

ПРИМЕНЕНИЕ НЕИНВАЗИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА В ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СООБЩЕНИЕ)

© С.В. Виссарионов^{1, 2}, И.Ю. Солохина¹, Г.А. Икоева^{1, 2}, А.Г. Баиндурашвили^{1, 2}

¹ ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург;

² ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург

Статья поступила в редакцию: 02.10.2017

Статья принята к печати: 20.11.2017

Введение. Позвоночно-спинномозговая травма и ее последствия представляют собой важную проблему современной медицины. В последние годы появились исследования, позволяющие использовать метод чрескожной электрической стимуляции у данной категории пациентов для воздействия на нейронные сети различных отделов спинного мозга с целью активации афферентных и эфферентных рефлекторных связей при полном или частичном нарушении супраспинальных влияний различного генеза.

Цель исследования — изучить влияние чрескожной электрической стимуляции спинного мозга на динамику восстановления неврологических функций у детей с позвоночно-спинномозговой травмой.

Материалы и методы. Обследованы 7 пациентов в возрасте от 4 до 18 лет с уровнем поражения спинного мозга от C₅-C₆ до Th₁₂-L₁ в период от 1 мес. до 9 лет после хирургического лечения преимущественно с выраженным неврологическим дефицитом. Всем пациентам проводили нейрофизиологические исследования: электронейромиографию, электромиографию, соматосенсорные вызванные потенциалы. Пациенты и их родители заполняли дневник мочеиспускания.

Результаты. Клиническое исследование показало, что метод чрескожной электрической стимуляции спинного мозга способствует наиболее быстрому и полноценному восстановлению неврологических функций у пациентов с вертебро-медуллярным конфликтом и его эффективность напрямую зависит от сроков хирургического вмешательства (раннее хирургическое лечение коррелирует с лучшими результатами).

Заключение. Полученные положительные результаты в комплексной реабилитации детей с позвоночно-спинномозговой травмой с применением неинвазивной чрескожной электрической стимуляции спинного мозга позволяют рекомендовать к использованию данную методику и осуществлять ее в ранние сроки после хирургического вмешательства.

Ключевые слова: чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ); позвоночно-спинномозговая травма (ПСМТ); неврологические нарушения; реабилитация; механотерапия.

APPLICATION OF NON-INVASIVE ELECTRIC STIMULATION OF THE SPINAL CORD IN MOTOR REHABILITATION OF CHILDREN WITH CONSEQUENCES OF VERTEBRAL AND CEREBROSPINAL INJURY (PRELIMINARY REPORT)

© S.V. Vissarionov^{1, 2}, I.Yu. Solokhina¹, G.A. Ikoeva^{1, 2}, A.G. Baindurashvili^{1, 2}

¹ The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia;

² North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

For citation: Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2017;5(4):48-52

Received: 02.10.2017

Accepted: 20.11.2017

Introduction. Vertebral and cerebrospinal injury and its consequences constitute an important problem in modern medicine. In recent years, studies have shown that percutaneous electric stimulation in patients with these injuries can influence the neuronal networks of different parts of the spinal cord to activate afferent and efferent reflex connections with complete or partial disorders of supraspinal influences of various geneses.

Aim. To investigate the effect of percutaneous electric stimulation of the spinal cord on the dynamics of recovery of neurological functions in children with vertebral and cerebrospinal injury.

Materials and methods. Seven patients aged 4 to 18 years with lesions of the spinal cord from C₅-C₆ to Th₁₂-L₁ and who mainly had a marked neurological deficit were examined from 1 month to 9 years after surgical treatment. All patients underwent neurophysiological studies, including electroneuromyography, electromyography, and somatosensory-evoked potentials. The patients and their parents kept a diary of urination.

Results. This clinical study showed that percutaneous electric stimulation of the spinal cord contributed to the rapid and complete restoration of the neurological functions in patients with vertebral and medullar conflict and depended directly on the early terms of surgical intervention.

Conclusion. The positive results obtained in the complex rehabilitation of children with vertebral and cerebrospinal injuries by using non-invasive percutaneous electric stimulation of the spinal cord support the use of this method in the early stages after surgical intervention.

Keywords: percutaneous electric spinal cord stimulation (PESCS); vertebral and cerebrospinal injury (VCSI); neurological disorders; rehabilitation; mechanotherapy.

Введение

Восстановительное лечение пациентов с повреждениями спинного мозга является актуальной проблемой современной медицины. Ее значимость продиктована высокой частотой позвоночно-спинномозговой травмы, возможными осложнениями после оперативного вмешательства, а также недостаточной эффективностью лечебных мероприятий [1–5]. Одним из новых и перспективных методов реабилитации двигательных функций у таких больных служит электрическая стимуляция спинного мозга. Известно, что важная роль в локомоции животных принадлежит генераторам шагательных движений — внутрицентральному нейронному механизму, способным генерировать циклическую активность даже в условиях отсутствия супраспинальных влияний, периферических обратных связей и реальных движений конечностей [6]. Несколько лет назад разработан метод чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ), который способен вызывать локомоторные движения в парализованных конечностях у человека и экспериментальных животных [7]. Особенность методики заключается в использовании электрических импульсов сложной формы в отличие от стандартных прямоугольных. Особая форма импульсов позволяет применять токи большой интенсивности, необходимые для эффективного воздействия на спинной мозг, при этом воздействия безболезненны для человека. Этот метод неинвазивный и, следовательно, менее болезненный и травматичный, что особенно важно в детской практике. В нескольких клиниках для двигательной реабилитации спинальных пациентов начали использовать ЧЭССМ в сочетании с механотерапией, в том числе и роботизированной, что показало более высокую эффективность методики с позиции увеличения мышечной силы, улучшения тактильной и болевой чувствительности, возникновения произвольных движений и восстановления функции баланса тела [8, 9].

Цель исследования — изучить влияние ЧЭССМ на динамику восстановления неврологических функций у детей с позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ).

Материалы и методы

Чрескожная электростимуляция была проведена 7 пациентам в возрасте от 4 до 18 лет с уровнем поражения спинного мозга от C₅-C₆ до Th₁₂-L₁ в период от 1 месяца до 9 лет после хирургического лечения преимущественно с выраженным неврологическим дефицитом. Из 7 пациентов 2 имели травму шейного отдела позвоночника, 1 — повреждение на уровне поясничного утолщения, 5 — повреждение на грудном уровне. Все пациенты были прооперированы по поводу ПСМТ в сроки от нескольких часов до трех месяцев в объеме декомпрессии спинного мозга и стабилизации поврежденного позвоночно-двигательного сегмента [2]. При повреждении шейного отдела позвоночника использовали передний доступ, при травме грудного и поясничного отделов позвоночника — комбинированный подход (дорсальный и переднебоковой). Все дети имели тяжелые неврологические осложнения в виде глубоких парезов и плегий конечностей, нарушения функции тазовых органов, нарушения разных видов чувствительности. Для оценки неврологических изменений с целью максимальной стандартизации результатов клинического исследования использовали шкалу ASIA [10], разработанную Американской ассоциацией спинальной травмы. Шкала позволяет проводить балльную оценку мышечной силы и чувствительности (тактильная и болевая). Всем пациентам выполняли нейрофизиологические исследования: электронейромиографию (ЭНМГ), электромиографию (ЭМГ), соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП). Пациенты и их родители заполняли дневник мочеиспускания.

После неврологического обследования было установлено, что из 7 пациентов 2 имели исход-

ный уровень неврологических нарушений типа А (синдром полного нарушения проведения импульсов от спинного мозга на грудном уровне), 3 пациента — типа В и у 2 пациентов неврологический дефицит соответствовал типу С по шкале ASIA. ЧЭССМ осуществляли с помощью стимулятора БИОСТИМ-5. Частота стимуляции составила 5–30 Гц, длительность импульса — 1 мс. Силу тока подбирали в процессе процедуры в зависимости от ощущений пациента либо появления двигательной активности в нижних конечностях. Сила тока варьировала в пределах от 20 до 140 мА, амплитуду тока увеличивали в процессе каждой процедуры. Длительность процедуры составляла 30–40 минут 1 раз в день (через день). Продолжительность курса — 10–30 занятий (1–3 курса). Все пациенты, проходящие курс ЧЭССМ, дополнительно получали двигательную реабилитацию на механизированных и роботизированных тренажерах. Использовали роботизированную систему «Локомат» для восстановления функции нижних конечностей и паттерна ходьбы, велотренажер «Тера», роботизированный механотренажер и имитатор подошвенной опорной нагрузки «Корвит», пассивную подвесную систему «Экзарта», вертикализатор. Тренажеры «Тера» и «Локомат» обеспечивали механостимуляцию нижних конечностей в режиме поочередного сгибания-разгибания в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах. Пациентов инструктировали стараться прикладывать усилия в том же направлении, в каком тренажер двигал конечностями. Ранее было установлено, что вибрация сухожилий мышц бедра инициирует у испытуемых в положении лежа на боку с внешней поддержкой ног (в рамах-качелях) произвольные шагательные движения [9]. В нашей клинике мы использовали кинезиотерапевтическую установку «Экзарта» в качестве аналога, позволяющего синхронно со стимуляцией выполнять упражнения в подвешенном состоянии, позиционировать тело и преодолеть влияние гравитации. У пациентов с повреждением шейного отдела позвоночника стимулировали два уровня спинного мозга (шейное и поясничное утолщение). Во всех наблюдениях начинали стимуляцию с уровня Th₁₁, через 5–10 минут проводили стимуляцию на уровне позвонка С₅. Синхронная стимуляция на двух уровнях вызывала движения в конечностях у всех испытуемых. Сила тока на уровне шейного утолщения всегда была невысокой и не превышала 40–50 мА. Существуют исследования, доказывающие, что стимуляция шейного утолщения может быть эффективна для реабилитации движений рук при травме шейного отдела. Однако именно из-за неопределенности влияния, которое может оказать электростимуляция этого

отдела спинного мозга на жизненно важные функции (анатомическая близость сердца, иннервация инспираторных мышц, близость ствола головного мозга), электростимуляцию на уровне шейного отдела пациентам проводят редко и с большой осторожностью.

Результаты и обсуждения

При неврологическом осмотре у 5 детей (из разных групп по шкале ASIA) после 5 процедур отмечались изменения функции тазовых органов в виде лучшего ощущения наполнения мочевого пузыря, минимального урегулирования цикла мочеиспускания, проявляющегося увеличением объема выделяемой мочи и частоты мочеиспускания. После полного курса стимуляции отмечена положительная динамика в разной степени не у всех пациентов. Субъективно пациенты отмечали ощущение увеличения мышечной силы и повышение переносимости более тяжелых нагрузок (более сложные задания) во время воздействия электрической стимуляции при выполнении заданий на механотренажерах и кинезиотренажерах. Было зарегистрировано увеличение количества выполняемых упражнений и заданий инструктора лечебной физкультуры (ЛФК), уменьшение интервала между заданиями во время процедуры ЧЭССМ. Установлены клинически значимые улучшения функции нижних конечностей у 3 пациентов из 7, подтвержденные инструментальными методами исследования и неврологической оценкой. У данных пациентов наблюдали положительную динамику после 2–3 курсов ЧЭССМ: у 2 пациентов с переходом уровня неврологического дефицита с типа В в тип D и у одного из типа С в тип D. Один пациент, исходно имевший тип С, остался в этом же неврологическом статусе. У 3 детей с типом неврологических расстройств А и В значимой динамики в двигательной сфере не отмечалось. Объясняется это тяжестью и выраженностью повреждения спинного мозга, а также давностью полученного повреждения. У данной группы детей средние значения двигательных функций соответствовали 50 баллам. Однако в чувствительной сфере отмечался минимальный прирост показателей — в среднем 10 баллов по шкале ASIA. По данным ЭМГ, ЭНМГ значимых изменений по сравнению с результатами, полученными до курса ЧЭССМ, зарегистрировано не было. Анализ ССВП у одного из пациентов с повреждением спинного мозга на грудном уровне показал положительную динамику в виде появления коркового потенциала Р38-N46 при стимуляции *n. tibialis* справа, что свидетельствует об улучшении проведения сома-

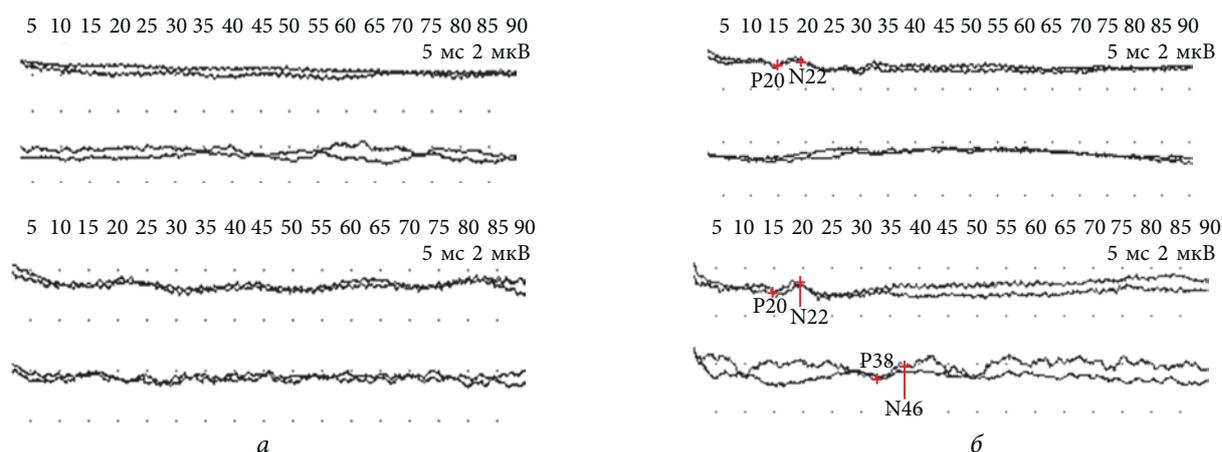


Рис. 1. Соматосенсорные вызванные потенциалы при стимуляции *n. tibialis*: а — до проведения курса ЧЭССМ; б — после проведения курса ЧЭССМ (появление коркового потенциала P38-N46 при стимуляции *n. tibialis* справа)

тосенсорной афферентации по проводникам спинного мозга выше поясничного утолщения (рис. 1).

У большинства пациентов по ССВП отмечалась положительная нейрофизиологическая динамика в виде появления нейрофизиологических признаков проведения до мышц-эффекторов на конечностях, ускорения времени моторного проведения, некоторого повышения функциональной активности нейронов. Интересно, что не всегда положительная динамика или ее отсутствие по ССВП совпадали с клинической картиной (неврологический осмотр с использованием шкалы ASIA). У одного пациента с исходным типом В после трех курсов стимуляции отмечено восстановление до типа D. Травма позвоночника была получена в результате падения с высоты и сопровождалась повреждением спинного мозга на уровне поясничного утолщения. Изначально в неврологическом статусе отмечалась нижняя вялая параплегия с нарушением функции тазовых органов. Пациент был прооперирован в первые сутки после травмы с диагнозом: «Позвоночно-спинномозговая травма. Переломовывих L₃. Нижняя вялая параплегия. Нарушение функции тазовых органов». После хирургического лечения ребенок получил 3 курса ЧЭССМ и несколько курсов комплексной двигательной реабилитации. За 1 год в двигательной сфере прирост показателей составил 8 баллов по сравнению с первичным неврологическим осмотром. При повторном неврологическом осмотре пациент передвигается самостоятельно с использованием вспомогательных средств, делает несколько шагов без посторонней помощи.

Полный регресс неврологических расстройств не наблюдался ни у одного больного.

В своем исследовании мы преднамеренно выбрали пациентов с тяжелыми неврологическими нарушениями. Отсутствие значимого положительного результата в восстановлении неврологических функций, с нашей точки зрения, можно объяснить

тяжелым дефицитом, обусловленным уровнем и характером поражения спинного мозга в результате травмы, необратимыми изменениями в спинном мозге вследствие вторичных нарушений в его структуре в связи с длительными сроками, прошедшими от момента травмы, а также поздними сроками хирургического вмешательства. Это подтверждает тот факт, что у пациентов, прооперированных в первые сутки после травмы (4 пациента), результаты были значительно лучше тех, кого оперировали через неделю и более (3 пациента).

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено:

- метод ЧЭССМ способствует наиболее быстрому и полноценному восстановлению неврологических функций (преимущественно функции тазовых органов) у пациентов с вертебро-медуллярным конфликтом;
- выполнение ЧЭССМ в комплексной терапии с системой «Экзарта» дает выраженный положительный эффект, что содействует более быстрому регрессу неврологических нарушений у детей с данной патологией;
- восстановление функций спинного мозга напрямую зависит от ранних сроков хирургического вмешательства;
- восстановление функций даже одного сегмента спинного мозга значительно улучшает социальную адаптацию и качество жизни таких пациентов.

Полученные положительные результаты в комплексной реабилитации детей с позвоночно-спинномозговой травмой с применением неинвазивной ЧЭССМ позволяют рекомендовать данную методику к использованию в клинической практике и осуществлять ее в ранние сроки после хирургического вмешательства.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование осуществлено в рамках НИР при поддержке ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Список литературы

1. Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Александров Ю.С., Пшениснов К.В. Позвоночно-спинномозговая травма у детей. – СПб.: Онли-Пресс, 2016. – 87 с. [Baindurashvili AG, Vissarionov SV, Aleksandrov YuS, Pshenisnov KV. Pozvonочно-spinnomozgovaya travma u detei. Saint Petersburg: Onli-Press; 2016. 87p. (In Russ.)]
2. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М. Оперативное лечение детей с осложненными переломами позвонков грудной и поясничной локализации // Травматология и ортопедия России. – 2010. – Т. 56. – № 2. – С. 48–50. [Vissarionov SV, Bel'anchikov SM. The surgical treatment of children with complicated fractures of thoracic and lumbar vertebrae. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2010;56(2):48-50. (In Russ.)]. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-48-50.
3. Георгиева С.А., Бабыченко И.Е., Пучиньян Д.М. Гомеостаз, травматическая болезнь головного и спинного мозга. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1993. – 223 с. [Georgieva SA, Babichenko IE, Puchin'yan DM. Gomeostaz, travmaticheskaya bolezn' golovnogo i spinnogo mozga. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta; 1993. 223 p. (In Russ.)]
4. Коновалов А.Н., Лихтерман Л.Б., Лившиц А.В., Ярцев В.В. Травма центральной нервной системы // Вопросы нейрохирургии. – 1986. – № 3. – С. 3–8. [Konovalov AN, Likhтерman LB, Livshits AV, Yartsev VV. Travma tsentral'noi nervnoi sistemy. *Voprosy neurokhirurgii*. 1986;(3):3-8. (In Russ.)]
5. Лившиц А.В. Хирургия спинного мозга. – М.: Медицина, 1990. – 350 с. [Livshits AV. Khirurgiya spinnogo mozga. Moscow: Meditsina; 1990. 350 p. (In Russ.)]
6. Jankowska E, et al. The effect of DOPA on the spinal cord. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1967;70(3-4):389-402. doi: 10.1111/j.1748-1716.1967.tb03637.x.
7. Городничев Р.М., Пивоварова Е.А., Пухов А., и др. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека // Физиология человека. – 2012. – Т. 38. – № 2. – С. 46–56. [Gorodnichev RM, Pivovarova EA, Puhov A, et al. Transcutaneous electrical stimulation of the spinal cord: A noninvasive tool for the activation of stepping pattern generators in humans. *Human Physiology*. 2012;38(2):46-56. (In Russ.)]
8. Мошонкина Т.Р., Мусиенко П.Е., Богачева И.Н., и др. Регуляция локомоторной активности при помощи эпидуральной и чрескожной стимуляции спинного мозга у животных и человека // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. – № 3. – С. 129–137. [Moshonkina TR, Musienko PE, Bogacheva IN, et al. Regulation of locomotor activity by epidural and transcutaneous electrical spinal cord stimulation in the human and animals. *Ulyanovsk Medico-Biological Journal*. 2012;(3):129-137. (In Russ.)]
9. Gerasimenko Y, Lu D, Modaber M, Zdunowski S, et al. Noninvasive Reactivation of Motor Descending Control after Paralysis. *J Neurotrauma*. 2015Jun15. doi: 10.1089/neu. 2015.4008.
10. American Spinal Injury Association and International Medical Society of Paraplegia, eds. Reference manual of the international standards for neurological classification of spinal cord injury. Chicago, IL: American Spinal Injury Association; 2003.
11. Городничев Р.М., Мачуева Е.Н., Пивоварова Е.А., и др. Новый способ активации генераторов шагательных движений у человека // Физиология человека. – 2010. – № 6. – С. 95–103. [Gorodnichev RM, Machueva EN, Pivovarova EA. A new method for the activation of the locomotor circuitry in humans. *Human Physiology*. 2010;36(6):95-103. (In Russ.)]

Сведения об авторах

Сергей Валентинович Виссарионов — д-р мед. наук, профессор, заместитель директора по научной и учебной работе, руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России; профессор кафедры детской травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: turner01@mail.ru.

Ирина Юрьевна Солохина — врач-невролог, научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург.

Галина Александровна Икоева — канд. мед. наук, доцент кафедры детской неврологии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России; заведующая отделением двигательной реабилитации ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: ikoeva@inbox.ru.

Алексей Георгиевич Баиндурашвили — д-р мед. наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, директор ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России; заведующий кафедрой детской травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: turner01@mail.ru.

Sergei V. Vissarionov — MD, PhD, professor, deputy director for research and academic affairs, head of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics; professor of the Chair of Pediatric Traumatology and Orthopedics. North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia. E-mail: turner01@mail.ru.

Irina Yu. Solokhina — MD, neurologist, research associate of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia.

Galina A. Ikoeva — MD, PhD, assistant professor of the Chair of Pediatric Neurology and Neurosurgery. North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov; chief of the Department of Motor Rehabilitation. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. E-mail: ikoeva@inbox.ru.

Alexei G. Baindurashvili — MD, PhD, professor, member of RAS, honored doctor of the Russian Federation, director of The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics; head of the Chair of Pediatric Traumatology and Orthopedics of North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia. E-mail: turner01@mail.ru.