



Опыт применения метода транскраниальной магнитной стимуляции у детей с тяжелой черепно-мозговой травмой: рандомизированное проспективное исследование

Ахмадуллина Э.М.^{1,2,*}, Бодрова Р.А.², Рахмаева Р.Ф.^{1,3}

¹ ГАУЗ «Детская республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан», Казань, Россия

² Казанская государственная медицинская академия — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Казань, Россия

³ ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Казань, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. На сегодняшний день тяжелая черепно-мозговая травма (ТЧМТ) несет серьезную угрозу для жизни и здоровья пострадавших детей, что требует длительного дорогостоящего лечения и продолжительной реабилитации. Улучшение диагностики, реанимационной и нейрохирургической помощи детям при ТЧМТ приводит к увеличению процента выживших пациентов, что обуславливает необходимость разработки и внедрения индивидуальных программ ранней реабилитации. Одной из задач ранней реабилитации является снижение спастичности конечностей, в связи с чем в условиях нашего стационара применяется транскраниальная магнитная стимуляция (ТКМС). Приводится опыт использования метода ТКМС в первый месяц ТЧМТ у детей, благодаря которому улучшается динамика восстановления утраченных функций.

ЦЕЛЬ. Оценка эффективности применения метода транскраниальной магнитной стимуляции у детей в остром периоде тяжелой черепно-мозговой травмы с включением в программу ранней медицинской реабилитации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. 40 пациентов с ТЧМТ, проходивших лечение в ГАУЗ ДРКБ МЗ РТ, г. Казань, были взяты на курацию. Методом рандомизации выделены основная и контрольная группы. В основную группу вошли 20 (50 %) пациентов, получавших в программе ранней медицинской реабилитации процедуру транскраниальной магнитной стимуляции. В контрольную группу включено 20 пациентов (50 %), получавших только стандартную программу медицинской реабилитации. Пациентам основной группы с 10-х суток после получения тяжелой черепно-мозговой травмы проводились процедуры ТКМС дополнительно к программе ранней медицинской реабилитации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В результате проведенного курса терапии с включением в реабилитационные мероприятия ТКМС наблюдалось повышение двигательной активности пораженной конечности, что привело к улучшению самообслуживания пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Включение в программу ранней медицинской реабилитации детей с тяжелой черепно-мозговой травмой транскраниальной магнитной стимуляции формирует подходящие условия для компенсаторно-регенераторных процессов в головном мозге за счет деполяризации мембраны корковых нейронов. У данной группы пациентов наблюдались отчетливая динамика повышения мышечной силы и снижение спастичности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети, тяжелая черепно-мозговая травма, ранняя медицинская реабилитация, мышечный тонус, транскраниальная магнитная стимуляция.

Для цитирования / For citation: Ахмадуллина Э.М., Бодрова Р.А., Рахмаева Р.Ф. Опыт применения метода транскраниальной магнитной стимуляции у детей с тяжелой черепно-мозговой травмой: рандомизированное проспективное исследование. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22(3): 8-16. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-8-16> [Akhdadullina E.M., Bodrova R.A., Rakhmaeva R.F. Transcranial Magnetic Stimulation Application in Children with Severe Traumatic Brain Injury: a Randomized Prospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(3): 8-16. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-8-16> (In Russ.).]

*Для корреспонденции: Ахмадуллина Эльза Махмутовна, E-mail: elvira_elza@bk.ru

Статья получена: 28.02.2023

Поступила после рецензирования: 10.04.2023

Статья принята к печати: 01.06.2023

Transcranial Magnetic Stimulation Application in Children with Severe Traumatic Brain Injury: a Randomized Prospective Study

Elza M. Akhmadullina^{1,2,*}, Rezeda A. Bodrova², Razilya F. Rakhmaeva^{1,3}

¹“Children’s Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan”, Kazan, Russia

²Kazan State Medical Academy — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, Russia

³Kazan State Medical University, Kazan, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Today, severe traumatic brain injury (STBI) poses a serious threat to the life and health of affected children, which requires long-term expensive treatment and long-term rehabilitation. Improving the diagnosis, resuscitation and neurosurgical care for children with STBI leads to an increase in the percentage of surviving patients, which necessitates the development and implementation of individual early rehabilitation programs. One of the tasks of early rehabilitation is to reduce the spasticity of the extremities, in connection with which transcranial magnetic stimulation (TMS) is used in our hospital. The experience of using the TCMS method in the first month of STBI in children is given, due to which the dynamics of the restoration of lost functions improves.

AIM. Evaluation of the effectiveness of the use of the method of transcranial magnetic stimulation in children in the acute period of STBI with inclusion in the program of early medical rehabilitation.

MATERIAL AND METHODS. 40 patients with STBI who were treated at the GAUZ CRCH MH RT, Kazan were taken for curation. The main group was selected by the randomization method, which included 20 (50 %) patients who received the procedure of transcranial magnetic stimulation in the individual program of medical rehabilitation and the control group — 20 (50 %) patients who received only the standard individual program of early rehabilitation. Patients of the main group on the 10th day after receiving a severe traumatic brain injury were initiated to undergo TKMS in addition to the program of individual early rehabilitation.

RESULTS AND DISCUSSION. As a result of the course of therapy with the inclusion of TMS in the rehabilitation measures, an increase in the motor activity of the affected limb was observed, which led to an improvement in the patient’s self-care.

CONCLUSION. The inclusion of transcranial magnetic stimulation in the program of early rehabilitation of children with severe traumatic brain injury creates suitable conditions for the course of compensatory-regenerative processes in the brain due to the depolarization of the membrane of cortical neurons. In this group of patients, there was a clear increase in muscle strength and a decrease in spasticity.

KEYWORDS: children, severe traumatic brain injury, early rehabilitation, muscle tone, transcranial magnetic stimulation.

For citation: Akhmadullina E.M., Bodrova R.A., Rakhmaeva R.F. Transcranial Magnetic Stimulation Application in Children with Severe Traumatic Brain Injury: a Randomized Prospective Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(3): 8–16. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-8-16> (In Russ.)

***For correspondence:** Elza M. Akhmadullina, E-mail: elvira_elza@bk.ru

Received: 28.02.2023

Revised: 10.04.2023

Accepted: 01.06.2023

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день тяжелая черепно-мозговая травма (ТЧМТ) несет серьезную угрозу для жизни и здоровья пострадавших детей, что требует длительного дорогостоящего лечения и продолжительной реабилитации. Травматические повреждения головного мозга могут проявляться широким спектром клинических проявлений, которые могут быть острыми или хроническими [1]. Ежегодно во всем мире более 50 млн человек страдают от ЧМТ, и около половины населения мира переносит хотя бы одну ЧМТ в своей жизни [2]. Прогнозируется, что до 2030 г. инвалидность вследствие ЧМТ будет в 2–3 раза выше, чем инвалидность вследствие других распространенных неврологических заболеваний [3]. К сожалению, в последние годы наблюдается тенденция к увеличению детского травматизма. Ежегодно в России травму головы получают более 270 тыс. детей, около 100 тыс. госпитализируются, из них 3–5 %

с тяжелой травмой, 5 тыс. приобретают инвалидность [4]. С каждым годом увеличивается процент выживших детей с ТЧМТ в результате усовершенствования диагностики, реанимационной и нейрохирургической помощи данному профилю пациентов, что обуславливает необходимость разработки и внедрения программ ранней медицинской реабилитации. Многими авторами научных работ было показано, что ранняя реабилитация в остром периоде ТЧМТ приводит к снижению инвалидизации [5–8]. Эта проблема является приоритетной задачей здравоохранения. Раннее начало реабилитации повышает уровень реабилитационного потенциала и реабилитационного прогноза. Задачами ранней медицинской реабилитации являются предупреждение развития патологических процессов, то есть осуществление мер вторичной профилактики, а также раннее восстановление функциональных возможностей различных систем организма [9].

Программа комплексной ранней медицинской реабилитации, применяемой в остром периоде ТЧМТ у детей, формирует оптимальные условия для компенсаторно-восстановительных процессов в головном мозге, что приводит к снижению воспаления в областишиба, а также улучшает кровообращение и обменные процессы в головном мозге. Основные методы медицинской реабилитации, применяемые в остром периоде ТЧМТ, включают в себя: раннюю мобилизацию, позиционирование, вертикализацию, профилактику контрактур, снижение спастичности, коррекцию нутритивного статуса, коррекцию дисфагии, которые в последующем приводят к повышению уровня сознания. Одной из задач ранней медицинской реабилитации является снижение спастичности конечностей, в связи с этим в условиях нашего стационара применяется транскраниальная магнитная стимуляция (ТКСМ). В восстановительном периоде ТЧМТ корректируется программа медицинской реабилитации, добавляются новые методики лечения в зависимости от состояния пациента. В случае восстановления сознания приоритетными становятся функциональные цели, ориентированные на повышение мобильности, самообслуживания, общения. Полное восстановление сознания устанавливается при формировании устойчивой коммуникации.

Транскраниальная магнитная стимуляция является многообещающим инструментом для модуляции функций мозга [10]. ТКСМ — это метод нейростимуляции и нейромодуляции, в основе которой лежит электромагнитная индукция электрического поля в конкретном участке головного мозга. Основным действием ТКСМ является способность магнитного поля проходить через мышечные и костные структуры головы, при этом характеристики магнитного поля не изменяются и возбуждают ткани мозга. Воздействие на головной мозг импульсным магнитным полем имеет или тормозящий, или возбуждающий характер на корковую активность.

Благодаря быстрому изменению импульсного тока магнитная стимулирующая катушка, размещенная на поверхности головы, может генерировать магнитное поле, которое свободно проходит через нижележащие ткани, вызывая вторичный индукционный ток в близлежащих нервных тканях. Этот ток, воздействуя на мембрану клеток кортикальных нейронов, приводит к появлению постсинаптических потенциалов, которые вызывают изменение в функционировании коры [11]. ТКСМ проводится одиночными и парными стимулами или сериями импульсов. Одиночные стимулы используют при картировании двигательных зон коры и измерении времени центрального проведения моторного ответа, а парные импульсы — в ходе изучения функциональных связей в корковых областях [12]. В последние годы ТКСМ все шире используется в клинической практике и исследованиях [13]. ТКСМ показала терапевтические перспективы при различных заболеваниях головного мозга практически без побочных эффектов [14].

ЦЕЛЬ

Оценка эффективности применения метода транскраниальной магнитной стимуляции у детей в остром периоде ТЧМТ с включением в программу ранней медицинской реабилитации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

40 пациентов с ТЧМТ, проходивших лечение в ГАУЗ ДРКБ МЗ РТ, г. Казань, были взяты на курацию. Методом рандомизации выделены основная группа, в которую вошли 20 (50 %) пациентов, получавших в программе ранней медицинской реабилитации процедуру ТКСМ, и контрольная группа — 20 (50 %) пациентов, получавших программу медицинской реабилитации, без включения ТКСМ. Пациентам основной группы с 10-х суток после получения ТЧМТ проводились процедуры ТКСМ дополнительно к программе ранней медицинской реабилитации.

Пациентам обеих групп проводилось неврологическое исследование на 10, 20, 30-е сутки после ТЧМТ, которое включало определения мышечной силы и уровень спастичности по шкале Ashworth (табл. 1) [15].

Шкала оценки мышечной силы в баллах оценивалась следующим образом:

5 — мышечная сила в норме; 4 — движения, частично преодолевающие сопротивление, оказываемое доктором (с фиксацией до 5 секунд); 3 — возможны движения в конечности, преодолевающие силу тяжести, но не сопротивление, оказываемое доктором; 2 — есть движения конечности, но без преодоления силы тяжести; 1 — имеются видимые сокращения мышц, но движения в конечности отсутствуют; 0 — видимые сокращения мышц отсутствуют.

Пациентам основной группы, помимо программы ранней медицинской реабилитации, которая включала в себя раннюю мобилизацию, позиционирование, вертикализацию, профилактику контрактур, снижение спастичности, коррекцию нутритивного статуса, коррекцию дисфагии, также проводилась ТКСМ при помощи стимулятора «Нейро-МС» российской компании «Нейрософт». Во время процедуры применялся протокол ТКСМ «Пораженное полушарие. Острая и подострая стадия», в котором амплитуда стимуляции 120 %, частота стимулов в серии — 3 Гц и более, количество стимулов в серии — 30, время процедуры — от 15 минут. Воздействие оказывалось контактным методом. Одна процедура воздействия составляла не более 20 минут. Суммарное количество процедур составило от 10 до 15 в зависимости от состояния пациента. Для применения ТКСМ требуется стабильность функций всех систем организма. Наличие назогастрального зонда и мочевого катетера, а также трахеостомы не были противопоказанием к применению ТКСМ. Абсолютным противопоказанием проведению ТКСМ являлось наличие металлических имплантов, стимулятора блуждающего нерва (*n. vagus*), кардиостимулятора, хронического электростимулятора спинного мозга (ХЭССМ), наличие слухового аппарата и кохлеарного импланта, баклофеновой помпы (в зоне воздействия ТКСМ).

После прохождения курса лечения было проведено повторное комплексное исследование на 20-е и 30-е сутки мышечной силы и мышечного тонуса. На основании данных обследования оценивалась эффективность проведенного курса реабилитации с включением ТКСМ в программу ранней медицинской реабилитации детей с ТЧМТ.

Статистический анализ проводился с использовани-

Таблица 1. Шкала спастичности Ashworth
Table 1. Ashworth Spasticity Scale

Определение баллов / Determination of points	Анализ / Analysis
0	Мышечный тонус не повышен / Muscle tone is not increased
1	Легкое повышение тонуса в виде кратковременного напряжения и быстрого расслабления мышцы или минимального сопротивления в конце пассивного сгибания или разгибания / A slight increase in tone in the form of short-term tension and rapid relaxation of the muscle or minimal resistance at the end of passive flexion or extension
1+	Легкое повышение тонуса в виде кратковременного напряжения мышцы с минимальным сопротивлением при продолжении пассивного движения (менее половины амплитуды) / Slight increase in tone in the form of short-term muscle tension with minimal resistance while continuing passive movement (less than half the amplitude)
2	Более выраженное повышение мышечного тонуса, ощущаемое во время выполнения почти всего пассивного движения; при этом пораженный(ы) сегмент(ы) конечности легко поддаются движению / A more pronounced increase in muscle tone, felt during almost the entire passive movement; while the affected segment(s) of the limb is easily amenable to movement
3	Значительное повышение мышечного тонуса, затруднены пассивные движения / Significant increase in muscle tone, passive movements are difficult
4	Пораженный сегмент неподвижен при сгибании или разгибании / The affected segment is immobile during flexion or extension

ем программы IBM SPSS Statistics 26. Количественные показатели были проанализированы с применением непараметрических методов статистики. Нулевую гипотезу отклоняли при пороговом уровне статистической значимости (*p*), равном 0,05. Качественные показатели анализировались с применением критерия χ^2 и точного критерия Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У всех пациентов, включенных в исследование, была диагностирована ТЧМТ. В исследовании участвовали пациенты в возрасте от 10 до 15 лет, средний возраст пациента — 13 лет 4 месяца (95 % ДИ 13 лет 2 месяца

— 15 лет 4 месяца). Пациенты обеих групп были доставлены в приемное отделение в ГАУЗ ДРКБ МЗ РТ от 1 часа до 6 часов от ТЧМТ, что позволило оказать своевременно медицинскую помощь пациентам с данной патологией [16].

В табл. 2 представлен анализ мышечной силы в остром периоде ТЧМТ у детей основной группы, которые получили 10–15 процедур ТКМС начиная с 10-х суток после получения ТЧМТ, и детей контрольной группы, получавших раннюю медицинскую реабилитацию без включения ТКМС.

По результатам исследования было зафиксировано, что мышечная сила у детей основной и контрольной

Таблица 2. Анализ мышечной силы
Table 2. Analysis of muscle strength

Период после ЧМТ (дни) / Period after TBI (days)	Группы пациентов / Patient groups	Мышечная сила, баллы / Muscle strength, points												<i>p</i>
		0 баллов / points		1 балл / points		2 балла / points		3 балла / points		4 балла / points		5 баллов / points		
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	
10	Основная группа (n = 20) / Main group (n = 20)	2	10	12	60	5	25	1	5	0	0	0	0	0,721
	Контрольная группа (n = 20) / Control group (n = 20)	3	15	11	55	6	30	0	0	0	0	0	0	

Период после ЧМТ (дни) / Period after TBI (days)	Группы пациентов / Patient groups	Мышечная сила, баллы / Muscle strength, points												p
		0 баллов / points		1 балл / points		2 балла / points		3 балла / points		4 балла / points		5 баллов / points		
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
20	Основная группа (n = 20) / Main group (n = 20)	0	0	2	10	11	55	5	25	2	10	0	0	0,011*
	Контрольная группа (n = 20) / Control group (n = 20)	3	15	9	45	7	35	1	5	0	0	0	0	
30	Основная группа (n = 20) / Main group (n = 20)	0	0	1	5	3	15	10	50	5	25	1	5	0,004*
	Контрольная группа (n = 20) / Control group (n = 20)	2	10	5	25	10	50	2	10	1	5	0	0	

Примечание: p* — статистически значимое значение (p < 0,05).

Note: p* — statistically significant value (p < 0.05).

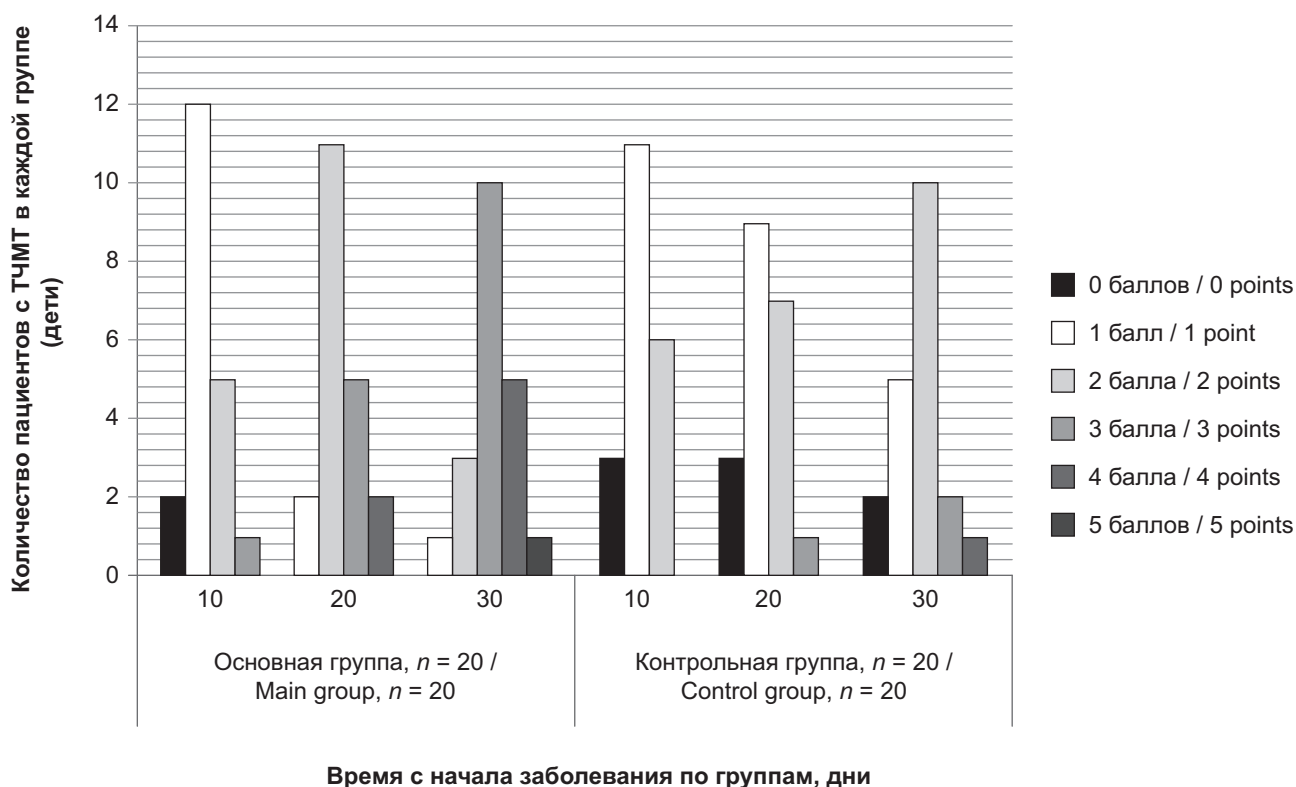


Рис. 1. Динамика мышечной силы в течение первого месяца у пациентов с ТЧМТ в основной и контрольной группах после проведения курса ТКМС

Fig. 1. Dynamics of muscle strength during the first month in patients with TBI in the main and control groups after the course of TCMS

ной групп отличалась начиная с 20-х суток после ТЧМТ. Так, в основной группе у детей выявлено более быстрое восстановление мышечной силы, чем у детей в группе контроля.

Рис. 1 показывает динамику восстановления мышечной силы у детей с ТЧМТ с применением ТКМС в остром периоде.

При оценке мышечной силы в основной группе после проведенного лечения с использованием ТКМС отмечалось, что у 5 % ($n = 1$) пациентов мышечная сила восстановилась в полном объеме. У 25 % ($n = 5$) пациентов мышечная сила восстановилась до 4 баллов, что проявилось движением конечности с фиксацией до 5 секунд и привело к увеличению объема движения и улучшению самообслуживания. У большинства пациентов — 50 % ($n = 10$) отмечалось улучшение мышечной силы до 3 баллов. Данная категория пациентов является перспективной в дальнейшем восстановлении. У 15 % ($n = 3$) пациентов наблюдали нарастание мышечной силы до 2 баллов и у 5 % ($n = 1$) пациентов — лишь до 1 балла. Пациенты, продемонстрировавшие слабое восстановление мышечной силы (до 1 и 2 баллов в динамике), находятся в группе риска по инвалидизации. По резуль-

татам оценки полученных данных было выявлено, что в основной группе нет пациентов, у которых мышечная сила составила бы 0 баллов. При этом мы отмечаем, что в контрольной группе выраженной динамики мышечной силы не наблюдалось. По данным диаграммы (см. рис. 1) прослеживалось полное восстановление мышечной силы только в основной группе.

В табл. 3 представлены уровни спастичности у детей основной и контрольной групп.

Оценка по шкале спастичности у детей основной и контрольной групп продемонстрировала статистически значимые различия на 20-е и 30-е сутки после ТЧМТ. При анализе полученных данных на 20-е сутки нами было отмечено снижение уровня спастичности у детей основной группы, у которых в программу ранней медицинской реабилитации был включен метод ТКМС, по сравнению с детьми контрольной группы ($p = 0,048$). Наиболее очевидные различия в уровне спастичности у детей разных групп наблюдали на 30-е сутки после ТЧМТ ($p = 0,029$).

После проведенного курса ранней медицинской реабилитации с включением ТКМС отмечалось повышение двигательной активности пациентов не только за счет увеличения мышечной силы, но и за счет снижения спа-

Таблица 3. Анализ спастичности по шкале Ashworth
Table 3. Ashworth Spasticity Scale Analysis

Период после ЧМТ (дни) / Period after TBI (days)	Группы пациентов / Patient groups	Шкала спастичности Ashworth, баллы / Ashworth Spasticity Scale, points												<i>p</i>
		0 баллов / points		1 балл / points		+1 балл / points		2 балла / points		3 балла / points		4 балла / points		
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	
10	Основная группа ($n = 20$) / Main group ($n = 20$)	0	0	0	0	0	0	6	30	9	45	5	25	0,762
	Контрольная группа ($n = 20$) / Control group ($n = 20$)	0	0	0	0	0	0	4	20	10	50	6	30	
20	Основная группа ($n = 20$) / Main group ($n = 20$)	0	0	1	5	2	10	12	60	4	20	1	5	0,048*
	Контрольная группа ($n = 20$) / Control group ($n = 20$)	0	0	0	0	0	0	6	30	9	45	5	25	
30	Основная группа ($n = 20$) / Main group ($n = 20$)	0	0	3	15	6	30	8	40	3	15	0	0	0,029*
	Контрольная группа ($n = 20$) / Control group ($n = 20$)	0	0	0	0	1	5	10	50	6	30	3	15	

Примечание: p^* — статистически значимое значение ($p < 0,05$).

Note: p^* — statistically significant value ($p < 0.05$).

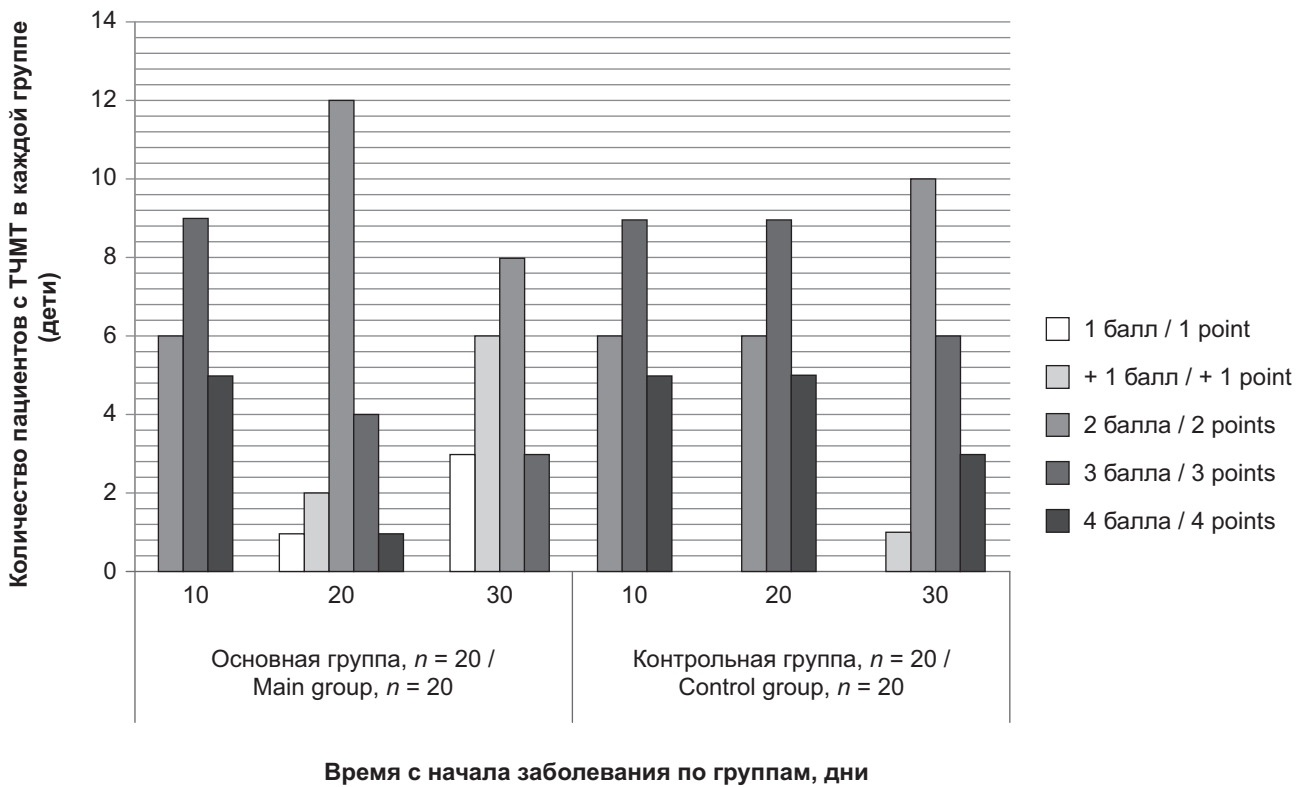


Рис. 2. Динамика спастичности по шкале Ashworth в течение первого месяца после ТЧМТ у детей
Fig. 2. Dynamics of spasticity according to the Ashworth scale during the first month after STBI in children

стичности (рис. 2). Увеличение моторной функции конечностей и снижение спастичности приводит к повышению двигательной активности.

По результатам нашего исследования мы отмечаем, что включение ТКМС в программу ранней медицинской реабилитации детей с ТЧМТ улучшает мышечную силу и снижает спастичность, благодаря этому происходит улучшение двигательной активности, следовательно, самообслуживания. Улучшение самообслуживания влечет за собой снижение степени инвалидизации.

Основным ограничением нашего исследования является небольшое количество пациентов в группах. Перспективой дальнейших исследований может стать изучение эффективности реабилитации детей с ТЧМТ, получающих различный комплекс методик, с применением многофакторного анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Включение в программу ранней медицинской реабилитации у детей с ТЧМТ транскраниальной магнитной

стимуляции формирует подходящие условия для протекания в головном мозге компенсаторно-регенераторных процессов за счет деполяризации мембраны корковых нейронов.

2. У пациентов основной группы наблюдались отчетливая динамика повышения мышечной силы и снижение спастичности начиная с 20-х суток после ТЧМТ, что приводило к коррекции двигательных нарушений, которые привели к улучшению самообслуживания.

3. Включение транскраниальной магнитной стимуляции в программу ранней медицинской реабилитации при ТЧМТ у детей является приоритетным в связи с положительным эффектом метода в виде увеличения мышечной силы и снижения спастичности, при этом у данного метода малое количество абсолютных противопоказаний.

4. Включение в программу ранней медицинской реабилитации транскраниальной магнитной стимуляции пациентам с ТЧМТ снижает степень инвалидизации вследствие улучшения самообслуживания.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Ахмадуллина Эльза Махмутовна, ассистент кафедры реабилитологии и спортивной медицины, КГМА — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, заведующая отделением медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции центральной нервной системы, ГАУЗ «ДРКБ МЗ РТ», главный внештатный детский специалист по медицинской реабилитации Минздрава Республики Татарстан.
 E-mail: elvira_elza@bk.ru;
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2399-9729>

Бодрова Резеда Ахметовна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой реабилитологии и спортивной медицины, КГМА — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, главный внештатный специалист Минздрава Республики Татарстан по медицинской реабилитации.
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3540-0162>

Рахмаева Разиля Фоатовна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры госпитальной педиатрии ФГБОУ ВО «Казанский ГМУ» Минздрава России, врач-педиатр отделения медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции центральной

нервной системы, ГАУЗ «ДРКБ МЗ РТ».
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6107-2233>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Ахмадулина Э.М. — разработка концепции и дизайна исследования, написание текста, обзор публикаций по теме статьи, отбор и обследование пациентов, интерпретация данных, статистическая обработка данных, утверждение рукописи для публикации; Бодрова Р.А. — разработка концепции и дизайна исследования, научная редакция текста рукописи, утверждение рукописи для публикации; Рахмаева Р.Ф. — редактирование рукописи.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие других явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическое утверждение. Авторы утверждают, что все процедуры, использованные в данной работе, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствующим Основам законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан, а также Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Исследование одобрено локальным этическим комитетом (выписка из протокола № 2/10 заседания Комитета об этике КГМА — филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России от 31.10.2019).

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Elza M. Akhmadullina, Assistant of the Department of Rehabilitation and Sports Medicine, Kazan State Medical Academy — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Head of the Department of Medical Rehabilitation of Patients with CNS Dysfunction, Children's Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan, Chief External Children's Expert in Medical Rehabilitation of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan.

E-mail: elvira_elza@bk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2399-9729>

Reseda A. Bodrova, Dr. Sci. (Med.), Assistant Professor, Head of the Department of Rehabilitation and Sports Medicine, Kazan State Medical Academy — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Chief External Expert of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan for Medical Rehabilitation.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3540-0162>

Razilya F. Rakhmaeva, Ph.D. (Med.), Assistant of the Department of Hospital Pediatrics, Kazan State Medical University, pediatrician of the Department of Medical Rehabilitation of Patients with CNS Dysfunction, Children's Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6107-2233>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the ICMJE criteria (all authors contributed significantly

to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Akhmadullina E.M. — development of the concept and design of the study, writing the text, review of publications on the topic of the article, selection and examination of patients, data interpretation, statistical data processing, approval of the manuscript for publication; Bodrova R.A. — development of the concept and design of the study, scientific editing of the text of the manuscript, approval of the manuscript for publication; Rakhmaeva R.F. — editing the manuscript.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. The authors state that all the procedures used in this paper comply with the ethical standards of the institutions that carried out the study and comply with the Fundamentals of Health Legislation of the Russian Federation, as well as with the Helsinki Declaration as revised in 2013. The study was approved by the local Ethics committee (extract from the Protocol No. 2/10 of the meeting of the Ethics Committee of Kazan State Medical Academy — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education dated 31.10.2019).

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Nikbakht A., Soleimanabad S.K., Siahposht-Khachaki A., Farzin D. The effect of Riluzole on neurological outcomes, blood-brain barrier, brain water and neuroinflammation in traumatic brain injury. *Brain Disorders*. 2022; (8): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.dscb.2022.100052>
2. Ma X., Niu X., Zhao J., Deng Z. et al. Downregulation of Sepina3n Aggravated Blood–Brain Barrier Disruption after Traumatic Brain Injury by Activating Neutrophil Elastase in Mice. *Neuroscience*. 2022; (503): 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2022.08.023>
3. Vaghebin R., Khalili S. M., Mehrdad A. et al. Saphenous vein phlebectomy alleviates neuroinflammatory response and oxidative stress following traumatic brain injury. *Interdisciplinary Neurosurgery*. 2022; 30(2022): 101626. <https://doi.org/10.1016/j.inat.2022.101626>
4. Ахадов Т.А., Семенова Н.А., Валиуллина С.А. и др. Магнитно-резонансная томография в оценке тяжелой черепно-мозговой травмы и прогнозировании восстановления головного мозга у детей. *Российский педиатрический журнал*. 2020; 23(5): 291–298. [Akhadov T.A., Semenova N.A., Valiullina S.A. et al. Magnetic resonance imaging in assessing severe traumatic brain injury and predicting brain recovery in children. *Russian Pediatric Journal*. 2020; 23(5): 291–298 (In Russ.)]
5. Huang B., Tang T., Chen S.-H. et al. Near-infrared-IIb emitting single-atom catalyst for imaging-guided therapy of blood-brain barrier breakdown after traumatic brain injury. *Nature Communications*. 2023; (14): 197–212. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-35868-8>
6. Saha P., Gupta R., Sen T., Sen N. Histone Deacetylase 4 Downregulation Elicits Post-Traumatic Psychiatric Disorders through Impairment of Neurogenesis. *Journal of Neurotrauma*. 2019; (36): 3284–3296. <https://doi.org/10.1089/neu.2019.6373>

7. Galgano M., Toshkezi G., Qiu X. et al. Traumatic Brain Injury: Current Treatment Strategies and Future Endeavors. *Cell Transplantation*. 2017; 26(7): 1118–1130. <https://doi.org/10.1177/0963689717714102>
8. Kaur P., Sharma S. Recent Advances in Pathophysiology of Traumatic Brain Injury. *Current Neuropharmacology*. 2018; 16(8): 1224–1238. <https://doi.org/10.2174/1570159X15666170613083606>
9. Бодрова Р.А., Нефедьева Д.Л., Ахмадуллина Э.М., Некрасова А.М. Медицинская реабилитация у детей с тяжелой черепно-мозговой травмой. Учебно-методическое пособие. Казань: Редакционно-издательский отдел КГМА. 2021: 68 с. [Bodrova R.A., Nefedieva D.L., Akhmadullina E.M., Nekrasova A.M. Medical rehabilitation in children with severe traumatic brain injury. Educational and methodical manual. Kazan: Editorial and Publishing Department of KSMAA. 2021: 68 p. (In Russ.)]
10. Ryan J., Pouliot J.J., Hajcak G., Nee D. E. Manipulating Reward Sensitivity Using Reward Circuit-Targeted Transcranial Magnetic Stimulation. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*. 2022; 7(8): 833–840. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2022.02.011>
11. Бородин М.М., Усолцева Н.И., Горшков К.М. и др. Влияние навигационной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции на восстановление сознания у пациентов после тяжелых повреждений головного мозга. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020; (1): 20–27. <https://doi.org/10.36425/rehab19267> [Borodin M.M., Usoltseva N.I., Gorshkov K.M. et al. Impact of navigated rhythmic transcranial magnetic stimulation on regaining consciousness in patients after severe brain injury. *Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation*. 2020; (1): 20–27. <https://doi.org/10.36425/rehab19267> (In Russ.)]
12. Сорокина Н.Д., Перцов С.С., Селицкий Г.В. Нейробиологические механизмы транскраниальной магнитной стимуляции и ее сравнительная эффективность при головной боли напряжения и мигрени. *Российский медико-биологический вестник*. 2018; 26(3): 417–429. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2018263417-429> [Sorokina N.D., Pertsov S.S., Selitsky G.V. Neurobiological mechanisms of transcranial magnetic stimulation and its comparative effectiveness in tension headache and migraine. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2018; 26(3): 417–429. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2018263417-429> (In Russ.)]
13. Lin Y.Y., Chen R.-S., Huang Y.Z. Impact of operator experience on transcranial magnetic stimulation. *Clinical Neurophysiology Practice*. 2022; 7(2022): 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2022.01.002>
14. Tervo A.E., Nieminen J.O., Lioumis P. et al. Closed-loop optimization of transcranial magnetic stimulation with electroencephalography feedback. *Brain Stimulation*. 2022; 15(2): 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.01.016>
15. Супонева Н.А., Юсупова Д.Г., Ильина К.А. и др. Валидация Модифицированной шкалы Эшворта (Modified Ashworth Scale) в России. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2020; 14(1): 89–96. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.1.10> [Suponeva N.A., Yusupova D.G., Ilyina K.A. et al. Validation of the Modified Ashworth Scale in Russia. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2020; 14(1): 89–96. <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.1.10> (In Russ.)]
16. Ахмадуллина Э.М., Хасанова Э.М., Бодрова Р.А. Физические факторы реабилитации пациентов, перенесших тяжелую черепно-мозговую травму. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021; (5): 95–100. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2021-5-3-8> [Akhmadullina E.M., Khasanova E.M., Bodrova R.A. Physical factors of rehabilitation of patients with severe cranial injury. *Journal of New Medical Technologies*. 2021; (5): 95–100. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2021-5-3-8> (In Russ.)]