

Войтенков В.Б., Скрипченко Н.В., Иванова М.В., Пульман Н.Ф.,
Григорьев С.Г., Клишкин А.В.

Объективизация эффективности роботизированной механотерапии у детей с двигательными нарушениями различного генеза

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Научно-исследовательский институт детских инфекций Федерального медико-биологического агентства", 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 9

Проведена нейрофизиологическая оценка эффективности терапии с помощью аппарата роботизированной механотерапии (РМТ) MotionMaker у детей с двигательными нарушениями различного генеза с помощью диагностической транскраниальной магнитной стимуляции (ТКМС). Обследовано 20 пациентов детского возраста с двигательными нарушениями вследствие ДЦП, вирусного энцефалита и миелита. 14 детей получали РМТ, 6 — стандартную нейрореабилитацию. Всем проводилась диагностическая ТКМС до и после лечения. Показано, что после курса РМТ достоверно улучшается проведение по моторным путям, повышается функциональная активность мотонейронов коры и поясничного утолщения спинного мозга. Выявленные изменения могут быть обусловлены активацией процессов нейропластичности. Диагностическая ТКМС может быть рекомендована в качестве технологии объективной оценки эффективности реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: нейрореабилитация; роботизированная механотерапия; транскраниальная магнитная стимуляция; нейрофизиология; дети; энцефалит; миелит.

Для цитирования: Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2014; 13 (6): 44—47.

Voitenkov V.B., Skripchenko N.V., Ivanova M.V., Pul'man N.G., Grigor'ev S.G., Klimkin A.V.

THE OBJECTIVE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF ROBOT-ASSISTED MECHANOTHERAPY IN THE CHILDREN PRESENTING WITH LOCOMOTOR DISORDERS OF DIFFERENT ORIGIN

Federal state budgetary institution "Research Institute of Children's Infections" Russian Federal Medico-Biological Agency, Sankt-Peterburg

The objective of the present study was the neurophysiological assessment, by means of diagnostic transcranial magnetic stimulation (TCMS), of the effectiveness of the application of a MotionMarker apparatus for robotic mechanotherapy (RMT) of the children with locomotor disorders of different origin. A total of 20 children presenting with locomotor disorders due to infantile cerebral paralysis, viral encephalitis, and myelitis were involved in the study. Fourteen patients were given RMT and 6 ones conventional neural rehabilitation. All of them underwent TCMS before and after the treatment. It was shown that a course of robotic mechanotherapy significantly improved conductivity of conducting pathways, enhanced the functional activity of motor neurons in the cortex and lumbar enlargement of the spinal cord. The authors hypothesize that these changes may be due to the activation of the neuroplastic processes. It is concluded that diagnostic transcranial magnetic stimulation can be recommended as a technology for the objective evaluation of the effectiveness of the rehabilitative measures.

Key words: neurorehabilitation; robotic mechanotherapy; transcranial magnetic stimulation; neurophysiology; children; encephalitis; myelitis.

Citation: Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. 2014; 13 (6): 44—47. (in Russ.)

Заболеваемость и травматизм центральной и периферической нервной системы у детей в современных условиях не имеют тенденции к снижению, степень же инвалидизации после них остается высокой [1]. Ряд терапевтических вмешательств может ограничить распространение поражения головного и спинного мозга и повысить качество жизни пациентов [2]. Методики нейрореабилитации, без воздей-

ствия непосредственно на очаг поражения, способны активировать процессы нейропластичности [3].

Нейропластичность — явление, включающее реорганизацию нервной системы на разных уровнях, от молекулярного и клеточного до системного и поведенческого [4]. Нейропластичность включает в себя нейрогенез, синаптогенез и молекулярную адаптацию. Изменения, вызванные физическими упражнениями, выявляются в моторной коре, базальных ганглиях, красном ядре, мозжечке и на спинальном уровне. Нейропластичность заключается в образовании новых нейронных сетей взамен утраченных при развитии моторного дефекта. На клеточном уровне

Для корреспонденции: Войтенков Владислав Борисович, vlad203@inbox.ru.

For correspondence: Voytenkov Vladislav, vlad203@inbox.ru.

наблюдаются увеличение количества дендритов, рост плотности синапсов [5]. Нейропластичность не ограничивается корой головного мозга: описаны спинальные системы обеспечения ходьбы, независимые от моторной коры [6]. При реабилитационных мероприятиях важным является обеспечение вертикализации пациентов, либо моделирование давления веса тела на стопы, с целью обеспечения притока восходящих соматосенсорных импульсов [7]. Нейрореабилитация связана с двигательным переобучением, выполнении активных движений с определенной моторной задачей с повторением тренировок, проводимых с использованием биологической обратной связи [8].

В последние годы в реабилитационных целях все шире используются аппаратные воздействия с проведением роботизированной механотерапии (РМТ). Приборы роботизированной механотерапии механически изменяют подвижность суставов и состояние мышц конечностей и туловища, действуя по определенной программе.

Во время движения в условиях напряжения мышцы важно применять функциональную электростимуляцию, которая вызывает активацию восходящих афферентных влияний, что приводит к повышению взаимодействия верхнего и нижнего мотонейронов в момент стимуляции [9]. Недавно разработанный комплекс роботизированной механотерапии Motion Maker (Швейцария) сочетает программируемую ходьбу в ортезах и функциональную электрическую стимуляцию мышц [10]. Особенностью прибора является его оснащение сенсорными датчиками положения и усилия и системой биологической обратной связи [11].

Согласно ряду клинических наблюдений, терапия на приборе Motion Maker активизирует нейропластичность моторной коры и поясничного утолщения спинного мозга [6, 12]. Описано увеличение объема движений, повышение амплитуды интерференционной кривой при электромиографии у взрослых пациентов с нижней параплегией вследствие спинального повреждения [10]. У пациентов детского возраста показана клиническая эффективность терапии аппаратом Motion Maker при последствиях вирусных энцефалитов и ДЦП [13]. Недостатком работ, посвященных оценке эффективности применения РМТ у детей, является отсутствие контроля и объективной оценки изменения функционирования моторной системы с превалированием клинического суждения.

Данных о контролируемых и объективизируемых с помощью нейрофизиологических методик исследованиях эффективности терапии с помощью аппарата Motion Maker в доступном объеме литературы нет; проведение таких работ актуально для современной нейрореабилитации.

Цель исследования — объективно оценить эффективность терапии с помощью прибора РМТ с положительной обратной связью и функциональной электростимуляцией Motion Maker у детей с двигательными нарушениями различного генеза.

Материалы и методы

Обследовано 20 человек, из них 14 пациентов

основной группы, получавшие механотерапию (возраст детей от 10 до 15 лет, средний — 12 лет; 4 девочки, 10 мальчиков), и 6 пациентов группы сравнения, получавших стандартную нейрореабилитацию (возраст от 9 до 11 лет, средний — 11 лет; 3 девочки, 3 мальчика).

Основная группа пациентов была распределена следующим образом: последствия миелита — 3 человека, вирусных энцефалитов — 5, последствия ДЦП — 6. Группу сравнения составили 6 человек, из них последствия вирусных энцефалитов были у 2 человек, последствия ЧМТ — у 1, ДЦП — у 3.

Клинические у пациентов обеих групп преобладал нижний парапарез (18 пациентов), лево- или правосторонний гемипарез — 7. Наибольшую выраженность нижний парапарез имел у пациентов, перенесших миелит, который до степени плегии ни в одном случае не доходил.

Всем пациентам основной группы (группы механотерапии) проводилась терапия на аппарате РМТ Motion Maker, 10 сеансов. Пациентам группы сравнения проводились физиотерапия, массаж, лечебная физкультура.

Всем пациентам обеих групп до терапии и после нее проводилась диагностическая транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС). Использовался транскраниальный магнитный стимулятор Нейро-МСД (фирма "Нейрософт", Россия), стандартный кольцевой коилл 90 мм в диаметре. Для регистрации применялся миограф Нейро-МВП 4 (фирма "Нейрософт", Россия), чашечковые поверхностные электроды. Регистрировались вызванные моторные ответы (ВМО) с ног (*m. Abductor hallucis*). Регистрировались порог, латентность, амплитуда и форма ВМО, рассчитывалось время центрального моторного проведения (ВЦМП). Оценивалась асимметрия ВЦМП между сторонами с рук и ног.

Все пациенты либо их родители дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Статистический анализ и обработка полученных данных проводились с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics, версия 22. Уровень значимости *p*-значения был принят <0,05. По каждой группе просчитывались среднее арифметическое значение, стандартное отклонение, достоверность различия в основной группе критерием Стьюдента для связанных данных, в группе сравнения (вследствие малого объема выборки) критерием Вилкоксона. Вследствие нозологического разнообразия в группах показатели между группами не сравнивались, сравнение проводилось до и после терапии (РМТ в основной группе, стандартной нейрореабилитации — в группе сравнения).

Результаты

Побочных реакций и нежелательных явлений, отказа от проведения исследования не наблюдалось ни в одном случае.

Сводные результаты скоростей проведения по группам представлены в табл. 1.

Из представленных в таблице данных вид-

Таблица 1

Показатели скоростей проведения по моторным путям в группах, мс

Параметры	Лат ВМОк D	Лат ВМОк S	Лат ВМОс D	Лат ВМОс S	ВЦМП D	ВЦМП S
Исследование до курса терапии						
Группа РМТ	36,11 ± 7,43	36,69 ± 5,36	18,05 ± 2,84	19,18 ± 3,47	17,7 ± 7,1	17,11 ± 4,37
Группа сравнения	40,71 ± 7,11	37,3 ± 7	21,66 ± 5,22	20,3 ± 4,56	19,06 ± 2,54	16,96 ± 3,74
Исследование после курса терапии						
Группа РМТ	33,96 ± 4,94	34,39 ± 4,02*	19,53 ± 3,16	19,32 ± 2,94	14,92 ± 2,65	15,4 ± 2,13
Группа сравнения	39,05 ± 6,69	38,17 ± 5,62	21,75 ± 4,51	20,57 ± 4,11	17,3 ± 2,5	17,62 ± 2,02

Примечание. ЛатВМОк D — латентность кортикального вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis dexter*, ЛатВМОк S — латентность кортикального вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis sinister*, ЛатВМОс D — латентность сегментарного вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis dexter*, ЛатВМОс S — латентность сегментарного вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis sinister*; * — различия достоверны по сравнению с исследованием до терапии, $p < 0,05$.

но, что показатели группы сравнения достоверно не отличались после проведенной нейрореабилитации от таковых до лечения. В группе РМТ выявлено достоверное отличие по показателям проведения по левому моторному пути ($p < 0,05$), кроме того, по прочим показателям наблюдалась тенденция к улучшению по сравнению с полученными до лечения данными.

Сводные результаты по амплитудным показателям и порогам ВМО приведены в табл. 2.

На основании проведенного исследования (см. табл. 2) выявлено, что по амплитудным показателям и параметрам порога возникновения ВМО в основной группе везде наблюдалось достоверное улучшение после проведенного лечения, причем в случае амплитуд ВМО с правой стороны достоверность достигла значения $p < 0,01$. В группе сравнения по всем амплитудным параметрам наблюдалась положительная тенденция, не достигшая степени достоверности ни в одном случае. Пороги ВМО в группе сравнения никак не менялись по результатам проведенной терапии.

Обсуждение

Выявленные положительные изменения состояния моторных путей у детей в группе РМТ могут быть обусловлены рядом причин.

Порог ВМО отражает возбудимость мотонейро-

нов коры. Предполагается, что повышение порога ВМО обусловлено нарушением возбудимости их мембран [14]. Падение амплитуд ВМО патофизиологически может отражать два состояния мотонейронов: снижение их функциональной активности и уменьшение общего количества (нейродегенерацию). Нейрофизиологически различить эти два процесса практически невозможно, в обоих случаях наблюдается снижение амплитуды ВМО и повышение порога. Повышение амплитуды ВМО и понижение порога после относительно короткого курса РМТ не может быть обусловлено активной ремиелинизацией; в данном случае можно предполагать активацию нейропластичности и возникающее вследствие него повышение функциональной активности мотонейронов.

Ускорение проведения по моторным путям на центральном и периферическом участках в группе РМТ было умеренным и достигло степени статистической достоверности лишь по одному из 6 оценивавшихся параметров. Это также заставляет предполагать, что применение механотерапии (по крайней мере одного ее курса) не вызывает активной ремиелинизации. Проведение по моторным путям улучшается за счет функциональной перестройки моторных карт коры, повышения функциональной активности мотонейронов на всем протяжении моторного пути, в том числе альфа-мотонейронов. Их активация вследствие

Таблица 2

Показатели амплитуд и порогов вызванного моторного ответа в группах

Параметр	АмплВМОк D, мВ	АмплВМОк S, мВ	АмплВМОс D, мВ	АмплВМОс S, мВ	Порог D, %	Порог S, %
Исследование до курса терапии						
Группа РМТ	0,92 ± 0,68	0,94 ± 0,58	4,53 ± 2,76	3,14 ± 1,79	87,18 ± 10,6	83,43 ± 8,36
Группа сравнения	0,31 ± 0,21	0,79 ± 0,52	1,73 ± 0,97	3,42 ± 2,94	86,66 ± 11,5	93,33 ± 10,2
Исследование после курса терапии						
Группа РМТ	1,45 ± 0,7**	1,14 ± 0,67*	5,85 ± 2,42*	4,59 ± 2,75*	72,68 ± 21,7*	74,37 ± 19,8*
Группа сравнения	0,67 ± 0,51	0,95 ± 0,78	3,78 ± 3,23	3,79 ± 3,58	87,51 ± 10,4	92,5 ± 11,4

Примечание. АмплВМОк D — амплитуда кортикального вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis dexter*, АмплВМОк S — амплитуда кортикального вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis sinister*, АмплВМОс D — амплитуда сегментарного вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis dexter*, АмплВМОс S — амплитуда сегментарного вызванного моторного ответа с *m. Abductor Hallucis sinister*; * — различия достоверны по сравнению с исследованием до терапии, $p < 0,05$; ** — различия достоверны по сравнению с исследованием до терапии, $p < 0,01$.

нейропластических процессов описывается рядом авторов [3, 6, 15,]. В данном исследовании положительное влияние РМТ на спинальные мотонейроны подтверждается наблюдавшимся как справа, так и слева достоверным повышением амплитуд сегментарных ВМО.

Стандартные методики нейрореабилитации на данной выборке пациентов достоверного эффекта на состояние моторных путей не оказывали. Тем не менее на уровне тенденции повышение функциональной активности мотонейронов, в особенности на сегментарном уровне, зарегистрировано.

ТМС в условиях данного исследования показала свою безопасность, информативность и эффективность в объективной оценке эффективности применяемых нейрореабилитационных методик. Применение данного инструмента в дальнейшем может позволить обосновать практическую значимость и реальную эффективность различных методов лечения, что, учитывая высокую стоимость приборов, расходных материалов и большую продолжительность реабилитационных воздействий, имеет клиническое и медико-экономическое значение.

Выводы

1. РМТ достоверно улучшает показатели проведения по моторным путям у детей с двигательными нарушениями.

2. Скоростные показатели меняются в меньшей степени, чем амплитудные и параметры активности нейронов моторной коры.

3. Выявленные изменения могут быть обусловлены активацией процессов нейропластичности.

4. Диагностическая ТМС может быть рекомендована в качестве технологии объективной оценки эффективности реабилитационных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрипченко Н.В., Иванова М.В., Иванова Г.П., Команцев В.Н. и пр. Актуальные проблемы инфекционных заболеваний нервной системы у детей. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2007; 86 (1): 111—3.
2. Trivedi R., Gupta R.K., Shah V. et al. Treatment-induced plasticity in cerebral palsy: a diffusion tensor imaging study. *Pediatr. Neurol.* 2008; 39 (5): 341—9.
3. Живолупов С.А., Самарцев И.Н. Нейропластичность: патофизиологические аспекты и возможности терапевтической модуляции. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2009; 109 (4): 78—85.
4. Chen R., Cohen L., Hallett M. Nervous system reorganization following injury. *Neuroscience*. 2002; 111: 761—73.
5. Adkins D.L., Boychuk J., Remple M.S., Kleim J.A. Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord. *J. Appl. Physiol.* 2006; 101: 1776—82.
6. Diaz I., Gil J.J., Sanchez E. Lower-Limb robotic rehabilitation: literature review and challenges. *J. Robot.* 2011; 20: 1—12.
7. Plautz E.J., Milliken G.W., Nudo R J. Effects of repetitive motor training on movement representation in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol. Learn. Mem.* 2000; 74: 27—55.
8. Макарова М.Р., Лядов К.В., Кочетков А.В. Тренажерные аппараты и устройства в двигательной реабилитации неврологических больных. *Доктор.Ру*. 2012; 78 (10): 54—62.
9. Баев К.В. *Нейронные механизмы программирования спинным мозгом ритмических движений*. Киев: Наукова думка; 1984.
10. Schmitt C., Métrailler P., Al-Khodairy A. et al. The MotionMaker: a rehabilitation system combining an orthosis with closed-loop

- electrical muscle stimulation. In: *Proceedings of the 8th Vienna International Workshop in Functional Electrical Stimulation*. 2004: 117—20.
11. Mauro A., Carrasco E., Oyarzun D. et al. Advanced hybrid technology for neurorehabilitation: the HYPER Project. *Adv. Robot. Virtual Reality*. 2012; 26 (1): 89—108.
12. Métrailler P., Blanchard V., Perrin I., Brodard R. Improvement of rehabilitation possibilities with the MotionMaker TM. In: *Biomedical Robotics and Biomechanics*. Pisa; 2006: 359-64.
13. Иванова М.В., Пульман Н.Ф., Войтенков В.Б., Скрипченко Н.В., Самойлова И.Г. Современные возможности реабилитации детей с двигательными нарушениями различного генеза. *Актуальные вопросы спортивной медицины и медицинской реабилитации*. Иваново; 2013: 82—5.
14. Aminoff M.J. *Aminoff's Electrodiagnosis in clinical neurology*. 6th ed. Philadelphia: Saunders; 2012.
15. Доценко В.И., Куренков А.Л., Кочетков А.В. Теоретическое обоснование и практическое использование технологии функциональной программируемой электромиостимуляции в ходьбе неврологических больных. *Вестник восстановительной медицины*. 2012; 2: 21—8.

REFERENCES

1. Skripchenko N.V., Ivanova M.V., Ivanova G.P., Komantsev V.N. et al. Actual matters of infectious diseases of nervous system in children. *Pediatrya. Zhurnal imeni G.N. Speranskogo*. 2007; 86 (1): 111—3. (in Russian)
2. Trivedi R., Gupta R.K., Shah V. et al. Treatment-induced plasticity in cerebral palsy: a diffusion tensor imaging study. *Pediatr. Neurol.* 2008; 39 (5): 341—9.
3. Zhivolupov S.A., Samartsev I.N. *Neuroplasticity: pathophysiological patterns and perspectives of therapeutic modulation*. 2009; 109(4): 78—85. (in Russian)
4. Chen R., Cohen L., Hallett M. Nervous system reorganization following injury. *Zhurnal neurologii i psichiatrii im. S.S. Korsakova. Neuroscience*. 2002; 111: 761-73.
5. Adkins D.L., Boychuk J., Remple M.S., Kleim J.A. Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord. *J. Appl. Physiol.* 2006; 101: 1776-82.
6. Diaz I., Gil J.J., Sanchez E. Lower-Limb robotic rehabilitation: literature review and challenges. *J. Robot.* 2011; 20: 1—12.
7. Plautz E.J., Milliken G.W., Nudo R J. Effects of repetitive motor training on movement representation in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol. Learn. Mem.* 2000; 74: 27—55.
8. Makarova M.R., Lyadov K.V., Kochetkov A.V. The Role of Exercise Equipment and Devices in Motor Rehabilitation of Patients with Neurological Disorders. *Doctor.Ru*. 2012; 78 (10): 54—62. (in Russian)
9. Baev K.V. *Neuronal Mechanisms of Spinal Cord Programming of Rhythmic Movements [Neironnye mekhanizmy programmirovaniya spinnym mozgom ritmicheskikh dvizheniy]*. Kiev: Naukova Dumka; 1984. (in Russian)
10. Schmitt C., Métrailler P., Al-Khodairy A. et al. The MotionMaker: a rehabilitation system combining an orthosis with closed-loop electrical muscle stimulation. In: *Proceedings of the 8th Vienna International Workshop in Functional Electrical Stimulation*. 2004: 117—20.
11. Mauro A., Carrasco E., Oyarzun D. et al. Advanced hybrid technology for neurorehabilitation: the HYPER Project. *Adv. Robot. Virtual Reality*. 2012; 26 (1): 89—108.
12. Métrailler P., Blanchard V., Perrin I., Brodard R. Improvement of rehabilitation possibilities with the MotionMaker TM. In: *Biomedical Robotics and Biomechanics*. Pisa; 2006: 359—64.
13. Ivanova M.V., Pul'man N.F., Voytenkov V.B., Skripchenko N.V., Samoylova I.G. Modern possibilities of rehabilitation of children with motor impairment. In: *Actual Matters of Sports Medicine and Medical Rehabilitation*. Ivanovo; 2013: 82—5. (in Russian)
14. Aminoff M.J. *Aminoff's electrodiagnosis in clinical neurology*. Sixth ed. Philadelphia: Saunders; 2012.
15. Dotsenko V.I., Kurenkov A.L., Kochetkov A.V. Theoretical evidence and practical use of the technology of functional programmed electromyostimulation in the neurology patients walking. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny*. 2012; 2: 21-8. (in Russian)

Поступила 21.05.14

Received 21.05.14