



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСЛИНГВАЛЬНОЙ НЕЙРОСТИМУЛЯЦИИ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ У ДЕТЕЙ СО СПАСТИЧЕСКОЙ ДИПЛЕГИЕЙ

© Т.С. Игнатова¹, Г.А. Икоева^{2, 3}, В.Е. Колбин¹, А.М. Сарана^{1, 4}, С.Г. Щербак^{1, 4}, В.Г. Волков^{1, 5}, Л.П. Калинина^{1, 5}, А.П. Скоромец⁶, Ю.П. Данилов⁷

¹ СПбГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург;

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова», Минздрава России, Санкт-Петербург;

³ ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург;

⁴ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург;

⁵ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург;

⁶ СПбГБУЗ «Детская городская больница № 1», Санкт-Петербург;

⁷ ФГБУН «Институт физиологии им. И.П. Павлова» РАН, Санкт-Петербург

Поступила: 14.02.2019

Одобрена: 17.05.2019

Принята: 06.06.2019

Введение. Детский церебральный паралич, несомненно, является одним из самых распространенных прогрессирующих заболеваний нервной системы, в основе патогенеза которого лежит повреждение головного мозга плода или новорожденного. Реабилитация детей с церебральным параличом предусматривает комплекс мероприятий, включающих лечебную физкультуру, специальные методики массажа, физиотерапевтические процедуры, лечение определенными положениями и укладками, применение поддерживающих ортезов и фиксирующих аппаратов для ходьбы, специальных костюмов, облегчающих вертикализацию и двигательную активность ребенка. В последние десятилетия стали популярными компьютеризированные тренажеры и роботизированные комплексы с использованием виртуальной реальности. Однако на сегодняшний день лечение детей с церебральным параличом по-прежнему недостаточно эффективно. В последние годы появились различные методы неинвазивной электростимуляции, которую применяют независимо или в сочетании с традиционными процедурами. Одним из таких методов является метод транслингвальной нейростимуляции.

Цель исследования — оценить эффективность применения транслингвальной нейростимуляции в комбинации с методами физической реабилитации детей с церебральным параличом.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 134 ребенка со спастической диплегией в возрасте от 2 до 17 лет (средний возраст — $7,8 \pm 0,3$ года), из них 63 девочки и 71 мальчик. В зависимости от варианта восстановительной терапии пациенты были разделены на две группы — основную и контрольную. Основную группу составили 94 ребенка, которые получали стандартное восстановительное лечение в сочетании с транслингвальной нейростимуляцией; контрольную группу — 40 детей, которые получали только стандартное восстановительное лечение без транслингвальной нейростимуляции.

Результаты. У пациентов обеих групп наблюдалась положительная динамика, однако в основной группе улучшение было намного более выражено по всем оценочным шкалам. Улучшение было зафиксировано у детей всех возрастов, достигнутые показатели практически не снижались в течение 12 месяцев.

Заключение. Транслингвальная нейростимуляция является новым и перспективным направлением в нейрореабилитации. Данный метод доказал свою эффективность и безопасность. В результате стимуляции мозг пациента становится более восприимчив к терапевтическим процедурам, направленным на восстановление моторного контроля и формирование новых моторных навыков, что существенно повышает эффективность нейрореабилитации. Настоящее исследование открывает широкие перспективы применения данного метода у детей с церебральным параличом.

Ключевые слова: детский церебральный паралич; нейропластичность; моторные функции; реабилитация; транслингвальная нейростимуляция.

EFFECTIVENESS EVALUATION OF TRANSLINGUAL NEUROSTIMULATION IN MOTOR REHABILITATION IN CHILDREN WITH SPASTIC DIPLEGIA

© T.C. Ignatova¹, G.A. Ikoeva^{2, 3}, V.E. Kolbin¹, A.M. Sarana^{1, 4}, S.G. Shcherbak^{1, 4}, V.G. Volkov^{1, 5}, L.P. Kalinina^{1, 5}, A.P. Skoromets⁶, U.P. Danilov⁷

¹ City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia;

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;

³ The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia;

⁴ Saint Petersburg University, Saint Petersburg, Russia;

⁵ Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

⁶ Children's City Hospital No. 1, Saint Petersburg, Russia;

⁷ Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

For citation: *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2019;7(2):17-24

Received: 14.02.2019

Revised: 17.05.2019

Accepted: 06.06.2019

Introduction. Cerebral palsy is one of the most common non-progressive neurological disorders caused by fetal or infant brain injury. Current rehabilitation for children with cerebral palsy involves a series of measures, including physical training, special massage techniques, physiotherapy, treatment by certain positions and postures, use of supporting orthoses and fixation devices for walking, and special orthopedic suits facilitating verticalization and motor activity of a child. Over the last few decades, computerized stimulators and robotics with virtual reality systems have been actively used in neurorehabilitation. However, most of these systems did not show significant efficiency in rehabilitation of children with cerebral palsy. In the last few years, different non-invasive electrostimulation techniques have been considered innovative and can be applied independently or in combination with existing procedures. One of such techniques is translingual neurostimulation.

Aim. This study aimed to evaluate the effectiveness of a combination of translingual neurostimulation and physical rehabilitation for children with cerebral palsy.

Materials and methods. In this study, we observed 134 children (63 girls and 71 boys) with spastic diplegia aged 2–17 years (mean age is 7.8 years old \pm 0.3). Depending on the type of rehabilitation therapy, the patients were divided into two groups: active (main) and control. Active group consisted of 94 children who received standard restorative treatment in combination with translingual neurostimulation, whereas the control group consisted of 40 children who received only standard rehabilitation treatment without translingual neurostimulation.

Results. Both groups of patients showed positive dynamics; however, patients in the active group showed greater improvements as evidenced by all grading scales. Improvements were observed in children of all ages, and the results were mostly stable for 12 months.

Conclusion. Translingual neurostimulation is a novel approach to neurorehabilitation that shows promising results, in addition to its proven effectiveness and safety. As a result of neurostimulation, the patient's brain becomes more susceptible to the applied therapeutic procedures aimed at restoring motor control and formation of new motor skills, thereby markedly increasing the effectiveness of neurorehabilitation. This study broadens the perspectives in the use and further development of translingual neurostimulation in rehabilitation of children with cerebral palsy.

Keywords: cerebral palsy; neuroplasticity; motor functions; rehabilitation; translingual neurostimulation.

Введение

Детский церебральный паралич (ДЦП), несомненно, является одним из самых распространенных непрогрессирующих заболеваний нервной системы, в основе патогенеза которого лежит повреждение головного мозга плода или новорожденного. Основными проявлениями ДЦП служат изменения мышечного тонуса, нарушения локомоторной функции, системы управления балансом тела и координации, которые ведут к формированию стойких двигательных стереотипов и задержке формирования моторных навыков [1–3]. Восстановительное лечение

детей с ДЦП представляет собой одну из самых сложных проблем в системе нейрореабилитации. Доказано, что в основе регенерации и компенсации функций при церебральном параличе, как и при многих других острых и хронических заболеваниях нервной системы, лежит феномен нейропластичности. Под нейропластичностью понимают способность нервной ткани изменять свое структурно-функциональное состояние под влиянием различных эндогенных и экзогенных факторов и даже после окончания действия стимула [4]. По данным исследований, нейропластичность обусловлена полифункциональностью

нейронов и вертикально выстроенной иерархией конвергенции, а конвергенция на одни и те же нервные клетки множества импульсов, несущих различную информацию, подтверждает, что нейроны и другие элементы мозга полифункциональны, и именно благодаря этому возможно восстановление нарушенных функций нервной системы [4–7]. Нейрореабилитация включает в себя комплекс как медицинских, так и социально-педагогических мероприятий, цель которых не просто уменьшить спастичность мышц и увеличить амплитуду движения, а восстановить нарушенные функции и научить ребенка со сложившимися у него двигательными стереотипами новым моторным навыкам, которые он должен использовать в повседневной жизни. Реабилитация детей с церебральным параличом предусматривает комплекс мероприятий, включающих лечебную физкультуру, специальные методики массажа, физиотерапевтические процедуры, лечение определенными положениями и укладками, применение поддерживающих ортезов и фиксирующих аппаратов для ходьбы, специальных костюмов, облегчающих вертикализацию и двигательную активность ребенка (Адели, Атлант, Гравистат). В последние десятилетия появилось множество новых методов физической реабилитации — это различные компьютеризированные тренажеры и роботизированные комплексы с использованием виртуальной реальности [7] (Локомат, Мотомед, Армео) [8, 9]. Несмотря на это, на сегодняшний день лечение детей с церебральным параличом по-прежнему недостаточно эффективно. Снижение тонуса мышц или синергии мышца-антагонистов действительно может привести к заметному улучшению качества двигательных навыков у части пациентов. Однако наблюдаемые эффекты, как правило, носят обратимый характер и не приводят к существенному развитию новых моторных навыков, снижению спастичности или улучшению качества жизни [10]. Методы неинвазивной электростимуляции, которую применяют независимо или в сочетании с традиционными процедурами [11–18], открывают новые перспективы в лечении ДЦП. Одним из таких методов является метод транслингвальной нейростимуляции (ТЛНС). Он был разработан в США в конце 70-х гг. прошлого столетия в лаборатории профессора реабилитационной медицины Пола Бах-у-Рита, одного из основателей современной концепции нейропластичности. Под его руководством был создан прибор для электротактильной стимуляции языка, который позволил существенно улучшить способность человеческого мозга к восстановлению утраченных функций [19].

Цель исследования — оценить эффективность применения ТЛНС в комбинации с существующими методами физической реабилитации у детей с церебральным параличом.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 134 ребенка с церебральным параличом (форма — спастическая диплегия) в возрасте от 2 до 17 лет (средний возраст — $7,8 \pm 0,3$ года), в том числе 63 девочки и 71 мальчик. Все пациенты и их представители дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Все дети были с сохраненным интеллектом и могли выполнять задания инструктора. В зависимости от варианта восстановительной терапии пациенты были разделены на две группы — основную и контрольную. Основную группу составили 94 ребенка, которые получали стандартное восстановительное лечение в сочетании с ТЛНС; контрольную группу — 40 детей, которые получали только стандартное восстановительное лечение без ТЛНС. Стандартное восстановительное лечение включало в себя массаж, занятия на тренажерах, водолечение, роботизированную механотерапию и специальную лечебную гимнастику — 10 ежедневных занятий длительностью 20 мин. ТЛНС проводили с помощью портативного нейростимулятора (PoNS) — 10 процедур длительностью 20 мин 2 раза в день с интервалом 3 ч.

Часть пациентов в обеих группах выразила желание повторить курс терапии с интервалом от полугода до года. Повторный курс терапии прошли 37 пациентов из основной группы и 11 из контрольной. Восемь пациентов из основной группы прошли курс три раза и двое — четыре раза.

Транслингвальная нейростимуляция

Портативный нейростимулятор (PoNS) — это устройство нового поколения для периферической нейростимуляции (рис. 1), эффект которого основан на воздействии на наиболее плотно иннервируемую тактильную область — язык. Зона языка лучше всего подходит для электрической стимуляции, поскольку в полости рта сложились наиболее благоприятные для нее условия — постоянный уровень кислотности, постоянная температура, электропроводность и влажность и низкие пороги возбудимости по сравнению с другими участками кожи.

Электростимуляция языка на данный момент является одним из эффективных и безопасных методов стимуляции центральной нервной системы. Зона языка характеризуется максимальной плотностью механорецепторов на единицу площади и минимальным двухточечным порогом



Рис. 1. Прибор PoNS

дискриминации: 0,5–1 мм для механической стимуляции и 0,25–0,5 мм для электрической стимуляции [4, 5, 7]. Два главных черепных нерва (тройничный и лицевой) обеспечивают передачу нервных импульсов от передней поверхности языка непосредственно в структуры ствола мозга, активируя комплекс ядер тройничного нерва (мезенцефалическое, сенсорное и спинальное), при этом одновременно через лицевой нерв происходит стимуляция соседнего ядра солитарного тракта. Непосредственное воздействие оказывается также на кохлеарные ядра, структуры медуллы и спинного мозга шейного отдела (C_1 – C_3). Под вторичную активацию попадают ретикулярная формация ствола мозга, голубое пятно, комплекс вестибулярных ядер и вентральная часть мозжечка, а также не исключена возможность активации нескольких систем глобальной нейрохимической регуляции активности мозга, ядра которых расположены в стволе мозга, — норадренергической, дофаминергической, серотонинергической и ацетилхолинергической. Интенсивная и регулярная стимуляция действующих нейронов приводит к активации синаптических контактов, аксонов и всего комплекса пре- и постсинаптических нейрохимических механизмов, в результате чего стимулируется синаптогенез, то есть образование новых контактов между нейронами [4–7]. Для проведения процедуры нейростимуляции язык помещали на матрицу электродов прибора PoNS. Затем пациент выполнял упражнения, направленные на обучение двигательным навыкам и последовательно усложняющиеся по мере развития.

Лечебная гимнастика

Курс лечебной гимнастики состоял из трех комплексов упражнений, которые были подобраны индивидуально, исходя из клинической картины, психического и моторного развития пациента.

Первый комплекс упражнений нацелен на формирование у пациента умения самостоятельно сидеть, удерживая тело в пространстве.

Второй комплекс формирует навык удержания вертикального положения тела в пространстве и способность контролировать положение тела при ускорении или замедлении прямолинейного движения, а также при вращениях и отклонениях.

Третий комплекс направлен на выработку навыка ходьбы со средствами опоры и без нее.

Эффективность терапии оценивали до и после лечения по стандартным шкалам.

1. Шкалу Ашворта применяли для оценки спастичности мышц, уровень спастичности выражали в баллах: от 1 (легкая) до 5 (очень сильная). Спастичность верхних (ASHH) и нижних (ASHL) конечностей оценивали отдельно.
2. Шкалу FMS (функциональная моторная шкала) использовали для оценки освоения моторных навыков, уровень которых варьирует от 6 (легкая недостаточность) до 1 (очень сильный дефицит). Оценку проводили в трех разных вариантах: при свободном поведении и передвижении на небольших расстояниях до 5 м (например, в комнате, FMS 5); на расстоянии до 50 м (например, в школе, FMS 50) и на расстоянии до 500 м (на улице, FMS 500).
3. Для оценки безопасности выполняли ЭЭГ-исследование. Тестирование проводили в течение 20 мин с применением функциональных проб, оценивали наличие или отсутствие эпиплеформной активности. Наличие эпиплеформной активности на ЭЭГ являлось противопоказанием к участию в исследовании.

Статистическая обработка

В исследовании использовали статистические тесты для непараметрического анализа: для сравнения парных значений (до и после курса терапии тех же пациентов) — непараметрический двухвыборочный тест Уилкоксона (Wilcoxon matched pairs signed rank test), а для сравнения непарных выборок (основная и контрольная группы) — двухвыборочный тест Манна – Уитни. Статистический анализ осуществляли при помощи программного статистического пакета (JMP 13, Statistical Discovery, SAS).

Результаты исследования

Тесты, использованные в данной работе, позволили оценить эффективность ТЛНС для снижения спастичности конечностей и развития моторных навыков по сравнению с курсом стандартной лечебной гимнастики. На рис. 2 представлены ре-

зультаты изменения мышечного тонуса по шкале Ашворта до и после повторных курсов лечения.

Динамика снижения спастичности вполне коррелирует с результатами улучшения мобильности в обеих группах пациентов. В данном исследовании основной упор был сделан на реабилитации нижних конечностей и корпуса, которые в первую очередь необходимы для поддержания позы и сохранения равновесия в статике (сидя и стоя) и динамике — при выработке навыков ходьбы. В программу тренировок не были включены специальные упражнения на снижение спастичности рук и повышение их мобильности.

Исходные значения индекса спастичности для рук (2,7–2,8) были незначительно ниже, чем для ног (3,1–3,3). Однако тесты на спастичность рук и ног показали аналогичные результаты, немного лучше — на снижение спастичности ног.

В контрольной группе отмечено статистически значимое снижение индекса спастичности рук и ног после первого курса терапии и незначительное после второго курса. Интересно, что как в случае рук, так и в случае ног исходные

значения у пациентов контрольной группы были одинаковыми, что говорит о возвращении индекса спастичности к исходному уровню в перерыве между курсами.

В основной же группе, наоборот, наблюдалась устойчивая тенденция к уменьшению индекса спастичности как при исходном состоянии перед последовательными курсами терапии, так и после курсов, что говорит о кумулятивном характере эффекта нейростимуляции в отношении снижения уровня спастичности.

После каждого курса терапии уровень спастичности снижался на 13–17 % для рук и 17–23 % для ног. Суммарное снижение индекса спастичности после трех последовательных курсов терапии по сравнению с исходным состоянием может достигать 40–60 % и более. Несмотря на значимое снижение индекса спастичности в контрольной группе на 3–11 % для рук и 12–17 % для ног, результаты в основной группе были существенно лучше, у пациентов этой группы не происходило возвращения показателей к исходному уровню в перерывах между курсами.

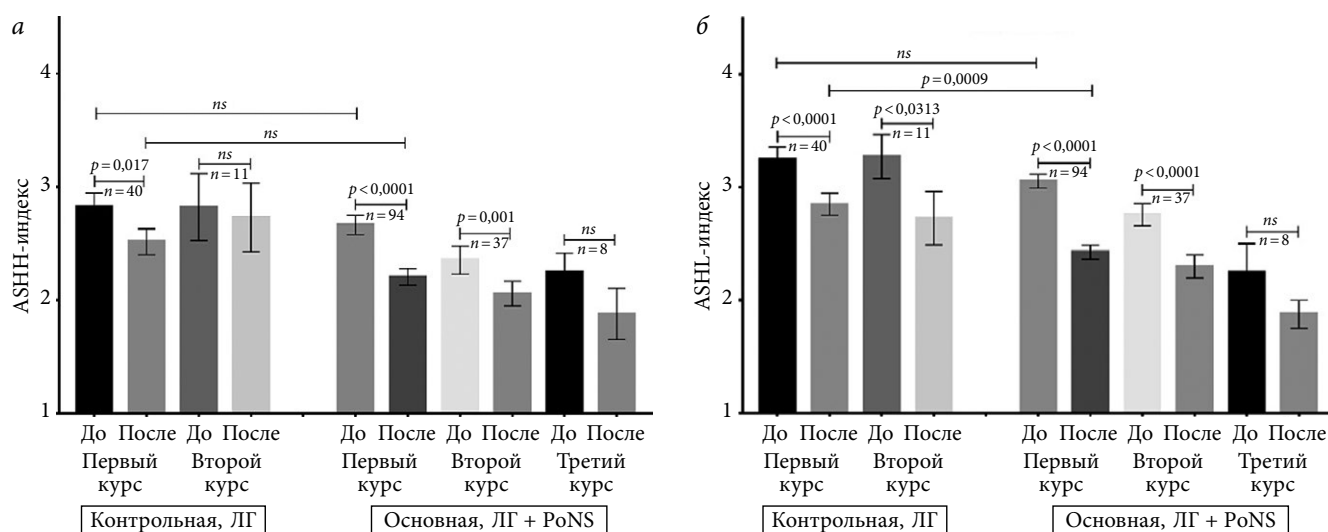


Рис. 2. Результаты использования шкалы Ашворта: а — спастичность рук; б — спастичность ног. ЛГ — лечебная гимнастика; PoNS — портативный нейростимулятор; ns — статистически значимые различия отсутствуют

Таблица 1

Численные значения результатов использования шкалы Ашворта

Группа	Индекс спастичности рук, ASHH				Индекс спастичности ног, ASHL			
	До	После	%	p	До	После	%	p
Контрольная								
Первый курс	2,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1	-11	***	3,3 ± 0,1	2,9 ± 0,1	-12	***
Второй курс	2,8 ± 0,3	2,7 ± 0,3	-3	ns	3,3 ± 0,2	2,7 ± 0,2	-17	ns
Основная								
Первый курс	2,7 ± 0,1	2,2 ± 0,1	-17	***	3,1 ± 0,1	2,4 ± 0,1	-23	***
Второй курс	2,4 ± 0,1	2,1 ± 0,1	-13	***	2,8 ± 0,1	2,3 ± 0,1	-18	***
Третий курс	2,3 ± 0,2	1,9 ± 0,2	-17	**	2,3 ± 0,3	1,9 ± 0,1	-17	ns

Примечание: ns — статистически значимые различия отсутствуют; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

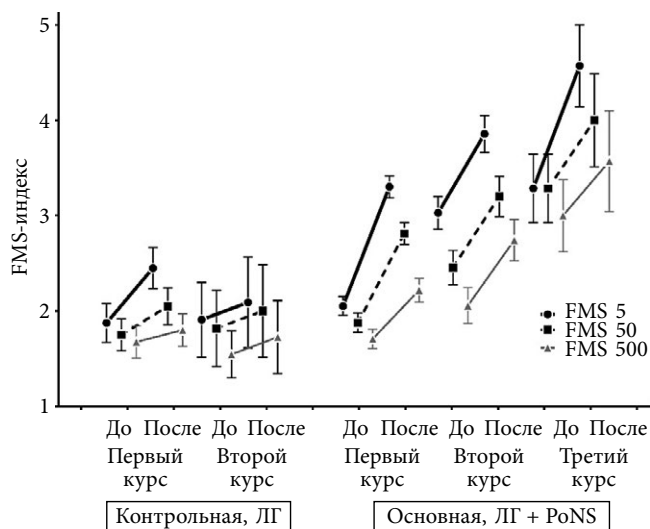


Рис. 3. Результаты изменения двигательной активности по шкале моторных навыков FMS 5, 50, 500. ЛГ — лечебная гимнастика; PoNS — портативный нейростимулятор

На рис. 3 представлены результаты оценки моторных навыков по шкале FMS после каждого из трех курсов восстановительного лечения в основной и контрольной группах.

В результате первого курса традиционной лечебной гимнастики наблюдалось некоторое значимое улучшение индекса FMS 5 (+30 %) и FMS 50 (+17 %), но не FMS 500. Повторное прохождение традиционного курса не дало никакого значимого улучшения.

В основной группе отмечалось статистически значимое улучшение качества моторных навыков в результате первого же курса по всем трем шкалам: FMS 5 (+59 %), FMS 50 (+51 %), FMS 500 (+31 %).

Второй курс был так же эффективен и привел к дальнейшему и значимому улучшению моторных навыков по всем трем шкалам: FMS 5 (+29 %), FMS 50 (+30 %), FMS 500 (+31 %). В результате третьего курса терапии в основной группе моторные навыки по шкалам FMS продолжали улучшаться: FMS 5 (+40 %), FMS 50 (+25 %), FMS 500 (+18 %). Несмотря на то что два последних результата не были статистически значимы в силу небольшого числа участников и вариабельности результатов, общая положительная тенденция на улучшение моторных навыков при применении нейростимуляции прослеживалась довольно четко (см. рис. 3).

Обсуждение результатов

ТЛНС принципиально отличается от других методов неинвазивной электростимуляции тем, что основным действующим фактором активации мозга является поток собственных естественных нервных импульсов, сгенерированных в эпителии языка и расходящихся по всей центральной нервной системе по естественным проводящим путям, а не внешние физические воздействия на отдельные

участки коры, неестественные по своей природе. Комбинация ТЛНС и специализированных упражнений позволяет воздействовать на все компоненты моторной активности: центральные (корковые), подкорковые (базальные ганглии, мозжечок, ствол мозга), центры спинного мозга. Таким образом, при помощи многоуровневой нейростимуляции удастся активировать не только мышечный контроль, но и такие сложные сенсомоторные функции, как равновесие и координация движения при ходьбе, что в сочетании с физической реабилитацией помогает быстрее освоить и развить новые моторные навыки. Положительные эффекты ТЛНС сохранялись в течение длительных перерывов (вплоть до года) между курсами терапии. Это позволило последовательно улучшать изучаемые эффекты с каждым новым курсом, то есть нейростимуляция придавала реабилитации кумулятивный характер. Традиционно считается, что ребенок с ДЦП реализует половину своего потенциала развития моторных навыков к 5 годам и максимум — к 7 годам. Достигнутые результаты остаются на этом же уровне или могут даже ухудшаться с возрастом. В нашем исследовании большее количество детей было старше 7 лет, в связи с этим открываются возможности как для расширения области применения данной технологии в реабилитации детей с ДЦП, так и для улучшения прогноза эффективности терапии, применяемой у детей старшего возраста.

Исследование показало, что ТЛНС головного мозга способна усилить влияние физической реабилитации, вероятнее всего, за счет активации отдельных областей мозга, повышения эффективности существующих нейронных сетей, стимуляции синаптогенеза. При применении данной стимуляции не было выявлено каких-либо значимых побочных эффектов, не зафиксировано судорожных состояний или судорожной готовности.

Лечебная гимнастика сама по себе, судя по результату контрольной группы, способна заметно улучшить состояние ребенка с ДЦП в определенных пределах, и даже статистически значимо (см. рис. 2, 3), однако наблюдаемые улучшения, как правило, исчезали до начала повторного курса. ТЛНС значительно изменила результаты стандартной лечебной гимнастики и, согласно тестам, позволила повысить эффективность реабилитации в целом. В основной группе снижение спастичности, развитие моторных навыков было значительно более выражено, чем в контрольной, уже после первого курса занятий, что и является главной задачей нейрореабилитации. Данный метод нацелен на формирование у пациента новых моторных навыков, доведения их до автоматизма, а это, в свою очередь, значительно повышает качество жизни, социальный уровень и расширяет возможности пациента. Данный метод открывает новые перспективы

в планировании реабилитации, так как дает накопительный эффект, создает условия для последовательной реализации плана реабилитации. Положительные и статистически значимые изменения по всем примененным тестам выгодно отличают этот метод от других видов нейростимуляции, где основные эффекты касаются в основном снижения спастичности, но не развития моторных навыков, ходьбы или изменения статуса. В нашем исследовании наблюдалось как снижение спастичности (шкала Ашворта, см. рис. 2), так и улучшение моторных навыков (см. рис. 3). Причем величина изменений после нескольких последовательных курсов свидетельствует о возможном изменении статуса (степени тяжести нарушений) у ребенка с ДЦП.

Заключение

ТЛНС является инновационным способом неинвазивной нейростимуляции центральной нервной системы и перспективным направлением в нейрореабилитации. Данный метод доказал свою эффективность и безопасность. Регулярная 20-минутная стимуляция языка в течение двух недель у детей со спастической диплегией в комбинации с современными физическими методами реабилитации активизирует врожденные способности мозга к развитию моторной функции. В результате стимуляции мозг становится более восприимчив к терапевтическим процедурам, направленным на восстановление моторного контроля и формирование новых моторных навыков, что заметно повышает эффективность нейрореабилитации.

Подтверждена и оценена эффективность применения транслингвальной нейростимуляции и ее многонаправленный характер воздействия на центральную нервную систему, что позволяет одновременно улучшать физические, функциональные и поведенческие характеристики детей с ДЦП: координацию движений, равновесие, моторные функции, спастичность.

Настоящее исследование открывает широкие перспективы применения и развития данного метода у детей с церебральным параличом.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Исследование не имело финансового обеспечения или спонсорской поддержки.

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

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом СПбГБУЗ «Городская больница № 40», протокол этического комитета № 105 от 07.12.2018. Все пациенты (или их законные предста-

вители) дали согласие на участие в исследовании, обработку и публикацию персональных данных.

Вклад авторов

Т.А. Игнатова, Г.А. Икоева — концепция и дизайн исследования, анализ литературы, сбор и обработка материала, написание статьи.

Ю.П. Данилов, А.П. Скоромец — дизайн исследования, редактирование рукописи.

А.М. Сарана, С.Г. Щербак — этапное редактирование рукописи.

Л.П. Калинина, В.Г. Волков — статистическая обработка материала.

Литература

1. Monbaliu E, Himmelmann K, Lin J-P, et al. Clinical presentation and management of dyskinetic cerebral palsy. *Lancet Neurol.* 2017;16(9):741-749. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(17\)30252-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(17)30252-1).
2. Novak I, Morgan C, Adde L, et al. Early, accurate diagnosis and early intervention in cerebral palsy: advances in diagnosis and treatment. *JAMA Pediatr.* 2017;171(9):897-907. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.1689>.
3. Никитюк И.Е., Икоева Г.А., Кивоенко О.И. Система управления вертикальным балансом у детей с церебральным параличом более синхронизирована по сравнению со здоровыми детьми // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2017. – Т. 5. – № 3. – С. 49–57. [Nikityuk IE, Ikoeva GA, Kivoenko OI. The vertical balance management system is more synchronized in children with cerebral paralysis than in healthy children. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2017;5(3):49-57. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS5350-57>.
4. Белова А.Н. Нейрореабилитация: руководство для врачей. – М.: Антидор, 2000. – 566 с. [Belova AN. *Neuroreabilitatsiya: rukovodstvo dlya vrachey.* Moscow: Antidor; 2000. 566 p. (In Russ.)]
5. Bach-y-Rita P. Theoretical basis for brain plasticity after a TBI. *Brain Inj.* 2003;17(8):643-651. <https://doi.org/10.1080/0269905031000107133>.
6. Danilov YP, Kaczmarek KA, Skinner K, et al. Cranial nerve noninvasive neuromodulation: new approach to neurorehabilitation. In: *Brain neurotrauma: molecular, neuropsychological, and rehabilitation aspects.* Ed. by F.H. Kobeissy. Boca Raton; 2015.
7. Danilov YP, Tyler ME, Kaczmarek KA. Vestibular sensory substitution using tongue electro tactile display. In: *Human haptic perception: basics and applications.* Ed. by M. Grunwald. Basel: Birkhauser Verlag; 2008. P. 467-480. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7612-3_39.
8. Peri E, Turconi AC, Biffi E, et al. Effects of dose and duration of robot-assisted gait training on walking ability of children affected by cerebral palsy. *Technol Health Care.* 2017;25(4):671-681. <https://doi.org/10.3233/THC-160668>.
9. Picelli A, La Marchina E, Vangelista A, et al. Effects of robot-assisted training for the unaffected arm in patients with hemiparetic cerebral palsy: a proof-of-concept pilot study. *Behav Neurol.* 2017;2017:8349242. <https://doi.org/10.1155/2017/8349242>.
10. Chen Y, Fanchiang HD, Howard A. Effectiveness of virtual reality in children with cerebral palsy: a sys-

- tematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2018;98(1):63-77. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzx107>.
11. Moll I, Vles JSH, Soudant D, et al. Functional electrical stimulation of the ankle dorsiflexors during walking in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(12):1230-1236. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13501>.
 12. Звозиль А.В., Моренко Е.С., Виссарионов С.В., и др. Функциональная и спинальная стимуляция в комплексной реабилитации пациентов с ДЦП // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 2. – С. 40–46. [Zvozil AV, Morenko ES, Vissarionov SV, et al. Functional and spinal stimulation in the complex rehabilitation of patients with cerebral palsy. *Advances in current natural sciences.* 2015;(2):40-46. (In Russ.)]
 13. Solopova IA, Sukhotina IA, Zhvansky DS, et al. Effects of spinal cord stimulation on motor functions in children with cerebral palsy. *Neurosci Lett.* 2017;639:192-198. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.01.003>.
 14. Elia AE, Bagella CF, Ferre F, et al. Deep brain stimulation for dystonia due to cerebral palsy: A review. *Eur J Paediatr Neurol.* 2018;22(2):308-315. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2017.12.002>.
 15. Air EL, Ostrem JL, Sanger TD, Starr PA. Deep brain stimulation in children: experience and technical pearls. *J Neurosurg Pediatr.* 2011;8(6):566-574. <https://doi.org/10.3171/2011.8.PEDS11153>.
 16. Koy A, Timmermann L. Deep brain stimulation in cerebral palsy: Challenges and opportunities. *Eur J Paediatr Neurol.* 2017;21(1):118-121. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.05.015>.
 17. Gillick BT, Gordon AM, Feyma T, et al. Non-Invasive brain stimulation in children with unilateral cerebral palsy: a protocol and risk mitigation guide. *Front Pediatr.* 2018;6:56. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00056>.
 18. Krishnan C, Santos L, Peterson MD, Ehinger M. Safety of noninvasive brain stimulation in children and adolescents. *Brain Stimul.* 2015;8(1):76-87. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.10.012>.
 19. Игнатова Т.С., Скоромец А.П., Колбин В.Е., и др. Транслингвальная нейростимуляция головного мозга в лечении детей с церебральным параличом // Вестник восстановительной медицины. – 2016. – № 6. – С. 10–16. [Ignatova TS, Skoromets AR, Kolbin VE, et al. Translingual brain neurostimulation in treatment of the pediatric cerebral palsy. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny.* 2016;(6):10-16. (In Russ.)]

Сведения об авторах

Татьяна Сергеевна Игнатова — невролог СПбГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4340-6014>; eLibrary SPIN: 5172-9399. E-mail: ignatova_tatiana@inbox.ru.

Галина Александровна Икоева — канд. мед. наук, заведующая отделением двигательной реабилитации и ведущий научный сотрудник ФГБУ «НИДОИ им. Турнера» Минздрава России, доцент кафедры детской неврологии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург. <http://orcid.org/0000-0001-9186-5568>; eLibrary SPIN: 6523-9900. E-mail: ikoeva@inbox.ru.

Виктор Евгеньевич Колбин — инструктор-методист СПбГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-0689-5047>. E-mail: k.v27@yandex.ru.

Андрей Михайлович Сарана — д-р мед. наук, зам. главного врача по реабилитации СПбГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург; главный внештатный специалист по медицинской реабилитации Санкт-Петербурга. <https://orcid.org/0000-0003-3198-8990>; eLibrary SPIN: 7922-2751. E-mail: asarana@mail.ru.

Сергей Григорьевич Щербак — д-р мед. наук, профессор, главный врач СПбГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-5047-2792>; eLibrary SPIN: 1537-9822.

Анна Петровна Скоромец — д-р мед. наук, профессор, СПбГБУЗ «Детская городская больница № 1». E-mail: annaskoromets@gmail.com.

Юрий Петрович Данилов — ведущий научный сотрудник ФГБУН «Института физиологии им. И.П. Павлова» РАН, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-3123-4016>; eLibrary SPIN: 9536-1661. E-mail: daniilov@wisc.edu.

Владислав Григорьевич Волков — статистик СПбГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург. E-mail: volkovimp@yandex.ru.

Линда Павловна Калинина — статистик СПбГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург. E-mail: miss.otonashi@mail.ru.

Tatiana S. Ignatova — MD, Neurologist of the City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-4340-6014>; eLibrary SPIN: 5172-9399. E-mail: ignatova_tatiana@inbox.ru.

Galina A. Ikoeva — MD, PhD, Head of the Department of Motor Rehabilitation and Leading Researcher of the Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia; Associate Professor of the Department of Pediatric Neurology and Neurosurgery, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia. <http://orcid.org/0000-0001-9186-5568>; eLibrary SPIN:6523-9900. E-mail: ikoeva@inbox.ru.

Victor E. Kolbin — Instructor-Methodologist of the City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-0689-5047>. E-mail: k.v27@yandex.ru.

Andrey M. Sarana — MD, PhD, D.Sc., Deputy Head Physician for the rehabilitation of the City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia; the Chief freelance specialist in Medical Rehabilitation of Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-3198-8990>; eLibrary SPIN: 7922-2751. E-mail: asarana@mail.ru.

Sergey G. Shcherbak — MD, PhD, D.Sc., Professor, City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5047-2792>; eLibrary SPIN: 1537-9822.

Anna P. Skoromets — MD, PhD, D.Sc., Professor, Children's City Hospital No. 1, Saint Petersburg. E-mail: annaskoromets@gmail.com.

Yuriy P. Danilov — PhD, Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-3123-4016>; eLibrary SPIN: 9536-1661. E-mail: daniilov@wisc.edu.

Vladislav G. Volkov — Statistician, City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. E-mail: volkovimp@yandex.ru.

Linda P. Kalinina — Statistician, City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. E-mail: miss.otonashi@mail.ru.