

УДК 612.763

РЕАБИЛИТАЦИЯ РЕЧЕВЫХ ФУНКЦИЙ У ДЕТЕЙ С ДЕТСКИМ ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ

Бирюкова Е. А.¹, Орехова Л. С.¹, Павленко В. Б.¹, Бабанов Н. Д.^{1,2}, Кезик Е. В.¹

¹*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь,
Республика Крым, Россия*

²*ФГБУН «НИИ Нормальной физиологии имени П. К. Анохина», Москва, Россия
E-mail: biotema@mail.ru*

Статья посвящена оценке эффективности метода адаптивного биоуправления с использованием неинвазивного интерфейса мозг-компьютер «Экзокисть-2» по параметрам электроэнцефалограммы для реабилитации нарушений речевого развития у пациентов с детским церебральным параличом. В исследовании приняло участие 48 детей в возрасте от 8 до 15 лет. Дети в случайном порядке были разделены на контрольную (20 человек) и экспериментальную (28 человек) группы. Для оценки эффективности реабилитационных процедур с помощью НИМК, а также с помощью стандартных методов санаторно-курортного лечения, каждый ребенок перед первым и после последнего сеанса проходил оценку уровня моторной реализации высказываний, а также словообразовательных навыков. Результаты статистического анализа указывают на значимые изменения в речевых навыках детей экспериментальной группы по сравнению с контрольной. Так, у детей экспериментальной группы наблюдается значимое улучшение артикуляционной моторики, звукопроизнесения, а также навыков составления простых предложений. Рассматриваемый метод нейрореабилитации может использоваться в качестве дополнительного средства в реабилитации речевых нарушений, наблюдаемых у детей с детским церебральным параличом.

Ключевые слова: адаптивное биоуправление, биологическая обратная связь, двигательная нагрузка, экзоскелеты, ДЦП, задержка психоречевого развития, моторное обучение, нейрореабилитация, робототехнические системы.

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие робототехнических устройств для отрасли медицинской реабилитации в последние годы растёт в геометрической прогрессии. В частности, широкое внедрение в медицинскую реабилитацию сегодня получили как активные, так и пассивные экзоскелеты. Например, для реабилитации локомоторных нарушений нижних конечностей, с целью создания нагрузки на опорно-двигательный аппарат, на сегодняшний день широко применяются костюмы с элементами регулируемых тяг типа «Регент», медицинские экзоскелеты «ExoAtlet» и «ExoLite», а также роботизированные комплексы типа «Lokomat» [1, 2]. При этом одними из наиболее перспективных, являются методы, основанные на кинестетическом представлении движения, которые способствуют активации процессов нейропластичности [1–3]. Так, было показано, что при использовании неинвазивного интерфейса мозг-компьютер (НИМК) «Экзокисть-2» у 70 % группы пациентов снижалась спастичность по шкалам MAS и MTS, а также наблюдалось

увеличение силы и выносливости мышц [1]. Применение НИМК «Экзокисть-2» позволило привести к перестройке паттерна реактивности α -ритма ЭЭГ при воображении разгибательных движений кистей рук.

Помимо этого, в рамках коррекции двигательной дисфункции возможно применение комплексной терапии с использованием роботехнических комплексов и экзоскелетов. Подход к реабилитации с помощью экзоскелетов аналогична традиционным тренировкам, например, на беговой дорожке, но позволяет сформировать и сохранить правильный паттерн движений. Kim и соавторы использовали активный экзоскелет «Angel-legs» (ANGEL ROBOTICS Co., Ltd., Seoul, Korea), который позволял создавать вспомогательное усилие в соответствии фазой походки. В исследовании приняли дети возрастом от 7 до 18 лет со спастическим детским церебральным параличом (ДЦП) с диагнозом аномалия походки со слабостью нижних конечностей. Исследование проводилось в течении 17–20 сеансов по 60 минут с использованием ходунков на колесах, или двусторонних костылей. [2]. Для оценки общей двигательной функции в исследовании применялась шкала GMFCS, состоящая из 5 уровней (от возможности бегать и совершать прыжки до отсутствия передвижения без какой-либо помощи). Анализировались показатели общей двигательной функции [3], педиатрическая шкала баланса [4], тест походки (тест 6-минутной ходьбы с самостоятельно выбранной скоростью и возможностью отдыха по необходимости) [5], а также потребление кислорода. В исследовании приняли участие трое испытуемых со вторым, третьим и четвертым уровнем по GMFCS соответственно. Было продемонстрировано улучшение общей двигательной функции у всех пациентов. Также были улучшены показатели по шкале баланса, кроме пациента с четвертым уровнем по GMFCS, который не мог быть оценен вследствие тяжести заболевания. Кроме того, у пациентов со вторым и третьим уровнем увеличились показатели скорости и длины шага. Помимо качества походки отмечается увеличение выносливости во время ходьбы. Пациент с четвертым уровнем по GMFCS смог увеличить дистанцию ходьбы как с экзоскелетом, так и с ходунками. Потребление кислорода оценивалось при проведении теста 6-минутной ходьбы. Пациент с четвертым уровнем по GMFCS не был оценен из-за жалоб на дискомфорт в маске, пациент с третьим уровнем смог снизить затраты на кислород на 75,8 % (с 3,06 до 0,74), со вторым уровнем на 37,3 % (с 1,34 до 0,84).

Одной из причин возникновения двигательных нарушений в раннем возрасте может стать внутричерепная родовая травма, что в дальнейшем приводит к атипичному развитию головного мозга ребенка. Наиболее распространённым физическим нарушением при подобных травмах является ДЦП [6]. Исследования показали, что благодаря свойству нейропластичности, определяемой как способность мозговой ткани реорганизовывать функциональные пути и устанавливать новые связи между своими структурами под действием стимулирующих факторов, возможно частичное или даже полное восстановление утраченных моторных функций [7]. На сегодняшний день, интерпретация нейропластических адаптаций у детей затрудняется влиянием окружающей среды на развитие (естественное, терапевтическое влияние), а также различным

нейроанатомическим и нейрофизиологическим профилем [8, 9]. Несмотря на явные пробелы в научных знаниях о механизмах формирования нейропластичности, уже отмечается существование периодов, во время которых возможно восстановить нормальную активность нейронов и предотвратить долговременные нарушения сенсомоторных цепей [10].

Помимо нарушения статической и динамической координации рук и ног, ДЦП часто сопровождается недостаточной координацией и подвижностью органов речевой артикуляции. В случае, если двигательная активность пальцев недостаточна, то во многих случаях выявляется и задержка речевого развития, чаще всего, проявляющаяся в дизартрии. Опосредованная активация речевых зон коры может осуществляться путем воздействия на рецепторы рук [11]. Отмечается важное место в условиях речевого развития у детей с активацией моторных функций. В своих работах Лурия А. Р. [12] и Бехтерев В. М. [13] доказали, что развитие речевых функций напрямую связано с развитием тонких движений рук. Penfield в своих фундаментальных работах объяснял данную взаимосвязь близким расположением в коре головного мозга речевой и двигательной областей [14]. В своих работах Кольцова М. М. показала, что в процессе формирования речевой области особую важность имеют наличие кинестетических импульсов от рук, которые усиливают ощущения и помогают сформировать устойчивые связи [15]. Также стоит отметить исследования Фоминой Л. В., которые продемонстрировали улучшение развития артикуляции речи при тренировке движения пальцев рук [16]. Таким образом, развитие речи у ребенка напрямую зависит от становления мелкой моторики рук.

Соответственно, **целью** нашего исследования явилась оценка эффективности неинвазивного интерфейса мозг-компьютер «Экзокисть-2» в реабилитации речевых навыков детей с ДЦП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В экспериментальную группу вошли 28 человек (14 девочек, 14 мальчиков) в возрасте от 8 до 15 лет (средний возраст $11,4 \pm 1,9$), которые прошли курс реабилитации с помощью технологии неинвазивный интерфейс мозг-компьютер (НИМК) «Экзокисть-2» по параметрам сенсомоторных ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ). В контрольную группу были включены 20 детей (10 девочек, 10 мальчиков) в возрасте от 8 до 12 лет (средний возраст $10,1 \pm 1,3$), которые проходили стандартное санаторно-курортное лечение.

Критерии исключения: пациенты, родители или законные представители которых отказались от участия в исследовании; имеющие уровень двигательной активности по критериям классификации больших моторных функций (GMFCS) больше III; при наличии плегии верхней конечности, с афатическими нарушениями; медикаментозно некорректируемая эпилепсия; нарушение зрения, не позволяющие различать инструкцию на экране, умственная отсталость умеренной, тяжелой и глубокой степеней (по МКБ – 10 F 71-73).

Всего каждый ребенок проходил 10 сеансов. Частота сеансов – один раз в день. Каждый сеанс состоял из трех сессий по 10 минут с перерывом на отдых не менее

пяти минут. Пациент находился в кресле на расстоянии 1 м от экрана монитора, на который подавались визуальные команды на воображение разгибательных движений левой или правой руки, или расслабление. В течение занятия каждая из ситуаций продолжительностью по 10 секунд повторялась 24 раза. При точном выполнении пациентом задания фиксирующая взор белая метка окрашивалась в зеленый цвет, и перчатка экзоскелета выполняла пассивное разгибание кисти; при недостаточном представлении движения метка осталась белой, и экзоскелет не срабатывал.

Для оценки эффективности реабилитационных процедур с помощью НИМК, а также с помощью стандартных методов санаторно-курортного лечения, каждый ребенок перед первым и после последнего сеанса проходил оценку уровня моторной реализации высказываний, а также словообразовательных навыков. Для этого применялись три методики: «Исследование орального праксиса и артикуляционной моторики», «Исследование звукопроизнесения» и «Составление предложения по картинкам». Методика «Исследование орального праксиса и артикуляционной моторики» позволяет оценить возможность осуществления произвольных и произвольных движений ребенка, как артикуляционных и мимических движений. В ходе исследования ребенку необходимо повторять движения (например, «надуй щеки», «помести язык между верхними зубами и верхней губой») за экспериментатором. Оценивается точность и правильность выполнения движений. Максимальная оценка, которую ребенок может получить – 30 баллов. Методика «Исследование звукопроизнесения» позволяет оценить хорошо ли ребенок открывает рот, выразительна ли его артикуляция во время произнесения звуков. Все звуки разделены на пять групп: свистящие; шипящие; Л, ЛЬ; Р, РЬ; и все остальные звуки. Каждая из пяти групп оцениваются отдельно, полученные баллы суммируются. Максимальная оценка, которую может получить ребенок – 70 баллов. Методика «Составление предложений по картинкам» позволяет оценить выраженность словообразовательных навыков ребенка. Ребенку демонстрируется ряд картинок (например, «мальчик моет руки» или «Мальчик уступает место старушке в трамвае»), которые ему необходимо описать одним предложением. При этом учитывается правильность порядка слов, аграмматизмы и параграмматизмы. Минимальная оценка, которую ребенок может получить за выполнение данного задания – -15 баллов, максимальная оценка – 45 баллов.

Оценку изменений речевых навыков детей, прошедших как реабилитацию с помощью НИМК, так и реабилитацию с помощью стандартных методов санаторно-курортного лечения, производили с применением дисперсионного анализа ANOVA и метода априорных контрастов. Изменения в показателях анализировали с применением ANOVA с факторами «До-после» (2 уровня: до и после проведения реабилитационных мероприятий), «Методы реабилитации» (2 уровня: реабилитация с применением НИМК или с применением стандартного санаторно-курортного лечения), а также взаимодействие факторов «До-после» × «Методы реабилитации». Для оценки эффектов изменений в показателях речевых навыков использовался метод априорных контрастов (оценка F-распределения). Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Статистический анализ показал, что на способность к звукопроизнесению оказывает значимое влияние фактор «Методы реабилитации» ($F_{1,74}=4,899$, $p=0,029$) (Таблица 1). В свою очередь, на навыки орального праксиса и артикуляционной моторики оказывают влияние факторы «До-после» ($F_{1,74}=12,801$, $p<0,001$), «Методы реабилитации» ($F_{1,74}=34,32$, $p<0,001$), а также взаимодействие факторов «До-после» × «Методы реабилитации» ($F_{1,74}=8,136$, $p=0,005$). Также было показано, что на навыки детей грамматически правильно составлять предложения оказывает влияние фактор «До-после» ($F_{1,74}=8,136$, $p=0,005$) и фактор «Методы реабилитации» ($F_{1,74}=7,354$, $p=0,008$).

Таблица 1
Результаты дисперсионного анализа изменений показателей речевых навыков у детей с ДЦП до и после прохождения реабилитации (фактор «До-после») с использованием НИМК или стандартных методов санаторно-курортного лечения (фактор «Методы реабилитации»), а также взаимодействие данных факторов

Сравниваемые показатели		«Исследование звукопроизнесения»	«Исследование орального праксиса и артикуляционной моторики»	«Составление предложения по картинкам»
До-после	$F_{1,74}$	2,991	12,801	4,868
	p	0,087	<0,001	0,030
	η^2	0,038	0,147	0,061
Методы реабилитации	$F_{1,74}$	4,899	34,32	7,354
	p	0,029	<0,001	0,008
	η^2	0,062	0,316	0,090
«До-после» × «Методы реабилитации»	$F_{1,74}$	2,032	8,136	0,868
	p	0,158	0,005	0,354
	η^2	0,026	0,099	0,011

Метод априорных контрастов показал, что у детей, которые проходили реабилитацию с применением НИМК наблюдалось улучшение звукопроизнесения ($F_{1,74}=4,852$, $p=0,03$), артикуляционной моторики ($F_{1,74}=20,157$, $p<0,001$), а также улучшились навыки составления простых предложений по предложенным картинкам ($F_{1,74}=4,8010$, $p=0,03$) (Таблица 2).

Коммуникация является важной составляющей жизни человека. Она включает в себя три аспекта: предметно-содержательный (что человек хочет сказать), фактический и эмоциональный. В зависимости от степени поражения моторных навыков, у детей с детским церебральным параличом наблюдается нарушение всех аспектов коммуникативного процесса. У детей с ДЦП наблюдаются сложности в социальном взаимодействии со сверстниками как в плане игровой деятельности, так

и в попытках выразить свое мнение, желания и эмоции. Все эти факторы отрицательно влияют на качество жизни самих пациентов.

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа изменений показателей речевых навыков у детей с ДЦП до и после реабилитации с использованием НИМК и стандартных методов санаторно-курортного лечения

Сравниваемые показатели	«НИМК»		«Санаторно-курортное лечение»	
	F _{1,74}	p	F _{1,74}	p
«Исследование звукопроизнесения»	4,852	0,030	0,047	0,828
«Исследование орального праксиса и артикуляционной моторики»	20,157	<0,001	0,270	0,604
«Составление предложения по картинкам»	4,8010	0,031	0,833	0,364

Целью исследования стала оценка эффективности неинвазивного интерфейса мозг-компьютер «Экзокисть-2» в реабилитации речевых навыков детей с ДЦП. Ранее было показано, что сеансы адаптивного биоуправления по параметрам ЭЭГ положительно влияют на показатели речевых навыков детей благодаря формированию адекватного мышечного паттерна хватательных движений кисти. Ранее в исследовании было показано, что НИМК позволяет снизить выраженность спастичности, соответственно улучшить моторные навыки, показатели внимания и эмоционального состояния ребенка [17].

Ряд исследований указывают на эффективность адаптивного биоуправления по различным физиологическим параметрам для нейрореабилитации детей и взрослых с церебральным параличом. Например, было показано, что реабилитация с помощью экзоскелета по параметрам электромиограммы мышц нижних конечностей улучшает координацию движений, позволяет увеличить диапазон пассивных движений и походку в целом [18]. Помимо этого, в отдельных исследованиях было показано, что экзоскелет, применяемый в рамках реабилитации двигательных нарушений нижних конечностей, позволяет улучшить угол разгибания в коленном суставе, что, в свою очередь, увеличивает диапазон движений ног [19].

В нашем исследовании используемое в НИМК программное обеспечение обеспечивает выявление намерения выполнить движение на основе анализа паттерна сенсомоторных ритмов ЭЭГ, генерацию визуального сигнала обратной связи и формирование команд управления экзоскелетом кисти руки. Классификация выполняемых задач в программе основана на различиях ковариационных матриц ЭЭГ, соответствующих воображению движений и состоянию покоя, в терминах римановой метрики многообразия симметричных положительно определенных матриц [20].

Сенсомоторные ритмы ЭЭГ в рамках нейрореабилитации представляют особый интерес, поскольку отражают активацию соматосенсорной коры [21]. Ряд исследований указывают на то, что процесс наблюдения за действием [22] и его представления [23] сопровождается активацией премоторных областей, дополнительной моторной области, а также первичной соматосенсорной коры. Кроме того, было показано, что у детей с ДЦП наблюдается сниженная мощность сенсомоторных ритмов в премоторной коре и дополнительной двигательной области, а также теменных долях [24]. Стоит отметить, что в моторной коре левого полушария, которая находится рядом с нижней частью центральной извилины, расположена передняя речевая зона, участвующая в моторной реализации речи. Помимо этого, в задней части височной области находится основная речевая зона, участвующая в анализе, переработке и хранении речевой информации [25]. В недавнем исследовании было показано, что нарушения мелкой и крупной моторики у школьников тесно связаны с нарушением речи (артикуляция, фонематическая и фонологическая составляющие речи) [26]. Также, было показано, что диспраксия, выражающаяся в нарушении координации движений, тесно связана с нарушением речевых функций у детей 4–8 лет [27]. Вышеуказанные исследования позволяют предположить, что использование современных методов нейрореабилитации с применением современных технологий (экзоскелеты, адаптивное биоуправление по физиологическим параметрам различной модальности) могут стать эффективным методом коррекции нарушений не только моторных функций, но и речевых навыков детей и взрослых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенного исследования была показана эффективность метода адаптивного биоуправления, используемого для улучшения артикуляционных навыков у детей с ДЦП. Показано, что на способность к звукопроизнесению и артикуляционную моторику наибольшее влияние оказывала реабилитация с применением НИМК по сравнению со стандартным санаторно-курортным лечением. Полученные данные могут быть использованы для разработки и внедрения новых методов реабилитации, основанных на использовании НИМК «Экзокисть-2», для улучшения речевых навыков у детей с ДЦП.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-15-20035, <https://rscf.ru/project/22-15-20035/>.

Список литературы

1. Ларина Н. В. Комплекс "Экзокисть-2" в реабилитации верхней конечности при детском церебральном параличе с использованием неинвазивного интерфейса "мозг-компьютер" / Н. В. Ларина, Л. Л. Корсунская, С. В. Власенко // Нервно-мышечные болезни. – 2019. – №4.
2. Kim S. K. Overground Robot-Assisted Gait Training for Pediatric Cerebral Palsy / S. K. Kim, D. Park, B. Yoo [et. al] // Sensors (Basel). – 2021. – Vol. 21, No 6. – P. 2087.
3. Russell D. J. The gross motor function measure: A means to evaluate the effects of physical therapy / D. J. Russell, P. L. Rosenbaum, D. T. Cadman [et. al] // Dev. Med. Child Neurol. – 1989. – Т. 31, №. 3. – P. 341–352.

4. Franjoine M. R. Pediatric balance scale: A modified version of the berg balance scale for the school-age child with mild to moderate motor impairment. / M. R. Franjoine, M. J. Gunther // *Pediatr. Phys.* – 2003. – Т. 15, № 2. – P. 114–128.
5. Maher C. A. The six-minute walk test for children with cerebral palsy. / C. A. Maher, M. T. Williams, T. S. Olds // *Int. J. Rehabil. Res.* – 2008. – Vol. 31, № 2. – P. 185–188.
6. Ткаченко Е. С. Детский церебральный паралич: состояние изученности проблемы (обзор) / Е. С. Ткаченко, О. П. Голева, Д. В. Щербаков [и др.] // *МиД.* – 2019. – Т. 2. – С. 4–9.
7. Пирадов М. А. Пластичность мозга и современные технологии нейрореабилитации / М. А. Пирадов, Л. А. Черникова, Н. А. Супонева // *Вестник Российской академии наук.* – 2018. – Т. 88, вып. 4. – С. 299–312.
8. Reid L. B. Interpreting intervention induced neuroplasticity with fMRI: the case for multimodal imaging strategies. / L. B. Reid, R. N. Boyd, R. Cunnington [et. al] // *Neural Plast* – 2016. – Т. 2016.
9. Weinstein M. Understanding the relationship between brain and upper limb function in children with unilateral motor impairments: a multimodal approach. / M. Weinstein, D. Green, J. Rudisch [et. al] // *European journal of paediatric neurology* – 2018. – Vol. 22, № 1. – P. 143–154.
10. McClelland V. M. Sensorimotor Integration in Childhood Dystonia and Dystonic Cerebral Palsy-A Developmental Perspective / V. M. McClelland, J. P. Lin // *Front Neurol.* – 2021. – P. 1092.
11. Конохова Ю. А. Активизация моторных функций как важное условие речевого развития детей. / Ю. А. Конохова // *РЕМ: Psychology. Educology. Medicine.* – 2018 – Т. 2 – P. 100–108.
12. Лурия А. Р. Мозг человека и психические процессы / А. Р. Лурия – М. : Педагогика, 1970. – 495 с.
13. Бехтерев В. М. Избранные труды по психологии личности / В. М. Бехтерев. – СПб : Алетейя, 1999. – 256 с.
14. Пенфилд В. Речь и мозговые механизмы / В. Пенфильд, Л. Робертс ; [Пер. с англ. под ред. В. Н. Мясищева]. – Ленинград : Медицина. Ленингр. отд-ние, 1964. – 264 с
15. Кольцова М. М. Ребенок учится говорить / М. М. Кольцова – М. : Советская Россия, 1973. – 160 с.
16. Фомина Л. В. Роль движений рук и моторной речи ребенка. Проблемы речи и психолингвистики. / Л. В. Фомина – М.: МГПИИЯ. 1971. – С. 36–40.
17. Дягилева Ю. О. Оценка изменения психологических показателей у детей с ДЦП при реабилитации с использованием комплекса экзоскелета кисти с внешним программным управлением и биологической обратной связью "Юниор" / Ю. О. Дягилева, В. Б. Павленко, Н. В. Ларина, Л. Л. Корсунская // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология.* – 2022. – Т. 8 (74), № 2. – С. 156–164.
18. Ueno T. Feasibility and safety of Robot Suit HAL treatment for adolescents and adults with cerebral palsy. / T. Ueno, H. Watanabe, H. Kawamoto // *J. Clin. Neurosci.* – 2019. – Vol. 68. – P. 101–104.
19. Nakagawa S. Safety and immediate effects of Hybrid Assistive Limb in children with cerebral palsy: A pilot study. / S. Nakagawa, H. Mutsuzaki, Y. Mataka // *Brain Dev.* – 2020. – Vol. 42, № 2. – P. 140–147
20. Программа для управления комплексом экзоскелета кисти с биологической обратной связью и контролем электромиограммы при реабилитации детей с синдромом ДЦП. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680732 Российская Федерация. Заявл. 20.09.2021, опубл. 14.12.2021
21. Ritter P. Rolandic alpha and beta EEG rhythms' strengths are inversely related to fMRI BOLD signal in primary somatosensory and motor cortex / P. Ritter, M. Moosmann, A. Villringer // *Human Brain Mapping.* – 2009. – V. 30, № 4. – P. 1168–1187.
22. Wood A. Fashioning the face: sensorimotor simulation contributes to facial expression recognition / A. Wood, M. Rychlowska, S. Korb, P. Niedenthal // *Trends Cogn. Sci.* – 2016. – V. 20. – P. 227–240.
23. Filgueiras A. The neural basis of kinesthetic and visual imagery in sports: an ALE meta-analysis / A. Filgueiras, E. F. Q. Conde, C. R. Hall // *Brain Imaging Behav.* – 2018. – V. 12. – P. 1513–1523.
24. Bourguignon M. Comprehensive Functional Mapping Scheme for Non-Invasive Primary Sensorimotor Cortex Mapping. / M. Bourguignon, V. Jousmäki, B. Marty // *Brain Topogr* – 2013. – Vol. 26, № 3. – P. 511–523.
25. Мастюкова Е. М. Нарушение речи у детей с церебральным параличом. / Мастюкова Е. М., Ипполитова М. В. – М., 1998. – 155 с.

26. McWhirter K. The association between learning disorders, motor function, and primitive reflexes in pre-school children: A systematic review / K. McWhirter, A. Steel, J. Adams // Journal of Child Health Care. – 2022. – 0(0). doi:10.1177/13674935221114187
27. Iuzzini-Seigel J. An Investigation of Developmental Coordination Disorder Characteristics in Children With Childhood Apraxia of Speech / J. Iuzzini-Seigel, L. Moorer, P. Tamplain // Lang Speech Hear Serv Sch. – 2022. – 53(4). – P. 1006–1021. doi: 10.1044/2022_LSHSS-21-00163.

REHABILITATION OF SPEECH FUNCTIONS IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY

Birukova E. A.¹, Orekhova L. S.¹, Pavlenko V. B.¹, Babanov N. D.^{1,2}, Kezik E. V.¹

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal Universiti, Simferopol, Republic of Crimea, Russia*

²*Federal State Budgetary Scientific Institution «Research Institute of Normal Physiology named after P. K. Anokhin», Moscow, Russian Federation*

E-mail: biotema@mail.ru

The article is dedicated to evaluating the effectiveness of biofeedback with a non-invasive external brain computer "Exokist'-2" in terms of electroencephalogram parameters for rehabilitation of speech and language disorders with cerebral palsy. The study involved 48 children aged 8 to 15 years. Children were randomly divided into control (20 people) and experimental (28 people) groups. The average age of the experimental group of patients was 11.4 ± 1.9 years, the average age of the control group of patients was 10.1 ± 1.3 years. The experimental group underwent a course of neurorehabilitation in the amount of 10 sessions. The frequency of sessions is once a day. Each of the three sessions lasted 10 minutes with a rest break (at least five minutes). The patient sat in a chair at a distance of 1 m from the monitor screen, which was given visual commands to imagine flexion movements of the left or right arm, or relaxation. During the rehabilitation session, each of the situations, which lasted 10 seconds, was repeated 24 times. When the patient performed the task accurately, the white mark fixing the gaze turned green, and the exoskeleton glove performed passive flexion of the hand; with insufficient representation of movement, the label remained white, and the exoskeleton did not work.

To assess the effectiveness of rehabilitation procedures using a non-invasive interface, as well as using standard methods of resort treatment, each child was assessed before the first and after the last session, the level of motor implementation of statements, as well as word-formation skills. For this, three methods were used: "Research of oral praxis and articulatory motility", "Research of sound pronunciation" and "Compilation of sentences from pictures".

The results of statistical analysis indicate significant changes in the speech skills of children in the experimental group compared to the control group. So, in the children of the experimental group, there is a significant improvement in articulatory motility, sound pronunciation, as well as skills in compiling simple sentences. The considered method of neurorehabilitation can be used as an additional tool in the rehabilitation of speech disorders observed in children with cerebral palsy.

Keywords: biofeedback, motor load, exoskeletons, cerebral palsy, mental retardation, motor learning, neurorehabilitation, robotic systems.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-15-20035, <https://rscf.ru/project/22-15-20035/>.

References

1. Larina N. V., Korsunskaya L. L., Vlasenko S. V. The "Exo hand-2" complex in the rehabilitation of the upper limb in cerebral palsy using the non-invasive interface "brain-computer". *Neuromuscular Diseases*, **9(4)**, 44 (2019).
2. Kim S. K., Park D., Yoo B., Shim D., Choi J. O., Choi T. Y., Park E. S. Overground Robot-Assisted Gait Training for Pediatric Cerebral Palsy. *Sensors (Basel)*, **21(6)**, 2087, (2021).
3. Russell D. J., Rosenbaum P. L., Cadman D. T., Gowland C., Hardy S., Jarvis S. The gross motor function measure: A means to evaluate the effects of physical therapy. *Dev. Med. Child Neuro.* **31(3)**, 341 (1989).
4. Franjoine M. R., Gunther M. J. Pediatric balance scale: A modified version of the berg balance scale for the school-age child with mild to moderate motor impairment. *Pediatr. Phys.*, **15(2)**, 114 (2003).
5. Maher C. A., Williams M. T., Olds T. S. The six-minute walk test for children with cerebral palsy. *Int. J. Rehabil. Res.*, **31(2)**, 185 (2008).
6. Tkachenko E. S., Goleva O. P., Sherbakov D. V., Khalikova A. R. Cerebral palsy: the state of knowledge of the problem (review). *Mother and baby in Kuzbass*, **2**, 4 (2019).
7. Piradov M. A., Chernikova L. A., Suponeva N. A. Brain plasticity and modern neurorehabilitation technologies. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, **88(4)**, 299 (2018).
8. Reid L. B., Boyd R. N., Cunnington R., Rose S. E. Interpreting intervention induced neuroplasticity with fMRI: the case for multimodal imaging strategies. *Neural Plast.* **2016** (2016).
9. Weinstein M., Green D., Rudisch J., Zielinski I. M., Benthem-Muñiz M., Jongsma M. L., Barker G. J. Understanding the relationship between brain and upper limb function in children with unilateral motor impairments: a multimodal approach. *European journal of paediatric neurology*, **22(1)**, 143 (2018).
10. McClelland V. M., Lin J. P. Sensorimotor Integration in Childhood Dystonia and Dystonic Cerebral Palsy-A Developmental Perspective. *Front Neurol.*, 1092 (2021).
11. Konyukhova Yu. A. Activation of motor functions as an important condition for speech development of children. *PEM: Psychology. Educology. Medicine.* **2**, 100 (2018).
12. Luriya A. R. *The human brain and mental processes*, 495 (M. : Pedagogy, 1970).
13. Bekhterev V. M. *Selected works on personality psychology*, 256 (St.P. : Aletejya, 1999).
14. Penfield W., Roberts L. *Speech and brain-mechanisms*, 264 (Leningrad : Medicine., 1964)
15. Kol'cova M. M. *The child learns to talk*, 160 (M. : Soviet Russia, 1973).
16. Fomina L. V. *The role of hand movements and motor speech in a child. Problems of speech and psycholinguistics*, 36 (M.: MSPIFL., 1971).
17. Dyagileva Yu. O., Pavlenko V. B., Larina N. V., Korsynskaya L. L. Evaluation of changes in psychological indicators in children with cerebral palsy during rehabilitation using the hand exoskeleton complex "Junior" with external program control and biofeedback. *Scientific Notes of Crimean Federal V.I. Vernadsky University*, **8(74), 2**, 156 (2022).
18. Ueno T., Watanabe H., Kawamoto H. Feasibility and safety of Robot Suit HAL treatment for adolescents and adults with cerebral palsy. *J. Clin. Neurosci.*, **68**, 101 (2019).
19. Nakagawa S., Mutsuzaki H., Mataka Y. Safety and immediate effects of Hybrid Assistive Limb in children with cerebral palsy: A pilot study. *Brain Dev.*, **42(2)**, 140 (2020).
20. Program for control of hand exoskeleton complex with biofeedback and electromyogram control for rehabilitation of children with cerebral palsy syndrome. State Registration Certificate No. 2021680732 Russian Federation. Statements 20.09.2021, published by 14.12.2021
21. Ritter P., Moosmann M., Villringer A. Rolandic alpha and beta EEG rhythms' strengths are inversely related to fMRI BOLD signal in primary somatosensory and motor cortex. *Human Brain Mapping.*, **30(4)**, 1168 (2009).

22. Wood A., Rychlowska M., Korb S., Niedenthal P. Fashioning the face: sensorimotor simulation contributes to facial expression recognition. *Trends Cogn. Sci.*, **20**, 227 (2016).
23. Filgueiras A., Conde E. F. Q., Hall C. R. The neural basis of kinesthetic and visual imagery in sports: an ALE meta-analysis. *Brain Imaging Behav.* **12**, 1513 (2018).
24. Bourguignon M, Jousmäki V., Marty B. Comprehensive Functional Mapping Scheme for Non-Invasive Primary Sensorimotor Cortex Mapping. *Brain Topogr.*, **26(3)**, 511 (2013).
25. Mastjukova E. M., Ippolitova M. V. *Speech impairment in children with cerebral palsy*, 155 (M., 1998).
26. McWhirter K., Steel A., Adams J. The association between learning disorders, motor function, and primitive reflexes in pre-school children: A systematic review. *Journal of Child Health Care*, (2022).
27. Iuzzini-Seigel J., Moorer L., Tamplain P. An Investigation of Developmental Coordination Disorder Characteristics in Children With Childhood Apraxia of Speech. *Lang Speech Hear Serv Sch.*, **53(4)**, 1006 (2022).