

## **Роботизированная механотерапия у детей с двигательными нарушениями различного генеза**

**В.Б. Войтенков<sup>1</sup>, Н.В. Скрипченко<sup>1</sup>, М.В. Иванова<sup>1</sup>, Н.Ф. Пульман<sup>1</sup>, А.В. Минькин<sup>2</sup>,  
А.В. Войтенкова<sup>2</sup>, И.В. Шведовченко<sup>2,3</sup>**

### **Robotic mechanotherapy in children with motor disorders of different genesis**

**V.B. Voitenkov<sup>1</sup>, N.V. Skripchenko<sup>1</sup>, M.V. Ivanova<sup>1</sup>, N.F. Pul'man<sup>1</sup>, A.V. Min'kin<sup>2</sup>,  
A.V. Voitenkova<sup>2</sup>, I.V. Shvedovchenko<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт детских инфекций»  
Федерального медико-биологического агентства,

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Санкт-Петербургский научный центр экспертизы, протезирования и реабилитации им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России,

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

В обзоре литературных данных рассматривается современное направление нейрореабилитации – роботизированная механотерапия в приложении к пациентам детского возраста. Показано, что роботизированная механотерапия является эффективной и безопасной в применении у пациентов данной возрастной группы. Безопасность методики продемонстрирована в ряде работ. Основным механизмом эффективности данной методики является активация нейропластичности. Рассматриваются преимущества и недостатки наиболее перспективных приборов для проведения роботизированной механотерапии. Недостатком работ, посвященных оценке эффективности применения роботизированной механотерапии у детей, является отсутствие контроля и объективной оценки изменения функционирования моторной системы, с превалированием клинического суждения.

**Ключевые слова:** нейрореабилитация, роботизированная механотерапия, дети.

The work deals with the modern trend in neurorehabilitation – robotic mechanotherapy applied to pediatric patients, based on the review of the literature. Robotic mechanotherapy demonstrated to be efficient and safe when used in patients of this age-related group. The technique safety demonstrated in some works. Neuroplasticity activation seems to be the main mechanism of the technique efficiency. The advantages and disadvantages of the most promising devices for robotic mechanotherapy use considered. The lack of control and objective evaluation of the change in the motor system functioning with clinical assessment prevalence is the disadvantage of the works related to evaluating the efficiency of using robotic mechanotherapy in children.

**Keywords:** neurorehabilitation, robotic mechanotherapy, children.

Заболелания и травмы центральной и периферической нервной системы у детей в современных условиях не имеют тенденции к снижению, степень же инвалидизации после них остается высокой [11]. У детей с ДЦП отмечается пониженная мотивация к участию в нейрореабилитационных мероприятиях, которая особенно сильно проявляется при продолжительной реабилитации, что требует применения более эффективных высокотехнологических методов лечения [24]. Терапевтических методик восстановления нервной ткани непосредственно в месте очагового поражения головного мозга в настоящий момент не существует, однако некоторые виды вмешательств могут ограничить распространенность поражения и повысить качество жизни пациентов (Trivedi et al., 2008). Методики нейрореабилитации, не воздействуя непосредственно на очаг поражения, способны активировать процессы нейропластичности – адаптации ЦНС и перестройки моторной коры и перераспределения прочих функций в границах интактной ткани мозга [5].

Нейропластичность – широкое понятие, включающее реорганизацию нервной системы на разных уровнях, от молекулярного и клеточного до системного и поведенческого, которое может развиваться как ответ на условия среды, обучение и тренировки, этапы заболевания и терапии [20]. Нейропластичность включает в себя нейрогенез, синаптогенез и молекулярную адаптацию. Изменения, вызванные физическими упражнениями, выявляются в моторной коре, базальных ганглиях,

красном ядре и мозжечке, а также спинном мозге [13]. Нейропластичность заключается в образовании новых нейронных сетей взамен утраченных при развитии моторного дефекта. На клеточном уровне наблюдаются увеличение количества дендритов, рост плотности синапсов. Нейрофизиологически выявляется изменение моторных карт и изменение проведения по основным моторным путям [25].

Моторный дефект у пациентов, как предполагается, обусловливается аксональным поражением и валлеровской дегенерацией, демиелинизирующие нарушения клинически значимых двигательных нарушений, как правило, не дают [32]. Ремиелинизация, как следствие нейропластических изменений, не ведет к восстановлению погибших нейронов, но облегчает функционирование сохранившихся вследствие улучшения проведения по основным путям ЦНС [31]. Детский организм обладает повышенной способностью к ремиелинизации по сравнению с таковой у взрослых, что обеспечивает повышенную эффективность нейрореабилитации у детей [20]. Наибольший потенциал к реорганизации на уровне полушарий с перемещением функций в контралатеральную сторону наблюдается у детей в возрасте до 6 лет [19].

Нейропластичность не ограничивается корковыми механизмами. Имеются сведения о наличии спинальных систем обеспечения ходьбы, независимых от моторной коры [22]. В этой связи важным при реабилитационных мероприятиях является обеспечение

вертикализации пациентов или моделирование давления веса тела на стопы с целью обеспечения притока восходящих соматосенсорных импульсов; считается, что клиническое улучшение может быть обусловлено за счет активации проведения по соматосенсорным путям [34]. Нейропластические изменения в моторной коре протекают значительно активнее при освоении новых задач и комплексов упражнений, чем при повторении уже хорошо известных [33].

Нейрореабилитация, помимо прочих своих задач, связана с двигательным переобучением, выполнением активных движений с определенной моторной задачей с многократным повторением тренировок, желательно проводимых с использованием биологической обратной связи [9].

Начало прошлого века ознаменовало собой расцвет физиотерапии и лечебной физкультуры, в первую очередь это было связано с эпидемией полиомиелита [23]. Существует классификация симптомов поражения верхнего мотонейрона с подразделением их на позитивные и негативные. К первым относятся нарушения рефлексов и спастичность, в то время как к негативным симптомам относят парезы [18]. В течение продолжительного времени основные усилия при нейрореабилитации были направлены на терапию спастичности. Вмешательства включают применение препаратов и методик, подавляющих спастичность, таких как баклофен, ботулотоксин, различные хирургические вмешательства. Начиная с 50-х годов XX века активно применяются методики воздействия на негативные симптомы, с попытками терапии парезов. Применяются фасилитационные техники быстрого растяжения, тракций, локальной и общей вибрации, локального кратковременного охлаждения и широкий спектр методик электростимуляции [23]. В последние годы в реабилитационных целях все шире используются аппаратные воздействия с проведением роботизированной механотерапии.

Приборы роботизированной механотерапии механически изменяют подвижность суставов и состояние мышц конечностей и туловища, действуя по определенной программе. Применение автоматизированной техники позволяет повысить интенсивность проводимой терапии без привлечения дополнительного персонала; качество оказываемой помощи остается неизменным по времени; это экономически оправдывает затраты на приобретение приборов роботизированной механотерапии [29].

Систематический обзор применения роботизированной механотерапии в восстановлении походки у взрослых показал, что она эффективна при последствиях инсульта, поражении спинного мозга, рассеянном склерозе и последствиях ЧМТ [37].

Существует большое количество приборов роботизированной механотерапии; некоторые сочетают собственно терапевтическую часть с широким спектром виртуальной реальности, позволяющей увлечь пациента детского возраста и вызвать интерес к процессу реабилитации; работы, в которых приводится описание подобных аппаратов, иногда включают малое количество пациентов – отдельные случаи или малые серии клинических случаев [39].

Одним из наиболее широко используемых в нейро-

реабилитационной практике аппаратов роботизированной механотерапии является прибор Lokomat. Принцип работы устройства заключается в использовании специальных ортезов и движении ног пациента в сагиттальной плоскости.

Эффективность терапии с помощью прибора Lokomat показана при различных формах ДЦП у детей [27, 36]. В частности, применение данной системы у детей эффективно в ранний период реабилитации после ортопедического оперативного вмешательства: селективной дорзальной ризотомии, миотомии, ахиллопластики [7]. Терапия на аппарате Lokomat у детей более эффективна при легких формах ДЦП, применение ее при тяжелых и средней степени тяжести формах демонстрирует меньшую действенность [14]. Также показано, что эффективность терапии у детей с последствиями спинномозговых грыж выше, чем у детей с ДЦП [2]. Основными наблюдаемыми результатами во всех описываемых случаях было улучшение походки, увеличение мышечной силы и объема движений в нижних конечностях; в части случаев, при наличии миографического контроля эффективности терапии, регистрировалось повышение амплитуды интерференционной кривой.

При осуществлении попыток повышения эффективности терапии на аппарате Lokomat показано, что включение в процесс лечения положительной обратной связи с визуальным представлением движений, степени их правильности и достаточности пациенту достоверно повышает эффективность механотерапии [17]. Также она повышается при сочетании комплекса Lokomat с эпидуральной электростимуляцией; по мнению некоторых авторов, применение подобного сочетания увеличивает эффективность нейрореабилитации в 1,5-2 раза [10]. Проведение этой методики требует нейрохирургического вмешательства с имплантацией эпидуральных и эпинеуральных электродов. Применение транскраниальной электростимуляции также, согласно некоторым сообщениям, увеличивает эффективность нейрореабилитации с помощью роботизированной механотерапии [8].

Недостатком терапии с помощью прибора Lokomat является отсутствие движения ног пациента в каких-либо других плоскостях, кроме сагиттальной. Кроме того, повышение эффективности нейрореабилитации с помощью электростимуляции требует, как видно из приведенных выше работ, использования дополнительных приборов либо оперативного вмешательства [9]. Ценность электростимуляции во время физической нагрузки при проведении нейрореабилитационных мероприятий показана у детей с ДЦП и взрослых с гемипарезами после ОНМК [4]. Важность проведения электростимуляции во время движения в условиях напряжения мышцы обуславливается активацией при нем восходящих афферентных влияний, что приводит к повышению взаимодействия верхнего и нижнего мотонейронов в момент стимуляции [1]. Данный феномен хорошо известен в нейрофизиологической практике при изучении периода молчания при транскраниальной магнитной стимуляции и фасилитации вызванного моторного ответа [3].

Разработанный недавно комплекс роботизированной механотерапии MotionMaker сочетает про-

граммируемую ходьбу в ортезах и функциональную электрическую стимуляцию мышц [34, 40]. Важной особенностью прибора является его оснащение сенсорными датчиками положения и усилия, компьютерной системой расчета потребной для реабилитационного вмешательства нагрузки и системой биологической обратной связи [27].

О применении одного из самых современных приборов роботизированной терапии существует ограниченное количество сообщений. Известно, что терапия с помощью аппаратного комплекса MotionMaker была эффективна у взрослых при поражении спинного мозга [34]. Прибор безопасен в клинической практике как со стороны механической системы, так и сенсорного аппарата и электрической стимуляции [16]. Согласно ряду клинических наблюдений, терапия на приборе MotionMaker активизирует нейропластичность моторной коры и поясничного утолщения спинного мозга [21, 27]. Считается, что аппарат наиболее эффективен при начале нейрореабилитации в раннем периоде восстановления [35]. Описан выраженный положительный

клинический эффект применения аппарата у взрослых пациентов с нижней параплегией вследствие спинального повреждения (увеличение объема движений, повышение амплитуды интерференционной кривой) [27]. Встроенная ЭМГ-система прибора эффективна в выявлении мышечных спазмов [28]. Прибор MotionMaker является первым в системе нейрореабилитационного лечения, после достижения положительных результатов на этом аппарате пациент может переходить на терапию с помощью прибора Walktrainer, позволяющего осуществлять стимуляцию в амбулаторном режиме [16, 35]. Сообщается о возможности совмещения в одном комплексе приборов MotionMaker и Walktrainer [26]. Показана клиническая эффективность терапии аппаратом MotionMaker пациентов детского возраста с последствиями вирусных энцефалитов и ДЦП [6, 12].

Данных о контролируемых исследованиях эффективности терапии с помощью аппарата MotionMaker в доступном объеме литературы нет; проведение работ такого рода относится к актуальным для современной нейрореабилитации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Роботизированная механотерапия является эффективной современной методикой нейрореабилитации, показавшей свою эффективность при широком спектре заболеваний у детей. Наиболее изученным является ее применение при ДЦП; применение данной методики при других типах поражения нервной системы, в частности, последствиях нейроинфекций, исследовано мало. Общим недостатком большого числа работ, проведенных с применением роботизированной механотерапии у детей, является отсутствие групп контроля. При их наличии часто сравнение проводится с груп-

пами, не получавшими нейрореабилитации. Подавляющее большинство работ приводит лишь клиническое суждение без какой-либо объективизации с помощью методик дополнительной диагностики. В тех случаях, когда объективизация проводится, она ограничивается методикой поверхностной ЭМГ. Таким образом, исследование эффективности роботизированной механотерапии с применением методик объективной оценки проведения по моторным путям (в первую очередь, транскраниальной магнитной стимуляции) является актуальным для современной нейрореабилитации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баев К.В. Нейронные механизмы программирования спинным мозгом ритмических движений. Киев, 1984. 156 с.  
*Baev K.V. Neironnye mekhanizmy programmirovaniia spinnym mozgom ritmicheskikh dvizhenii [Neuronal mechanisms of rhythmic movement programming by spinal cord]. Kiev, 1984. 156 s.*
2. Реабилитация детей с нейроортопедической патологией на этапах хирургического лечения с применением роботизированной механотерапии / А.Г. Баннандурашвили, В.М. Кенис, С.В. Иванов, Г.А. Икоева // Вестн. восстанов. медицины. 2012. № 2. С. 57-60.  
*Reabilitatsiia detei s neuroortopedicheskoj patologiei na etapakh khirurgicheskogo lecheniia s primeneniem robotizirovannoi mekhanoterapii [Rehabilitation of children with neuroorthopaedic pathology at the stages of surgical treatment using robotic mechanotherapy] / A.G. Baidurashvili, V.M. Kenis, S.V. Ivanov, G.A. Ikoeva // Vestn. vosstanov. meditsiny. 2012. N 2. S. 57-60.*
3. Войтенков В.Б., Киселева Л.Н., Карташев А.В. Исследование влияния дельта-сон индуцирующего пептида на процессы центрального торможения у человека // Врач-аспирант. 2012. Т. 52, № 3.2. С. 290-294.  
*Voitenkov V.B., Kiseleva L.N., Kartashev A.V. Issledovanie vliianiia del'ta-son indutsiruiushchego peptida na protsessy tsentral'nogo tormozheniia u cheloveka [Studying the effect of delta sleep-inducing peptide on the processes of human central suppression] // Vrach-aspirant. 2012. T. 52, N 3.2. S. 290-294.*
4. Доценко В.И., Куренков А.Л., Кочетков А.В. Теоретическое обоснование и практическое использование технологии функциональной программируемой электромиостимуляции в ходьбе неврологических больных // Вестн. восстанов. медицины. 2012. № 2. С. 21-28.  
*Dotsenko V.I., Kurenkov A.L., Kochetkov A.V. Teoreticheskoe obosnovanie i prakticheskoe ispol'zovanie tekhnologii funktsional'noi programmirovemoi elektromiostimulatsii v khod'be nevrologicheskikh bol'nykh [Theoretical substantiation and practical using the technology of functional programmed electrical stimulation in neurologic patients' walking] // Vestn. vosstanov. meditsiny. 2012. N 2. S. 21-28.*
5. Живолупов С.А., Самарцев И.Н. Нейропластичность: патофизиологические аспекты и возможности терапевтической модуляции // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2009. Т. 109, № 4. С. 78-85.  
*Zhivolupov S.A., Samartsev I.N. Neuroplastichnost': patofiziologicheskie aspekty i vozmozhnosti terapevticheskoi modulatsii [Neuroplasticity: pathophysiological aspects and the potential of therapeutic modulation] // Zhurn. nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova. 2009. T. 109, N 4. S. 78-85.*
6. Современные возможности реабилитации детей с двигательными нарушениями различного генеза / М.В. Иванова, Н.Ф. Пульман, В.Б. Войтенков, Н.В. Скрипченко, И.Г. Самойлова // Актуальные вопросы спортивной медицины и медицинской реабилитации. Решма, 2013. С. 82-85.  
*Sovremennye vozmozhnosti reabilitatsii detei s dvigatel'nyimi narusheniami razlichnogo geneza [Modern possibilities of rehabilitation of children with motor disorders of different genesis] / M.V. Ivanova, N.F. Pul'man, V.B. Voitenkov, N.V. Skripchenko, I.G. SamoiloVA // Aktual'nye voprosy sportivnoi meditsiny i meditsinskoj reabilitatsii. Reshma, 2013. S. 82-85.*

7. Икочева Г. А., Кивоенко О. И., Полозенко О. Д. Роботизированная механотерапия в реабилитации детей с церебральным параличом после комплексного ортопедо-хирургического лечения // Неврология и нейрохирургия детского возраста. 2012. № 4 (34). С. 32-36.  
*Ikocheva G. A., Kivoenko O. I., Polozenko O. D. Robotizirovannaja mekhanoterapija v reabilitatsii detei s tserebral'ny'm paralichom posle kompleksnogo ortopedo-khirurgicheskogo lechenija [Robotic mechanotherapy in rehabilitation of children with cerebral palsy after complex orthopaedic-and-surgical treatment] // Nevrologija i neirokhirurgija detskogo vozrasta. 2012. N 4 (34). S. 32-36.*
8. Транскраниальная церебральная электростимуляция в сочетании с роботизированной механотерапией / Е. А. Канкулова, В.Д. Даминов, Е.В. Зимица, А.Н. Кузнецов // Доктор.ру. 2010. № 8 (59). С. 48-54.  
*Transkranial'naja tserebral'naja elektrostimuljatsija v sochetanii s robotizirovannoi mekhanoterapiej [Transcranial cerebral electrical stimulation combined with robotic mechanotherapy] / E. A. Kankulova, V.D. Daminov, E.V. Zimina, A.N. Kuznetsov // Doktor.ru. 2010. N 8 (59). S. 48-54.*
9. Макарова М.Р., Лядов К.В., Кочетков А.В. Тренажерные аппараты и устройства в двигательной реабилитации неврологических больных // Доктор.ру. 2012. № 10. С. 54-62.  
*Makarova M.R., Ljadov K.V., Kochetkov A.V. Trenazhernye apparaty i ustrojstva v dvigatel'noi reabilitatsii nevrologicheskikh bol'nykh [Physical exercise devases and equipment in motor rehabilitation of neurologic patients] // Doktor.ru. 2012. N 10. S. 54-62.*
10. Мещерягина И.А., Рябых С.О., Россик О.С. Применение прямой элестростимуляции и механотерапии на программном комплексе «Локонат» у больных с неврологическим дефицитом // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2013. Т. 93, № 5. С. 64-68.  
*Meshcheriagina I.A., Riabykh S.O., Rossik O.S. Primenenie priamoj eletrostimuljatsii i mekhanoterapii na programnom komplekse «Lokomat» u bol'nykh s nevrologicheskim defitsitom [Direct electrical stimulation and mechanotherapy using "Lokomat" software in patients with neurologic deficit] // Biulleten' VSNtS SO RAMN. 2013. T. 93, N 5. S. 64-68.*
11. Актуальные проблемы инфекционных заболеваний нервной системы у детей / Н.В. Скрипченко, М.В. Иванова, Г.П. Иванова, В.Н. Команцев // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2007. Т. 86, № 1. С. 111-113.  
*Aktual'nye problemy infekcionnykh zabolevanii nervnoj sistemy u detei [Pressing problems of infection diseases of the nervous system in children] / N.V. Skripchenko, M.V. Ivanova, G.P. Ivanova, V.N. Komantsev // Pediatrija. Zhurnal im. G.N. Speranskogo. 2007. T. 86, N 1. S. 111-113.*
12. Шведовченко И.В., Минькин А.В., Герасимова Г.В. Оценка эффективности механотерапии с помощью транскраниальной магнитной стимуляции // Клини. нейрофизиология. 2013. С. 66-67.  
*Shvedovchenko I.V., Min'kin A.V., Gerasimova G.V. Otsenka effektivnosti mekhanoterapii s pomoshch'ju transkranial'noi magnitnoi stimuljatsii [Evaluation of mechanotherapy efficiency using transcranial magnetic stimulation] // Klin. neurofiziologija. 2013. S. 66-67.*
13. Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord / D.L. Adkins, J. Boychuk, M.S. Remple, J.A. Kleim // J. Appl. Physiol. 2006. Vol. 101, No 6. P. 1776-1782.
14. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy / I. Borggraeve, J.S. Schaefer, M. Klaiber, E. Dabrowski, C. Ammann-Reiffer, B. Knecht, S. Berweck, F. Heinen, A. Meyer-Heim // Eur. J. Paediatr. Neurol. 2010. Vol. 14, No 6. P. 496-502.
15. The WalkTrainer™: a robotic system for walking rehabilitation / M. Bouri, Y. Stauffer, C. Schmitt, Y. Allemand, S. Gnemmi, R. Clavel, P. Metrailler, R. Brodard // ROBIO '06: IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Kunming, China, 2006. P. 1616-1621.
16. Bouri M., Clavel R. Risk analysis of a rehabilitation medical robot. IMT-2011. Lausanne, 2011. P. 348.
17. Virtual reality for enhancement of robot-assisted gait training in children with central gait disorders / K. Brütsh, A. Koenig, L. Zimmerli, S. Méritat-Koenke, R. Riener, L. Jäncke, H.J. van Hedel, A. Meyer-Heim // J. Rehabil. Med. 2011. Vol. 43, No 6. P. 493-499.
18. Burke D. Spasticity as an adaptation to pyramidal tract injury // Adv. Neurol. 1988. Vol. 47. P. 401-23.
19. Chen R., Cohen L.G., Hallett M. Nervous system reorganization following injury // Neuroscience. 2002. Vol. 111, No 4. P. 761-773.
20. Harnessing neuroplasticity for clinical applications / S.C. Cramer, M. Sur, B.H. Dobkin, C. O'Brien, T.D. Sanger, J.Q. Trojanowski, J.M. Rumsey, R. Hicks, J. Cameron, D. Chen, W.G. Chen, L.G. Cohen, C. de Charms, C.J. Duffy, G.F. Eden, E.E. Fetz, R. Filart, M. Freund, S.J. Grant, S. Haber, P.W. Kalivas, B. Kolb, A.F. Kramer, M. Lynch, H.S. Mayberg, P.S. McQuillen, R. Nitkin, A. Pascual-Leone, P. Reuter-Lorenz, N. Schiff, A. Sharma, L. Shekim, M. Stryker, E.V. Sullivan, S. Vinogradov // Brain. 2011. Vol. 134, No. 6. P. 1591-1609.
21. Diaz I., Gil J.J., Sanchez E. Lower-Limb robotic rehabilitation: literature review and challenges // Journal of Robotics. 2011. Vol. 20. P. 1-12.
22. Use-dependent plasticity in spinal stepping and standing / V.R. Edgerton, R.D. de Leon, N. Tillakaratne, M.R. Recktenwald, J.A. Hodgson, R.R. Roy // Adv. Neurol. 1997. Vol. 72. P. 233-247.
23. Galea M.P. Physical modalities in the treatment of neurological dysfunction // Clin. Neurol. Neurosurg. 2012. Vol. 114, No 5. P. 483-488.
24. Level of motivation in mastering challenging tasks in children with cerebral palsy / A. Majnemer, M. Shevell, M. Law, C. Pulin, P. Rosenbaum // Dev. Med. Child. Neurol. 2010. Vol. 52, No 12. P. 1120-1126.
25. Mattson M.P. Evolutionary aspects of human exercise – born to run purposefully // Ageing Res. Rev. 2012. Vol. 11, No 3. P. 347-352.
26. Advanced Hybrid Technology for Neurorehabilitation: The HYPER Project / A.D. Mauro, E. Carrasco, D. Oyarzun, A. Ardanza, A. Frizzera-Neto, D. Torricelli, J.L. Pons, A.G. Agudo, J. Florez // Advances in Robotics and Virtual Reality. 2012. Vol. 26, No 1. P. 89-108.
27. Cyberthosis™: Rehabilitation Robotics with Controlled Electrical Muscle Stimulation / P. Métrailler, R. Brodard, Y. Stauffer, R. Clavel // Rehabilitation Robotics / Ed. by S.S. Kommu. Vienna, 2007. P. 648.
28. Improvement of rehabilitation possibilities with the MotionMaker TM / P. Metrailler, V. Blanchard, I. Perrin, R. Brodard // Biomedical Robotics and Biomechanics, 2006. P. 359-364.
29. Feasibility of robotic-assisted locomotor training in children with central gait impairment / A. Meyer-Heim, I. Borggräfe, C. Ammann-Reiffer, S. Berweck, F.H. Sennhauser, G. Colombo, B. Knecht, F. Heinen // Dev. Med. Child. Neurol. 2007. Vol. 49, No 12. – P. 900-906.
30. Meyer-Heim A., van Hedel H.J. Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: current state and clinical implementation // Semin. Pediatr. Neurol. 2013. Vol. 20, No. 2. P. 139-145.
31. Peterson L.K., Fujinami R.S. Inflammation, demyelination, neurodegeneration and neuroprotection in the pathogenesis of multiple sclerosis // J. Neuroimmunol. 2007. Vol. 184, No. 1-2. P. 37-44.
32. Water diffusion changes in Wallerian degeneration and their dependence on white matter architecture / C. Pierpaoli, A. Barnett, S. Pajevic, R. Chen, L.R. Penix, A. Virts, P. Basser // Neuroimage. 2001. Vol. 13, No 6. Pt. 1. P. 1174-1185.
33. Plautz E.J., Milliken G.W., Nudo R.J. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning // Neurobiol. Learn. Mem. 2000. Vol. 74, No 1. P. 27-55.
34. Movement analysis with a new robotic device – The MotionMaker™: A case report / F. Reynard, F. Gerber, C. Favre, A. Al-Khodairy // Gait & Posture. 2009. Vol. 30. – P. S149-S150.
35. The MotionMaker™: a rehabilitation system combining an orthosis with closed-loop electrical muscle stimulation / C. Schmitt, P. Métrailler, A. Al-Khodairy, R. Brodard, J. Fournier, M. Bouri, R. Clavel // Proceedings of the 8th Vienna International Workshop in Functional Electrical Stimulation. Vienna, Austria, 2004. P. 117-120.
36. Improved gait after repetitive locomotor training in children with cerebral palsy / N. Smania, P. Bonetti, M. Gandolfi, A. Cosentino, A. Waldner, S. Hesse, C. Werner, G. Bisoffi, C. Geroin, D. Munari // Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2011. Vol. 90, No 2. P. 137-149.
37. Efficacy of rehabilitation robotics for walking training in neurological disorders: a review / C. Tefertiller, B. Pharo, N. Evans, P. Winchester // J. Rehabil. Res. Dev. 2011. Vol. 48, No 4. P. 387-416.
38. Treatment-induced plasticity in cerebral palsy: a diffusion tensor imaging study / R. Trivedi, R.K. Gupta, V. Shah, M. Tripathi, R.K. Rathore, M.

- Kumar, C.M. Pandey, P.A. Narayana // *Pediatr. Neurol.* 2008. Vol. 39, No. 5. P. 341-349.
39. The New Jersey Institute of Technology Robot-Assisted Virtual Rehabilitation (NJIT-RAVR) system for children with cerebral palsy: a feasibility study / Q. Qiu, D.A. Ramirez, S. Saleh, G.G. Fluet, H.D. Parikh, D. Kelly, S.V. Adamovich // *J. Neuroeng. Rehabil.* 2009. Vol. 6. P. 40-44.
40. An adaptive RBF neural network control strategy for lower limb rehabilitation robot / F. Zhang, P. Li, Z.-G. Hou, X. Xie, Y. Chen, Qi. Li, M. Tan // *ICIRA 2010. Part 2. Vol. 6425. P. 417-427.*

Рукопись поступила 27.03.2014.

**Сведения об авторах:**

1. Войтенков Владислав Борисович – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт детских инфекций» Федерального медико-биологического агентства, заведующий отделением функциональных методов диагностики, и.о. руководителя отдела функциональных и лучевых методов диагностики, к. м. н., e-mail: vlad203@inbox.ru.
2. Скрипченко Наталья Викторовна – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт детских инфекций» Федерального медико-биологического агентства, заместитель директора по науке, д. м. н., з.д.н. РФ, профессор.
3. Иванова Марина Витальевна – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт детских инфекций» Федерального медико-биологического агентства, и.о. руководителя отдела нейроинфекций и органического поражения ЦНС, к. м. н.
4. Пульман Надежда Федоровна – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт детских инфекций» Федерального медико-биологического агентства, заведующая отделением нейроинфекций, к. м. н.
5. Минькин Александр Владимирович – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научный центр экспертизы, протезирования и реабилитации им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, заведующий 2-м детским отделением, к. м. н.
6. Войтенкова Анастасия Викторовна – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научный центр экспертизы, протезирования и реабилитации им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, клинический психолог.
7. Шведовченко Игорь Владимирович – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научный центр экспертизы, протезирования и реабилитации им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, директор; Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет, кафедра медицинской физики, д. м. н., профессор.