

Агранович Олег Виленич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой неврологии и нейрореабилитации; зав. психоневрологическим отделением; тел.: +79624548452; e-mail: oagranovich@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0261-612X>
Кузнецова Вера Валентиновна, ассистент кафедры иммунологии с курсом ДПО; тел.: +79887007469; e-mail: kuznetsovavera96@mail.ru
Козьмова Наталья Александровна, ассистент кафедры; тел.: +79054493933; e-mail: n-kozмова@mail.ru

© Коллектив авторов, 2023

УДК 615.834 – 616.71:616.834 – 009.1

DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2023.18088>

ISSN – 2073-8137

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ НЕЙРОТРОФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В КРОВИ БОЛЬНЫХ ДЦП ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЛЬФИНОТЕРАПИИ И ЗАНЯТИЙ НА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «ЭКЗОКИСТЬ»

М. Д. Отинов¹, С. В. Власенко¹, Е. С. Агеева², Е. А. Бирюкова³,
Л. С. Орехова³, Э. А. Османов¹, Ф. С. Власенко³

¹ Научно-исследовательский институт детской курортологии, физиотерапии и медицинской реабилитации, Евпатория, Российская Федерация

² Медицинская академия им. С. И. Георгиевского, Симферополь, Российская Федерация

³ Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

DYNAMICS OF THE CONTENT OF NEUROTROPHIC FACTORS IN THE BLOOD OF PATIENTS WITH ICP UNDER THE INFLUENCE OF DOLPHIN THERAPY AND EXERCISES AT THE EXOKIST ROBOTIC COMPLEX

Otinov M. D.¹, Vlasenko S. V.¹, Ageeva E. S.², Biryukova E. A.³,
Orehova L. S.³, Osmanov E. A.¹, Vlasenko F. S.³

¹ Research Institute of Children's Balneology, Physiotherapy and Medical Rehabilitation, Evpatoria, Russian Federation

² S. I. Georgievsky Medical Academy, Simferopol, Russian Federation

³ V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

Определяли содержание нейротрофических факторов в крови 58 детей с детским церебральным параличом и их динамику после проведения курса занятий с дельфинами и на роботизированной системе интерфейс «мозг – компьютер – экзоскелет кисти». Установлено, что данные виды реабилитации вызывают изменения в содержании нейротрофических факторов: статистически незначительное увеличение после дельфинотерапии и снижение после занятий на робототехническом комплексе «экзокисть». По-видимому, вышеперечисленные методы реабилитации имеют различные механизмы влияния на процессы нейротрофической регуляции, репаративные процессы в центральной нервной системе.

Ключевые слова: детский церебральный паралич, дельфинотерапия, роботизированная система, нейротрофические факторы

The content of neurotrophic factors was determined in the blood of 58 children with cerebral palsy and their dynamics after a course of classes with dolphins and on a robotic «brain – computer – exoskeleton» interface system. It has been established that these types of rehabilitation cause certain changes in the content of neurotrophic factors: a statistically insignificant increase after dolphin therapy and a decrease after robot training. Apparently, the above methods of rehabilitation have different mechanisms of influence on the processes of neurotrophic regulation, reparative processes in the central nervous system.

Keywords: cerebral palsy, dolphin therapy, robotic system, neurotrophic factors

Для цитирования: Отинов М. Д., Власенко С. В., Агеева Е. С., Бирюкова Е. А., Орехова Л. С., Османов Э. А., Власенко Ф. С. ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ НЕЙРОТРОФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В КРОВИ БОЛЬНЫХ ДЦП ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЛЬФИНОТЕРАПИИ И ЗАНЯТИЙ НА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «ЭКЗОКИСТЬ». Медицинский вестник Северного Кавказа. 2023;18(4):373-377. DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2023.18088>

For citation: Otinov M. D., Vlasenko S. V., Ageeva E. S., Biryukova E. A., Orekhova L. S., Osmanov E. A., Vlasenko F. S. DYNAMICS OF THE CONTENT OF NEUROTROPHIC FACTORS IN THE BLOOD OF PATIENTS WITH ICP UNDER THE INFLUENCE OF DOLPHIN THERAPY AND EXERCISES AT THE EXOKIST ROBOTIC COMPLEX. *Medical News of North Caucasus*. 2023;18(4):373-377. DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2023.18088> (In Russ.)

ГС – группа сравнения
ДТ – дельфинотерапия
ДЦП – детский церебральный паралич
НТФ – нейротрофический фактор
ОГ – основная группа

ЦНС – центральная нервная система
BDNF – нейротрофический фактор мозга
FGF – фактор роста фибробластов
IGF – инсулиноподобный фактор роста
NGF – фактор роста нервов

Изучению роли нейротрофических факторов (НТФ) в функционировании центральной нервной системы посвящено большое количество исследований. Доказана важная роль НТФ в обеспечении жизнеспособности нейронов, в процессах нейротрофической регуляции и нейропластичности мозга, регуляции процессов роста и дифференцировки нервной ткани [1–6]. В настоящее время продолжают исследования по изучению механизмов действия НТФ, открываются новые факторы. Одними из первых открытых и наиболее изученных в настоящее время являются: нейротрофический фактор мозга (BDNF), фактор роста фибробластов (FGF), инсулиноподобный фактор роста (IGF), фактор роста нервов (NGF) [3–6].

В детской неврологии изучению механизмов действия НТФ, их концентрации, а также их динамики при различных патологических состояниях, в процессе реабилитации уделяется пристальное внимание. Высказывается мнение, что данные показатели могут отражать степень структурных изменений нервной ткани, ее возможности к восстановлению, а также реабилитационный потенциал методики, степень ее влияния на структурно-функциональную перестройку деятельности нервной системы. Проведенные в последние годы исследования динамики нейротрофических факторов у детей с различной неврологической патологией доказали, что содержание их в периферической крови, а также динамика показателей в процессе лечения имеют определенную прогностическую значимость [1–4, 7, 8]. Внедрение в реабилитационную практику робототехнических методик с программами искусственного интеллекта позволило повысить эффективность реабилитации.

Детский церебральный паралич (ДЦП) как наиболее часто встречающееся патологическое состояние среди детей-инвалидов имеет особую социальную значимость. Поэтому выбор тактики реабилитации, формирование оптимальных для детского организма программ с позиции их влияния на репаративные процессы в центральной нервной системе (ЦНС) в настоящее время актуальны [9, 10].

Целью настоящего исследования стало изучение динамики нейротрофических факторов в крови больных ДЦП под влиянием дельфинотерапии и роботизированной системы интерфейс «мозг – компьютер – экзоскелет кисти».

Материал и методы. Клинико-лабораторное исследование проведено на базе дельфинотерапии в научно-исследовательском центре «Государственный океанариум» в крытом морском бассейне на базе санатория Министерства обороны «Крым», а также санатория для детей и детей с родителями «Чайка» им. Гелиевичей в соответствии с протоколом, рассмотренным и одобренным комитетом по биоэтике. От родителей или законных представителей детей получено информированное согласие на участие в исследовании.

Под наблюдением находились 58 детей обоего пола, больных ДЦП в форме спастической диплегии. Возраст исследуемых был от 8 до 14 лет (средний воз-

раст $11,4 \pm 1,9$). Пациенты, включенные в исследование, были разделены на две репрезентативные по возрасту и полу группы. Основная группа (ОГ) – 27 человек, прошла курс дельфинотерапии (ДТ). 31 ребенок – группа сравнения (ГС), занималась на робототехническом комплексе «Экзокисть». Курс занятий в обеих группах составил 10 процедур. В курс лечения также входили процедуры общего (пеллоидотерапия, гидрокинезотерапия в бассейне) и местного (электростимуляция мышц, магнитотерапия, массаж) воздействий, со всеми пациентами проводилась лечебная гимнастика.

В ОГ занятия проводили в закрытом бассейне с морской водой при температуре 25–28 °С в игровой форме. Процедура начиналась непосредственно около бассейна и продолжалась в бассейне. Продолжительность «сухой» и «водной» частей различались в зависимости от подготовленности ребенка к общению с дельфином в водной среде. Все дельфины (черноморская афалина – *Tursiops truncatus ponticus*) были женского пола, в возрасте от 5 лет, на протяжении не менее 5 лет проводили занятия и тренировались с инструкторами [11, 12].

Первые 4 занятия были подготовительными, посвящены знакомству с дельфином, установлению контакта, разучиванию упражнений возле бассейна на расслабление мышц, на сопротивление, улучшение равновесия и двигательной координации, на ловкость и внимательность. Последующие 6 занятий заключались в работе с дельфином в воде. После этапа привыкания к воде в течение пяти минут ребенок выполнял активные движения в суставах конечностей. В дальнейшем проводили работу пациента и дельфина, включающую поглаживание и обнимание дельфина, захват и удержание руками плавников, совместное катание на дельфине с тренером. Окончание занятия включало отдых в воде в течение пяти минут, стабилизацию дыхания. Тренер осуществлял пассивные движения в конечностях, направленные на расслабление.

Каждый ребенок ГС проходил по 10 сеансов реабилитации по 10 процедур с помощью экзоскелета кисти «Экзокисть» производства консорциума: НПО «Андронидная техника», Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова и Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Работа роботизированного комплекса осуществлялась с помощью программы для ЭВМ, разработанной коллективом Крымского федерального университета и АО НПО «Андронидная техника» (свидетельство о государственной регистрации программы № 2021680732). Во время тренинга пациенты сидели в кресле на расстоянии полутора метров от компьютерного монитора, на котором предьявлялись визуальные инструкции. С помощью программы проводился анализ паттернов ЭЭГ, возникающих при воображении разгибания пальцев кисти, находившихся внутри «рукавиц» экзоскелета. При точном выполнении пациентом задания фиксирующая взор белая метка в центре экрана окрашивалась в зеленый цвет (интенсивность цвета зависела от параметров элек-

троэнцефалограммы). В начале сеанса ребенок пытался расслабить руки (активировалась верхняя стрелка в течение 12 с), потом воображал движение разгибания кисти левой или правой руки (в течение 12 с активировалась левая или правая стрелки). Ситуация воображения движений каждой руки повторялась в течение сеанса 24 раза. Экзоскелет выполнял соответствующее движение, и кисть руки пассивно разгибалась в результате формирования комбинированного зрительного и кинестетического сигнала обратной связи.

Всем пациентам проводилось комплексное обследование. Степень выраженности пареза определялась по пятибалльной шкале. Шкала функционирования верхних конечностей – MACS позволяет классифицировать манипуляторную деятельность рук детей с ДЦП от 4 до 18 лет в соответствии с возрастными особенностями. Шкала «ABILHAND-Kids» – тест оценки родителями двигательной функции верхней конечности ребенка в быту по субъективным наблюдениям классифицируется на три группы: «Невозможно» – 1 балл, «Трудно» – 2 балла и «Легко» – 3 балла.

В плазме крови определяли уровень нейротрофических факторов (НТФ): нейротрофического фактора мозга (BDNF), фактора роста фибробластов (FGF), цилиарного нейротрофического фактора (CNTF), фактора роста нервов (NGF) – до и после реабилитации методом иммуноферментного анализа с помощью набора реагентов компании Cloud-Clone Corp. (USA) в соответствии с инструкцией производителя.

Статистический анализ проводили с использованием пакета программ STATISTICA v.6.0 (StatSoft Inc., USA). Сравнительный анализ количественных переменных был произведен при помощи t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Спастическая диплегия (болезнь Литтля) характеризуется преимущественным поражением нижних конечностей. Традиционно влияние реабилитации направлено на развитие способности ребенка самостоятельно передвигаться. Разработаны программы реабилитации, снижающие спастичность и вырабатывающие новые двигательные стереотипы.

Восстановлению функции верхних конечностей, учитывая их ведущую роль в адаптации ребенка, овладению им бытовыми навыками, социализации также уделяется внимание. Однако эффективность реабилитационных методик, традиционно используемых с целью восстановления манипулятивных возможностей ребенка, пока недостаточно высока [9–14]. Это обусловлено тем, что достижение необходимого уровня координации движений осуществимо только при полной автоматизации работы звеньев ЦНС – вестибулярного аппарата, проводников глубокой мышечной чувствительности и коры мозга, мозжечка.

При первичном обследовании пациентов обеих групп были выявлены характерные патологические изменения. Так, мышечная сила в верхних конечностях составляла в среднем $2,34 \pm 0,02$ балла. Уровень патологического гипертонуса был выражен незначительно, необходимости в целенаправленном его снижении не было. Движения были возможны в полном объеме, но при условии полной разгрузки. Таким образом, у всех детей выраженных контрактур, деформаций, патологических установок выявлено не было. Однако функция руки была значительно нарушена. Уровень по шкале MACS составил в среднем по группе $3,26 \pm 0,4$. Ребенок мог захватывать некоторые предметы, однако нуждался в помощи. Кроме того, для достижения более высокого результата в виде захвата мелких, скользких пред-

метов необычной формы требовалась тренировка. В итоге быстро терялся интерес к выполнению заданий, которые были сложными и требовали напряжения.

Тестирование по шкале «ABILHAND-Kids» показало в среднем по группе $1,56 \pm 0,3$ балла. Ребенок испытывал затруднения по всем предлагаемым тестам. Все задания выполнялись двумя руками. Выполнение всех бытовых навыков: гигиенических процедур, одевания, питания были практически невозможными. Страдало также качество выполнения: проливалась вода, рассыпались продукты из упаковки и т. д.

Таким образом, клинический осмотр показал грубые расстройства манипулятивных функций, несмотря на отсутствие ортопедических нарушений, выявляемых в нижних конечностях. По-видимому, проводимые ранее реабилитационные мероприятия, направленные на развитие манипулятивной функции, были недостаточно эффективными. Учитывая, что средний возраст детей, включенных в исследование, составил около 11 лет, выявленные нарушения констатировали факт социальной дезадаптации и необходимости в постоянной помощи взрослого. Следует отметить, что все пациенты ранее регулярно получали курсы реабилитации, не менее 2–4 раз в год, которые включали процедуры, снижающие спастичность (пеллоидотерапию, массаж, ботулинотерапию), стимулирующие ослабленные мышцы (электростимуляция, БОС, лечебная гимнастика). Однако такой подход оказался недостаточно эффективным.

Методика дельфинотерапии в контексте реабилитации верхних конечностей не является узкоспециализированной, однако практически все упражнения, выполняемые ребенком (поглаживание дельфина, игра с мячом, обручем, плавание, держась за плавник и т. д.), связаны с развитием манипулятивной функции рук. Поэтому следует ожидать положительной динамики в формировании праксиса. Учитывая, что занятия проходят на эмоционально положительном игровом фоне, без принуждения у ребенка в общении с животным формируется высокая мотивационная направленность.

Занятия на робототехническом комплексе требуют от пациента высокой степени сосредоточения, что не всегда достижимо в полном объеме. Включение ребенка в процесс зачастую происходит только на втором-третьем занятии. Кроме того, саму процедуру ребенок воспринимает как занятие, навязанное взрослым, поэтому эмоциональный фон не всегда положителен, хотя выраженного негативизма ни в одном случае не отмечалось. Динамика клинических проявлений заболевания при повторном тестировании представлена в таблице 1.

Таблица 1
Изменение клинических показателей у детей с ДЦП после различных реабилитационных программ ($M \pm m$)

Шкала	Группы больных	
	ОГ (n=27)	ГС (n=31)
Степень выраженности пареза, баллы	$2,34 \pm 0,22$ $4,57 \pm 0,24$ ■	$2,34 \pm 0,22$ $3,19 \pm 0,36$ ■**
MACS, уровень	$3,26 \pm 0,4$ $2,03 \pm 0,15$ ■	$3,26 \pm 0,4$ $2,32 \pm 0,12$ ■
«ABILHAND-Kids», баллы	$1,26 \pm 0,3$ $1,53 \pm 0,15$	$1,26 \pm 0,3$ $2,43 \pm 0,15$ ■**

Примечание: в числителе – показатели до лечения, в знаменателе – после лечения. Достоверность отличий в группах с показателями до и после лечения: ■ – $p < 0,05$, ■■ – $p < 0,001$; достоверность отличий после лечения в группах ОГ и ГС: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,001$.

Положительная динамика была выявлена у всех включенных в исследование детей. Однако показатели мышечной силы достоверно изменились только в ОГ. Таким образом, кинезотерапия в бассейне с дельфином способствовала укреплению мышц верхних конечностей. При исследовании по шкале MACS положительная динамика также определялась в обеих группах больных. Отмечалось улучшение по качеству и скорости выполнения манипуляций руками, однако более выраженная динамика отмечалась в группе детей, прошедших курс робототерапии. Социальные возможности в бытовом самообслуживании статистически достоверно возросли в ГС после робототерапии. Ребенку стало легче одеваться, чистить зубы, пить из стакана, хотя выполнялись все действия двумя руками.

Исследование уровней нейротрофических факторов представлено в таблице 2. У пациентов ГС отмечено снижение концентрации в периферической крови НТФ, достоверно выраженное по показателю BDNF. Считается, что BDNF является маркером, достоверно определяющим происходящие в организме процессы нейропластичности, его уровень в периферической крови коррелирует с уровнем в ЦНС [2, 3, 5, 6, 8]. Снижение показателя в группе ГС может косвенно характеризовать интенсивность данных процессов под влиянием занятий на роботизированном комплексе. Тенденция к снижению других показателей подтверждает мнение о том, что на протяжении 10 дней, в течение которых ребенок активно работает в аппаратно-программном комплексе, активизируются процессы регенерации и соответственно потребление НТФ в ЦНС, происходит реорганизация морфологической структуры и перестройка функциональных связей между нейронами, увеличиваются функциональные возможности мозга.

Таблица 2
Динамика нейротрофических факторов в крови у детей после реабилитации (M±m)

Показатель	Группы больных	
	ОГ (n=27)	ГС (n=31)
Фактор роста фибробластов 1 (FGF-1), пг/мл	20,1±4,8 28,3±3,4■	19,7±4,8 18,2±4,07**
Фактор роста головного мозга (BDNF), пг/мл	158,4±5,7 225,9±9,9■	152,3±4,5 120,5±3,3■**
Фактор роста нервов (NGF), пг/мл	20,1±6,0 21,5±4,5	19,0±6,2 18,4±3,4
Цилиарный нейротрофический фактор (CNTF), пг/мл	28,2±4,9 25,3±4,4	29,9±4,8 25,9±4,4

Примечание: см. таблицу 1.

У пациентов ОГ по сравнению с ГС выявлена противоположная тенденция к повышению уровней НТФ в крови. Достоверно значимые изменения

установлены также по показателям фактора роста фибробластов и фактора роста головного мозга. Таким образом, реабилитация с включением ДТ с гидрокинезотерапией в бассейне оказывает системное действие на организм, стимулирует выработку НТФ. Влияние различных методов реабилитации на увеличение содержания НТФ было описано ранее авторами [1, 2, 4–6]. Дельфинотерапия как один из вариантов анималотерапии оказывает также влияние на процессы нейрорегенерации. Преимущества данного метода заключаются в положительном эмоциональном фоне ребенка и в том, что занятия проводятся в бассейне.

Противоположные тенденции, выявленные в ОГ и ГС, характеризуют, по-видимому, степень интенсивности происходящих в организме ребенка процессов нейрорегенерации. Наиболее интенсивно они протекают у пациентов ГС под влиянием роботизированного комплекса, в результате чего потребность в НТФ значительно возрастает.

Результаты клинического тестирования соответствуют данным, полученным при изучении нейротрофических факторов. Формирование «сложных» мануальных функций требует активизации практически всех отделов ЦНС, формирования функциональных связей как по горизонтали, между различными отделами коры ГМ, так и по вертикали: кора – подкорковые отделы – периферия. Улучшение показателей в ГС по шкале «ABILHAND-Kids», развитие бытовых навыков характеризуют высокую эффективность занятий на роботизированном комплексе, влияющих на восстановление нейрональной регуляции сложных двигательных навыков [15].

Заключение. Полученные данные характеризуют высокую эффективность роботизированных технологий. Однако эффективность и безопасность «традиционных» методов реабилитации является доказанной, что также подтверждено настоящим исследованием. По-видимому, необходимо искать оптимальные сочетания факторов воздействий на организм ребенка. Немаловажным, а зачастую и определяющим фактором успеха лечения, особенно у детей, является положительный психоэмоциональный фон, на котором проводится реабилитационный курс. Вместе с тем высокая интенсивность метода может в отдельных случаях приводить к срыву компенсаторных возможностей растущего организма, развитию нежелательных патологических реакций, негативизма и отрицания. Поэтому изучение влияния методов реабилитации на организм, оптимальное сочетание применяемых методик, определение последовательности, длительности и интенсивности, частоты повторности остаются важной проблемой реабилитологии.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Литература/References

1. Ульянов В. Ю., Норкин И. А., Дроздова Г. А., Конюченко Е. А. Факторы роста нервной ткани как маркеры оценки процессов нейрогенеза при травматической болезни спинного мозга. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2014;10(3):446-449. [Ul'yanov V. Yu., Norkin I. A., Drozdova G. A., Konyuchenko E. A. Faktory rosta nervnoi tkani kak markery otsenki protsessov neirogeneza pri travmaticheskoi bolezni spinnogo mozga. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal*. 2014;10(3):446-449. (In Russ.)].
2. Панова М. С., Панченко А. С., Зиганшин А. М., Мудров В. А. Нейроспецифические маркеры поражения головного мозга у детей раннего возраста. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2022;67(5):55-61. [Panova M. S., Panchenko A. S., Ziganshin A. M., Mudrov V. A. Neurospetsificheskie markery porazheniya golovnogo mozga u detei rannego vozrasta. *Rossiiskii*

vestnik nauchno-meditsinskii zhurnal. 2014;10(3):446-449. (In Russ.)].

2. Панова М. С., Панченко А. С., Зиганшин А. М., Мудров В. А. Нейроспецифические маркеры поражения головного мозга у детей раннего возраста. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2022;67(5):55-61. [Panova M. S., Panchenko A. S., Ziganshin A. M., Mudrov V. A. Neurospetsificheskie markery porazheniya golovnogo mozga u detei rannego vozrasta. *Rossiiskii*

- vestnik perinatologii i pediatrii. – Russian journal of perinatology and pediatrics. 2022;67(5):55-61. (In Russ.)). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2022-67-5-55-61>
3. Hansen S., Lorentzen J., Pedersen L., Pingel J., Nielsen B. [et al.]. Suboptimal Nutrition and Low Physical Activity Are Observed Together with Reduced Plasma Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) Concentration in Children with Severe Cerebral Palsy (CP). *Nutrients*. 2019;11:620. <https://doi.org/10.3390/nu11030620>
 4. Houlton J., Abumaria N., Hinkley S. F. R., Clarkson A. N. Therapeutic Potential of Neurotrophins for Repair After Brain Injury: A Helping Hand from Biomaterials. *Front. Neurosci*. 2019;13:790. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00790>
 5. Siang N. T., Coughlan C., Heyn P., Tagawa A., Carollo J. J. [et al.]. Increased plasma brain-derived neurotrophic factor (BDNF) as a potential biomarker for and compensatory mechanism in mild cognitive impairment: a case-control study *AGING*. 2021;13(19):22666-22689. <https://doi.org/10.18632/aging.203598>
 6. Li E. Y., Zhao P. J., Jian J., Yin B. Q., Sun Z. Y. [et al.]. Vitamin B1 and B12 mitigates neuron apoptosis in cerebral palsy by augmenting BDNF expression through MALAT1/miR-1 axis. *Cell Cycle*. 2019;18(21):2849-2859. <https://doi.org/10.1080/15384101.2019.1638190>
 7. Stavsky M., Mor O., Mastrolia S. A., Greenbaum S., Than N. Gr. [et al.]. Cerebral palsy trends in epidemiology and recent development in prenatal mechanisms of disease, treatment, and prevention. *Front. Pediatr*. 2017;5:21. <https://doi.org/10.3389/fped.2017.00021>
 8. Magalhaes R. C., Moreira J. M., Lauer A. O., Silva A. A., Teixeira A. L. [et al.]. Inflammatory biomarkers in children with cerebral palsy: A systematic review. *Res. Dev. Disabil*. 2019;95:103508. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2019.103508>
 9. Батышева Т. Т., Гузева В. И., Гузева О. В., Гузева В. В. Совершенствование доступности и качества медицинской помощи и реабилитации детей с детским церебральным параличом. *Педиатрия*. 2016;7(1):65-72. [Batyshcheva T. T., Guzeva V. I., Guzeva O. V., Guzeva V. V. Sovershenstvovanie dostupnosti i kachestva meditsinskoi pomoshchi i reabilitatsii detei s detskim tserebral'nym paralichom. *Pediatr*. – *Pediatr*. 2016;7(1):65-72. (In Russ.)). <https://doi.org/10.17816/PED7165-72>
 10. Patel D., Neelakantan M., Karan Pandher K., Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Transl. Pediatr*. 2020;9(Suppl.1):125-135. <https://doi.org/10.21037/tp.2020.01.01>
 11. Коданева Л. Н., Адиятуллина Н. В. Возможности гидрокинезотерапии в реабилитации детей с болезнью Литтля. *Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта*. 2018;1(155):122-126. [Kodaneva L. N., Adiyatullina N. V. Vozmozhnosti gidrokinezoterapii v reabilitatsii detei s boleznyu Littlya. *Uchenye zapiski universiteta im. P. F. Lesgafta*. – *Scientific notes of P. F. Lesgaft University*. 2018;1(155):122-126. (In Russ.))]
 12. Гундаренко С. В., Селезнёв С. Б., Косенко В. Г. [и др.]. Клинико-психологические аспекты развития дельфинотерапии как метода психологической коррекции психических и поведенческих расстройств у детей с ограниченными возможностями здоровья (аналитический обзор литературы). *Медицинская психология в России*. 2019;11,4,2(55):5-23. [Gundarenko S. V., Seleznev S. B., Kosenko V. G. [et al.]. Kliniko-psikhologicheskie aspekty razvitiya del'finoterapii kak metoda psikhologicheskoi korektsii psikhicheskikh i povedencheskikh rasstroystv u detei s ogranichennymi vozmozhnostyami zdorov'ya (analiticheskii obzor literatury). *Meditsinskaya psikhologiya v Rossii*. 2019;11,4,2(55):5-23. (In Russ.)). <https://doi.org/10.24412/2219-8245-2019-2-5>
 13. Фролов А. А., Бобров П. Д. Интерфейс мозг-компьютер: нейрофизиологические предпосылки и клиническое применение. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*. 2017;67(4):365-376. [Frolov A. A., Bobrov P. D. Interfeis mozg-komp'yuter: neurofiziolicheskie predposylki i klinicheskoe primeneniye. *Zhurnal vysshej nervnoi deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*. 2017;67(4):365-376. (In Russ.)). <https://doi.org/10.7868/S0044467717040013>
 14. Левицкая О. С., Лебедев М. А. Интерфейс мозг-компьютер: будущее в настоящем. *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2016;2:4-16. [Levitskaya O. S., Lebedev M. A. Interfeis mozg-komp'yuter: budushchee v nastoyashchem. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. – *Bulletin of the Russian State Medical University*. 2016;2:4-16. (In Russ.)). <https://doi.org/10.24075/brsmu.2016-02-01>
 15. Ларина Н. В., Павленко В. Б., Корсунская Л. Л., Дягилева Ю. О., Фалалеев А. П. [и др.]. Возможности реабилитации детей с синдромом ДЦП с применением роботизированных устройств и биологической обратной связи. *Бюллетень сибирской медицины*. 2020;19(3):156-165. [Larina N. V., Pavlenko V. B., Korsunskaya L. L., Dyagileva Yu. O., Falaleev A. P. [et al.]. Vozmozhnosti reabilitatsii detei s sindromom DTSP s primeneniem robotizirovannykh ustroystv i biologicheskoi obratnoi svyazi. *Byulleten' sibirskoi meditsiny*. – *Bulletin of Siberian Medicine*. 2020;19(3):156-165. (In Russ.)). <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2020-3-156-165>

Поступила 04.04.2023

Сведения об авторах:

Отинов Максим Дмитриевич, научный сотрудник;
тел.: +79788443495; e-mail: dr_otinov@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0984-0773>

Власенко Сергей Валерьевич, доктор медицинских наук, старший научный сотрудник;
тел.: +79787665546; e-mail: vlasenko65@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1417-1164>

Агеева Елизавета Сергеевна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой медицинской биологии;
тел.: +79785065501; e-mail: ageevaeliz@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3770-2965>

Бирюкова Елена Александровна, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе;
тел.: +79786280287; e-mail: biotema@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2628-0923>

Орехова Лилия Сергеевна, ведущий специалист;
тел.: +79787867697; e-mail: lilii_psy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0353-641X>

Османов Эрнест Ахтемович, кандидат медицинских наук, научный сотрудник;
тел.: +79780276049; e-mail: spaun55@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3022-0269>

Власенко Федор Сергеевич, лаборант;
тел.: +79787666164; e-mail: fedor.vlasenko2019@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9516-9340>