультных больных и больных другими заболеваниями, нарушающими двигательную активность, является одной из ключевых в современной медицине. Существует множество методик реабилитации, тренажеров для восстановления двигательной активности. Технические средства реабилитации и восстановления имеют высокую стоимость и не всегда доступны для использования даже в медицинских учреждениях [1].

Анализ представленных в табл. 1 данных показывает, что в каждом конкретном случае нарушения имеют одинаковую природу [2].

Таблица 1

Последствия нарушения мозгового кровообращения и оценка физических возможностей пациента

Последствия нарушения мозгового кровообращения	Оценка физических возможностей пациента
Нарушение речи	Возможно самостоятельное проживание при условии, что не произошли другие нарушения. Необходимо посещать врача-специалиста для восстановления и коррекции речи
Нарушение двигательной активности конечностей	Самообслуживание невозможно. Требуется наблюдение специалистом и занятия на тренажерах, восстанавливающих двигательную активность
Нарушение поддержания позы тела	Самообслуживание невозможно. Необходимо наблюдение специалистом и занятия на тренажерах, восстанавливающих мышцы тела, а также обучающего тренажера
Нарушение восприятия	Требуется диагностика навыков, подтверждающая возможность самостоятельного обслуживания
Утрата стандартных функциональных навыков	Необходим постоянный контроль специалиста вследствие неспособности обслуживать себя

В ходе реабилитационных мероприятий пациентам после нарушения мозгового кровообращения принято назначать:

- лечебную физкультуру;
- нейрореабилитацию;
- медикаментозную терапию;
- занятия на реабилитирующих тренажерах.

Среди перечисленных методов лечения реабилитирующие тренажеры занимают особое место [3].

Реабилитирующим тренажером называют механическое, программное, электрическое либо комбинированное учебно-тренировочное устройство, функционально приспособленное оказывать нагрузку на отдельные мышечные группы, которые долгое время находились в атрофированном состоянии [1]. Наиболее распространенным видом таких тренажеров являются тренажеры велосипедного типа: Орторент Актив-Пассив, Манупед и др. (рис. 1). Также в ходе реабилитационных мероприятий используют эллиптические тренажеры с одновременной нагрузкой на конечности, шаговые тренажеры, дорожки для оздоровительной ходьбы. Зависимость типов тренажеров от характера утраченных функций представлена в табл. 2 [4].



Рис. 1. Реабилитирующие тренажеры велосипедного типа:

a — Орторент Актив-Пассив; *б* — Манупед; *в* — Sport Elite SE-1310; *г* — Aerofit X-6 B

Помимо описанных тренажеров, на рынке специальной медицинской техники широко представлены лаборатории анализа движений. Лаборатория PHYSIOMED (рис. 2) наиболее часто встречается в лечебно-профилактических учреждениях. Она представлена многокомпонентным комплексом, способным анализировать:

- биомеханику движений;
- видео- и электромиографию данных, поступающих от различных датчиков;
- нейромышечные и биомеханические параметры движения;
- синхронизации видео с кинетическими, кинематическими и электромиографическими данными;
- углы и динамику движений.

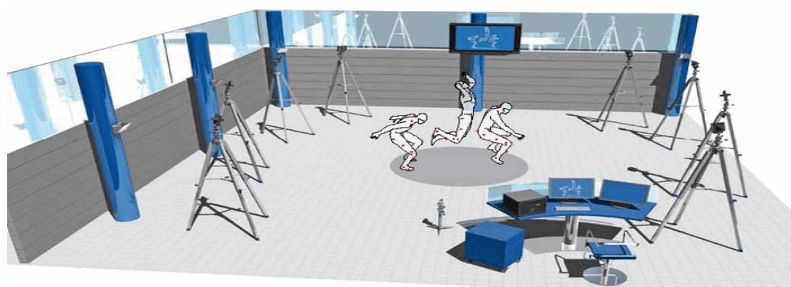




Рис. 2. Общий вид лаборатории PHYSIOMED

Таблица 2

Назначение велосипедных тренажеров

Название тренажера	Назначение
<p>Орторент Актив-Пассив для пассивно-активной разработки верхних и нижних конечностей</p> 	<p>Восстановление мышц, суставов, подвижности конечностей; улучшение/оптимизация биомеханического двигательного паттерна; уменьшение/нормализация патологического мышечного тонуса, направленная регуляция мышечного тонуса; увеличение мышечной силы; устранение/уменьшение последствий поструральных дисфункций; уменьшение/ликвидация болевого синдрома за счет повышения порога болевой чувствительности; оптимизация вегетативной реактивности; улучшение проприоцептивной чувствительности; улучшение или нормализация координации движений</p>
<p>Манупед для рук и ног</p> 	<p>Восстановление кровообращения в конечностях и нормализация кровотока по всему телу; профилактика набора лишнего веса, атрофирования мышц вследствие длительного соблюдения постельного режима; восстановление утраченной координации движений</p>

В ходе исследования установлено, что тренажеры и лаборатории для реабилитации пациентов с нарушением кровообращения головного мозга, прежде всего, направлены на:

- восстановление мышц, суставов;
- восстановление подвижности конечностей;
- регуляцию мышечного тонуса;
- увеличение мышечной силы;
- оптимизацию вегетативной реактивности;
- улучшение проприоцептивной чувствительности;
- улучшение или нормализацию координации движений;
- оптимизацию реакций адаптации к физической нагрузке.

К недостаткам рассмотренных систем можно отнести:

- громоздкость;
- относительно узкую направленность;
- высокую стоимость, не позволяющую применять их в домашних условиях.

Кроме того, в подобных системах пациент не является активным участником реабилитации [5].

Настоящее исследование посвящено разработке биотехнической системы (БТС) для реабилитации пациентов с нарушением мозгового кровообращения в домашних условиях. Целевой функцией такой БТС является возможность оценки двигательной активности пациента, восстановление навыков, необходимых для самостоятельного проживания. Система имеет преимущество перед аналогами благодаря простоте управления и настройки, а также низкой стоимости.

Разработанная БТС представлена на рис. 3 и включает в себя, кроме персонального компьютера (ПК), четыре модуля:

- сенсор движений Kinect 2.0;
- адаптер для подключения к ПК;
- пульсисметр;
- специальное программное обеспечение (СПО).

Сенсор движений Kinect 2.0 используется для фиксирования движений пациента, адаптер применяется для подключения сенсора к ПК, специализированное СПО обеспечивает обработку файлов записанных (сканированных) движений и представления наглядных результатов реабилитации, а физическое состояние пациента контролируется при помощи пульсисметра.

Функциональные особенности блоков БТС (см. рис. 3):

- 1) оценка физиологического состояния пациента;
- 2) передача информации о физиологическом состоянии инструктору;
- 3) «захват» пациента сенсором движений Kinect 2.0.;
- 4) сканирование с помощью Kinect 2.0.;
- 5) соединение Kinect 2.0 и ПК (адаптер);
- 6) передача данных с сенсора Kinect 2.0 на ПК для дальнейшей обработки;
- 7) выбор необходимого эталона движения;
- 8) обращение инструктора к архиву движений;
- 9) выбор необходимого движения — эталона;
- 10) начало обработки полученных от Kinect 2.0 координат с помощью СПО;
- 11) сопоставление координат движений-эталонов и движений, выполняемых пациентом;
- 12) обработка данных;
- 13), 14) визуализация результатов обработки с помощью СПО (построение графика соответствия);
- 15) передача результатов обработки инструктору в виде графика соответствия;
- 16) сохранение результатов работы инструктором;
- 17) представление результатов пациенту;
- 18) корректировка дальнейших действий.

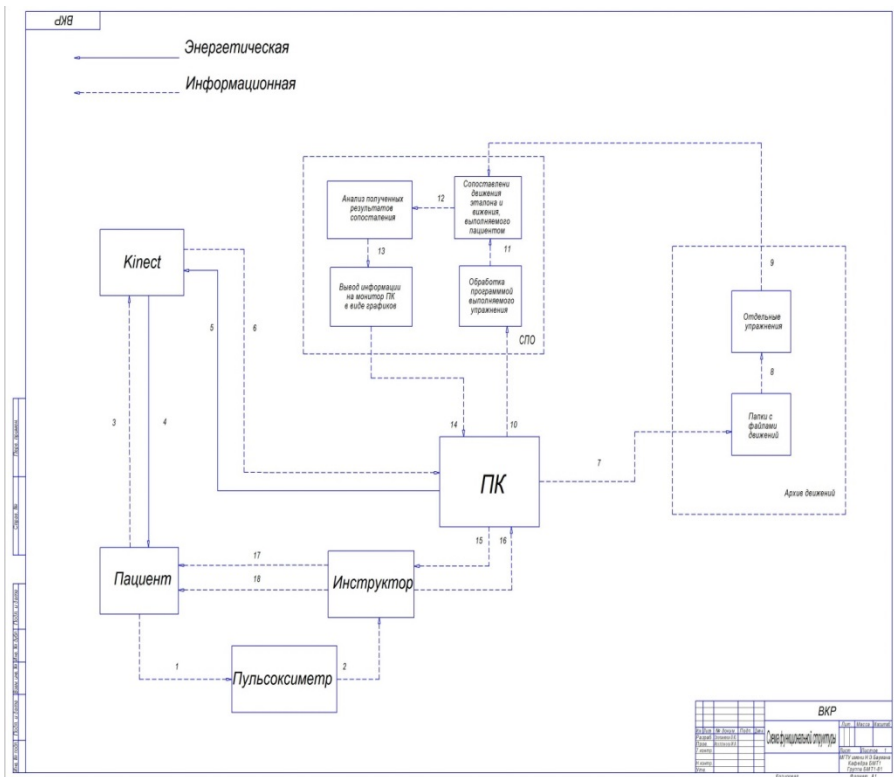


Рис. 3. Разработанная БТС

Для анализа и сравнения эталона движений с движением, выполняемым пациентом, требуется создать файл движения. Из эталонов движения в дальнейшем формируется база эталонов. Запись и обработка движения производится в программе SDK Kinect по алгоритму, представленному на рис. 4.

На первом этапе записывается видеоролик с выполнением эталона движения для исследуемого движения. Записанный видеоролик кадрируется в виде набора изображений, затем сравнивается с эталонными движениями. После обработки эталон готов к сопоставлению с выполняемым пациентом движением и дальнейшему анализу. «Правильное выполнение движения» позволяет системе передать необходимую информацию врачу-реабилитологу [6].

Для формирования заключения об оценке двигательной активности был разработан алгоритм диагностики пациента (рис. 5). Помимо самого пациента, в процессе реабилитации участвует инструктор и врач-реабилитолог.



Рис. 4. Алгоритм формирования базы эталонов движений

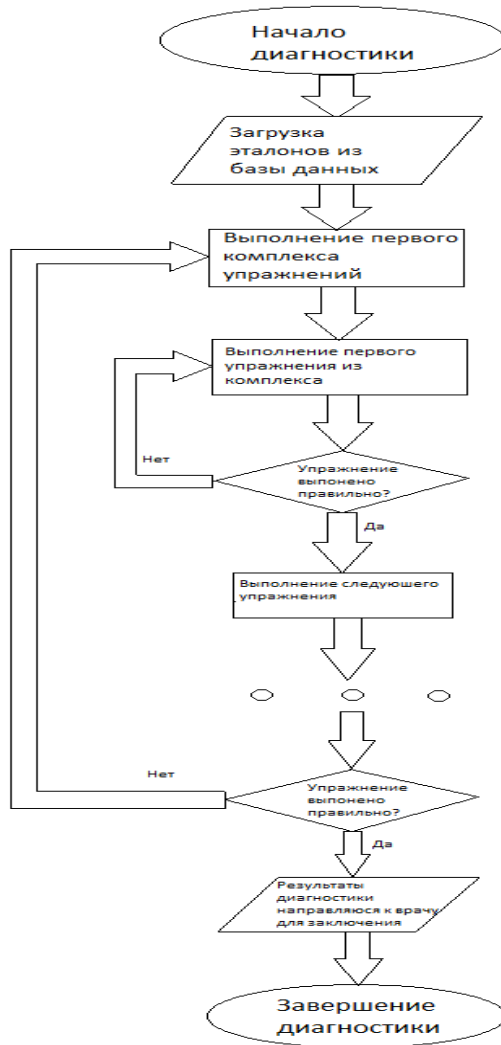


Рис. 5. Алгоритм диагностики пациента

Для реализации алгоритма сравнения была выбрана реберная модель человека в полярной системе координат (рис. 6). Основным преимуществом такой модели является то, что она позволяет не учитывать анатомические параметры человека и работает только с азимутальным и полярным углами. На рисунке отчетливо видны контрольные точки, соединенные отрезками (ребрами). С помощью этих точек и углов вращения (полярный и азимутальный) ребер задается положение каждого участка модели [7].

Для оценки точности распознавания системы и сравнения с результатами полученными при помощи расчетов в соответствии с разработанной математической моделью, был создан макет технической части БТС, который состоит из сенсора движений Kinect 2.0, адаптера, специально предназначенного для передачи данных с Kinect 2.0 на ПК, ПК (Lenovo IdeaPad 110 15 AMD) и СПО SDK Kinect. Описываемый макет БТС представлен на рис. 7.

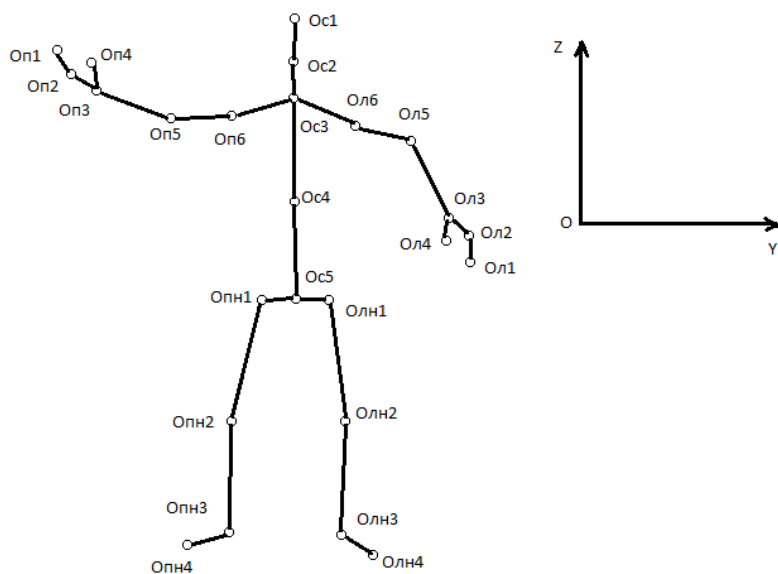


Рис. 6. Реберная модель тела человека в полярной системе координат

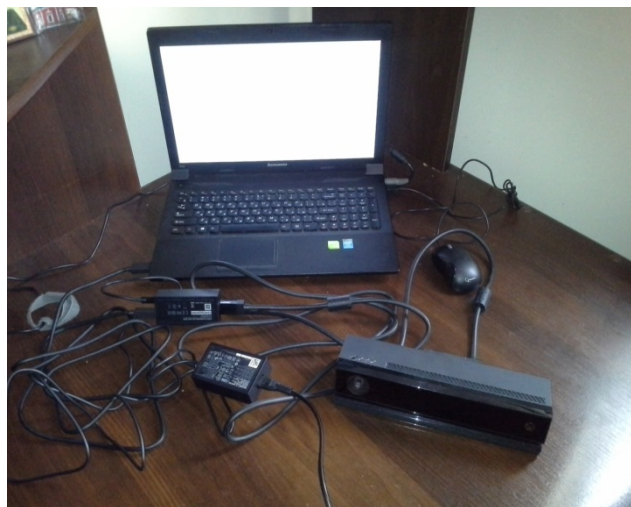


Рис. 7. Макет БТС, применяемый в исследованиях

Алгоритм оценки движения БТС представляет собой следующую последовательность действий, когда при записи эталона система фиксирует изменение положения модели и нахождение в пространстве в каждый момент времени (рис. 8) [10].

Согласно алгоритму проведения диагностики была разработана программа испытаний для точности распознавания движений [5]. Результирующие графики выполнения движений представляют собой зависимость изменения угла отклонения элемента модели от времени. Графики квантованы по времени. Каждые 15 квантованных отсчетов равны секунде. Для оценки работоспособности

макета были рассмотрены три простых движения. Каждое из движений выполнялось по 20 раз. Во время фиксирования движений записывались декартовы координаты выполняемого движения. По данным координатам с помощью формул перехода из декартовых координат в сферические рассчитывался полярный угол соответствующего элемента. В данной статье представлена выборка из пяти значений одного из движений.

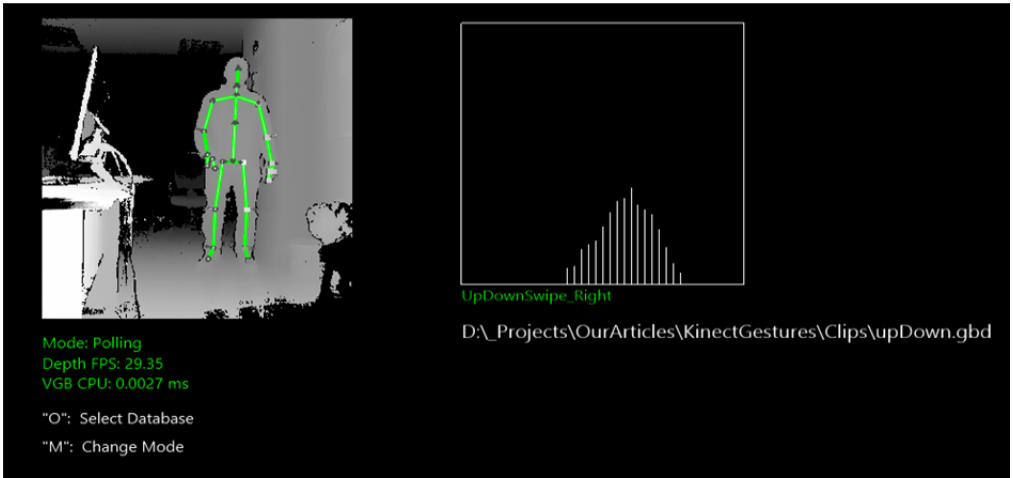


Рис. 8. Скриншот интерфейса программы в ходе работы БТС:

3D-изображение реберной модели тела человека в полярной системе координат (слева) и график распознавания движения (справа)

Схема проведения эксперимента изображена на рис. 9.

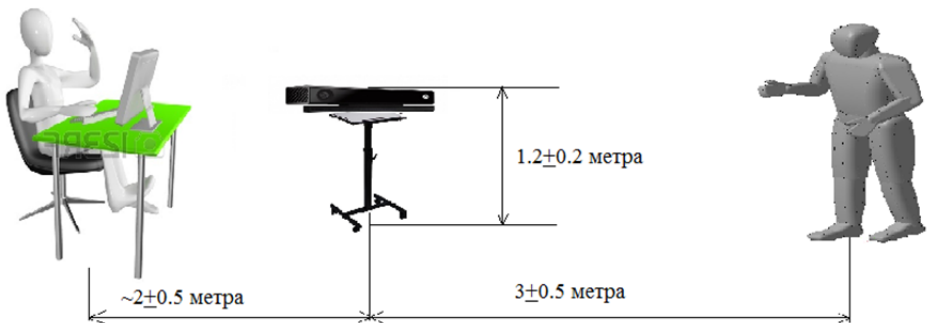


Рис. 9. Схема проведения эксперимента

Расчеты показали, что для достижения оптимальных условий сенсор движений необходимо закрепить на подставке, на высоте $1,2 \pm 0,2$ м от уровня пола (рис. 9). Объектив сенсора должен быть направлен в сторону пациента. Сенсор движений, при помощи имеющихся в комплекте адаптеров, подключается к ПК и сети питания. Инструктор, контролирующий процесс диагностики при помощи ПК, должен находиться вне фокуса сенсора, поскольку случайный «захват» сенсором инструктора помешает проведению эксперимента и исказит выходные

данные. Пациент должен находиться на расстоянии $3 \pm 0,5$ м от объектива сенсора. Для более качественного распознавания движений, пациент должен занимать центральное положение в фокусе сенсора.

Экспериментальные значения углов были рассчитаны на основе данных, записанных сенсором движений Kinect 2.0. Они представляют собой массив декартовых координат искомым элементов. Для каждого квантового отсчета по времени строится свой массив координат. В таблице 2 представлены случаи сопоставления расчетных и распознанных углов для упражнения «Наклон головы на 45° » [8, 9].

Таблица 2

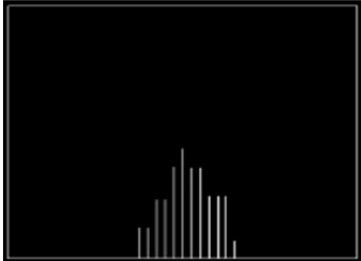
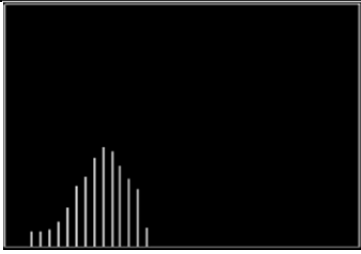
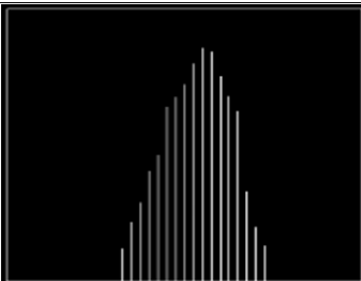
Расчетные и распознанные данные (упражнение «Наклон головы 45° »)

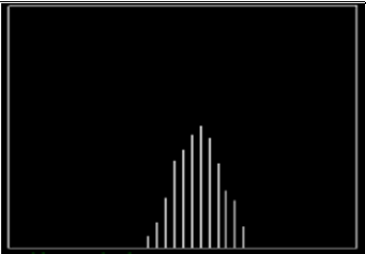
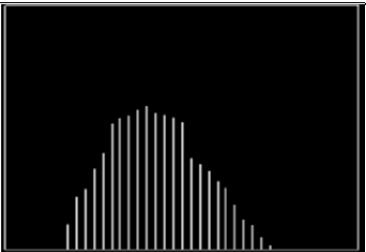
Номер измерения	1	2	3	4	5
Экспериментальное значение углов, град	42	41,5	50	42,5	46
Реальное значение углов, град	45	45	45	45	45

В таблице 3 представлена визуализация полученных значений.

Таблица 3

Значение угла и визуализированное представление полученных результатов

Значение углов, град.	Графики распознавания: x — время, y — изменение угла	Максимальная амплитуда графика, мм
42		25
41,5		24
50		45

42,5			45
46			31

В ходе исследования проанализированы заболевания, последствия которых ведут к нарушению кровообращения головного мозга, а также рассмотрены методики реабилитации и виды реабилитирующих тренажеров, разработана БТС, создана математическая модель, создан макет и получены экспериментальные данные о точности распознавания движений. Полученные в ходе исследования данные показали, что разработанная БТС для восстановления двигательной активности пациента может контролировать процесс реабилитации, измерять углы наклона элементов модели при выполнении движений с точностью $\pm 7^\circ$ (данная точность согласуется с данными для обучения пациентов) и оценивать процесс восстановления двигательной активности. Представленная для восстановления двигательной активности БТС доступна для использования в домашних условиях.

Литература

- [1] Кузнецова С.М. *Возможности реабилитации больных с нарушением мозгового кровообращения*. URL: <https://www.health-ua.org/faq/nevrologiya/1498.html> (дата обращения 23.01.2017).
- [2] *Лечебная физкультура при нарушении мозгового кровообращения. Этапы*. URL: <http://medbe.ru/materials/lechebnaya-fizkultura/lechebnaya-fizkultura-pri-narushenii-mozgovogo-krovoobrascheniya-etapy/> (дата обращения 23.01.2017).
- [3] *Нарушения мозгового кровообращения*. URL: http://doktorland.ru/narusheniya_mozgovogo_krovoobrascheniya.html (дата обращения 24.01.2017).
- [4] *Тренажеры для реабилитации после инсульта*. URL: <http://medinsult.ru/vosstanovlenie/trenazhery-posle-insulta.html> (дата обращения 16.07.2017).
- [5] Степанкевич В.Ю., Аполлонова И.А. Разработка биотехнической системы для реабилитации больных с нарушением кровообращения головного мозга. *Молодежный научно-технический вестник*, 2016, № 7. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/842534.html>.

[6] Нехина А.А., Князев Б.А., Кашапова Л.Х., Спиридонов И.Н. Использование онтологической модели знаний и программных средств сенсора Kinect описания позирования человека. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2012, № 12, с. 54–60.

[7] Спиридонов И.Н. Биометрические технологии идентификации личности и безопасность государства. *Евразийский форум «Инфофорум-Евразия»*, т. 57. Москва, 2011, с. 25–30.

[8] Степанкевич В.Ю., Аполлонова И.А. Разработка аппаратно-программных средств для восстановления двигательной функции людей с нарушением кровообращения головного мозга. *Молодежный научно-технический вестник*, 2016, № 6.

URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/842215.html>.

[9] Нехина А.А. Разработка автоматизированной системы измерения двигательной активности тела человека. *Молодежный научно-технический вестник*, 2012, № 7.

URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/467270.html>.

Степанкевич Вячеслав Юрьевич — магистрант кафедры «Медико-технический менеджмент», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — И.А. Аполлонова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Медико-технический менеджмент», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

BIOTECHNICAL SYSTEM DEVELOPMENT FOR REHABILITATION OF PATIENTS WITH BRAIN CIRCULATION DISTURBANCES

V.Yu. Stepankevich

stepankevitch2015@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study examined the causes of circulatory disturbances in the brain, their consequences and methods of rehabilitation. We analyzed some modern methods and technical means for rehabilitating patients and described characteristics of a simulator that facilitates restoration of the patient's motor activity and lost skills. Moreover, we developed an algorithm for patients rehabilitation and a mathematical model of the system operation. Finally, we tested the proposed system and proved its operability.

Keywords

Circulatory disturbances of the brain, rehabilitation methods, lost skills, diagnostics and skills training, rehabilitation algorithm

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Kuznetsova S.M. Vozmozhnosti reabilitatsii bol'nykh s narusheniem mozgovogo krovoobrashcheniya [Rehabilitation possibilities for patients with cerebral circulation disorder]. Available at: <https://www.health-ua.org/faq/nevrologiya/1498.html> (accessed 23.01.2017).
- [2] Lechebnaya fizkul'tura pri narushenii mozgovogo krovoobrashcheniya. Etapy [Remedial gymnastics for cerebral circulation disorder]. Available at: <http://medbe.ru/materials/lechebnaya-fizkultura/lechebnaya-fizkultura-pri-narushenii-mozgovogo-krovoobrashcheniya-etapy/> (accessed 23 January 2017).
- [3] Narusheniya mozgovogo krovoobrashcheniya [Cerebral circulation disorder]. Available at: http://doktorland.ru/narusheniya_mozgovogo_krovoobrascheniya.html (accessed 24.01.2017).
- [4] Trenazhery dlya reabilitatsii posle insul'ta [Training device for rehabilitation after insult]. Available at: <http://medinsult.ru/vosstanovlenie/trenazhery-posle-insulta.html> (accessed 16.07.2017).
- [5] Stepankevich V.Yu. Apollonova I.A. Development of bio-technical scheme for patients with cerebral circulation disorder rehabilitation. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskii vestnik*, 2016, no. 7. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/842534.html>.
- [6] Nekhina A.A., Knyazev B.A., Kashapova L.Kh., Spiridonov I.N. Applying an ontology approach and Kinect SDK to human posture description. *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics], 2012, no. 12, pp. 54–60.
- [7] Spiridonov I.N. Biometricheskie tekhnologii identifikatsii lichnosti i bezopasnost' gosudarstva [Biometric technologies of person identification and homeland security]. *Evraziyskiy forum "Infoforum-Evraziya"* [Eurasian forum "Infoforum-Evraziya"], vol. 57. Moscow, 2011, pp. 25–30.
- [8] Stepankevich V.Yu., Apollonova I.A. Hardware and software development for motor function rehabilitation of people with cerebral circulation disorder. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskii vestnik*, 2016, no. 6. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/842215.html>.

[9] Nekhina A.A. Development of automated system for measuring human body physical activity. *Molodezhnyy nauchno-tehnicheskiy vestnik*, 2012, no. 7. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/467270.html>.

Stepankevich V.Yu. — Master's Degree student, Department of Medical and Technical Management, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — I.A. Apollonova, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Medical and Technical Management, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.