

## ПЛАНТОГРАФИЯ КАК МЕТОД ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЯ ФУНКЦИИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ПАЦИЕНТОВ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ РОДОВОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ПЛЕЧЕВОГО СПЛЕТЕНИЯ

Никитюк И.Е., Савина М.В.

*ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, e-mail: femtotech@mail.ru*

Цель исследования – исследование опорной функции стоп у пациентов с последствиями родового повреждения плечевого сплетения (РППС) и анализ нарушений плантографических характеристик в зависимости от стороны поражения. Методом плантографии была проведена оценка опорной функции стоп у 32 пациентов с последствиями одностороннего РППС, из них у 16 человек – с левосторонним поражением и у 16 – с правосторонним. Были выявлены двусторонние нарушения опорной функции стоп у детей с последствиями РППС, что проявлялось значимым снижением переднего индекса опоры  $t$  до 87[85 – 89] (норма 97[94 – 99]) и срединного индекса опоры  $s$  до 21[17 – 23] (норма 25[23 – 26]). Это указывает на снижение опорности переднего отдела стопы, приводящее к перераспределению нагрузки на ее задний отдел и снижению площади опоры стопы. Избыточное по сравнению со здоровыми детьми усиление функциональных взаимосвязей между сводами стоп у пациентов свидетельствует о формировании у них патологической опорной стратегии. Сформированные опорные стратегии стоп у пациентов с последствиями левостороннего и правостороннего РППС не идентичны, что может быть обусловлено неравнозначностью влияния эфферентных потоков из зон кортикальной пластичности доминантного и субдоминантного полушарий на локомоторную систему, которые связаны со стороной поражения плечевого сплетения. Необходимо применять в клинике терапевтические регулирующие воздействия на структуры центральной нервной системы пациентов с последствиями РППС с целью их комплексной реабилитации.

Ключевые слова: повреждение периферических нервов, родовое повреждение плечевого сплетения, кортикальная пластичность, опорная поверхность стопы, плантографические характеристики.

*Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания Минздрава России.*

## PLANTOGRAPHY AS A METHOD OF DIAGNOSING DISORDERS FUNCTIONS OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM IN PATIENTS WITH THE CONSEQUENCES OF BIRTH BRACHIAL PLEXUS INJURY

Nikityuk I.E., Savina M.V.

*H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, e-mail: femtotech@mail.ru*

The aim of the study was to study the supporting function of the feet in patients with the consequences of birth brachial plexus injury (BBPI) and to analyze violations of plantographic characteristics depending on the side of the lesion. The plantography method was used to assess the supporting function of the feet in 32 patients with the consequences of unilateral BBPI, of which 16 people had left-sided lesions and 16 had right-sided lesions. Bilateral violations of the supporting function of the feet were revealed in children with the consequences of BBPI, which was manifested by a significant decrease in the anterior support index  $t$  to 87[85-89] (norm 97[94-99]) and the median support index  $s$  to 21[17-23] (norm 25[23-26]). This indicates a decrease in the support capacity of the anterior part of the foot, leading to a redistribution of the load on its posterior part and a decrease in the area of the foot support. Excessive strengthening of functional interrelations between the arches of the feet in patients in comparison with healthy children indicates the formation of a pathological support strategy in them. The formed support strategies of the feet in patients with the consequences of left-sided and right-sided BBPI are not identical, which may be due to the unequal influence of efferent flows from the zones of cortical plasticity of the dominant and subdominant hemispheres on the locomotor system, which are associated with the side of the brachial plexus injury. It is necessary to apply therapeutic regulatory effects on the structures of the central nervous system of patients with the consequences of BBPI in the clinic for the purpose of their comprehensive rehabilitation.

Keywords: peripheral nerve injury, birth brachial plexus injury, cortical plasticity, the support surface of the foot, plantographic characteristics.

*The work was carried out as part of the implementation of the State assignment of the Russian Ministry of Health.*

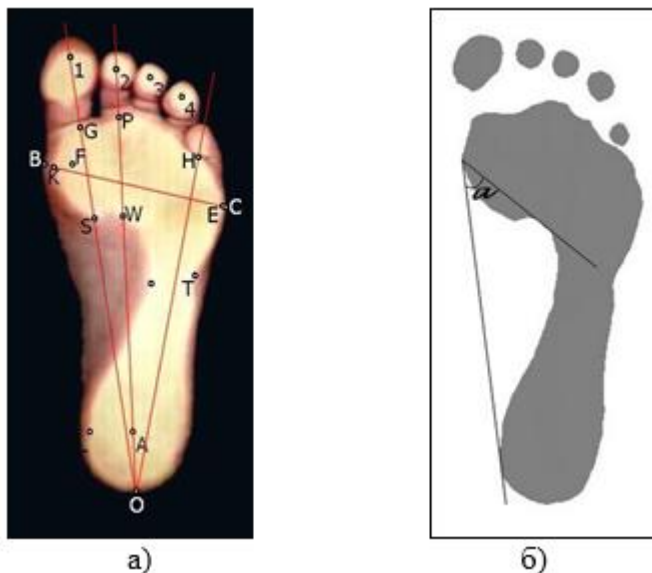
Известно, что при повреждении периферических нервов происходит резкое ослабление афферентной импульсации и наступают изменения в сенсорной и моторной коре головного мозга [1]. Понимание адаптивной кортикальной реорганизации, развивающейся в головном мозге на фоне травмы периферических нервов, может внести вклад в выяснение глубинных механизмов регенерации нервной системы, а также помочь разработать новые стратегии для улучшения результатов лечения подобных повреждений [2]. Концепция нейропластичности в последние годы привлекает внимание клиницистов, разрабатывающих новые методы лечения заболеваний центральной нервной системы. В качестве удобной модели исследования научного предмета, такого как травма периферических нервов, можно использовать родовое повреждение плечевого сплетения (РППС), которое случается при повреждении корешков плечевого сплетения во время родов. После повреждения плечевого сплетения у пациентов в головном мозге также наблюдаются проявления кортикальной функциональной реорганизации [3]. Изменение интенсивности афферентной импульсации из области верхних конечностей оказывает влияние на моторную активность нижних конечностей [4], что обуславливает запуск адаптивного ответа опорно-двигательной системы у пациентов, способного проявляться отклонениями в опорной функции стоп. Учитывая эти моменты, биомеханическое обследование стоп у пациентов с РППС должно содействовать получению представления о спинальных и корковых механизмах, координирующих на разных уровнях локомоции пациента с поражением плечевого сплетения. Это имеет большую актуальность с точки зрения клинического подхода к совершенствованию подходов восстановительного лечения двигательной активности у больных с травмой периферических нервов.

Цель исследования – исследование опорной функции стоп у пациентов с последствиями родового повреждения плечевого сплетения и анализ нарушений плантографических характеристик в зависимости от стороны поражения.

**Материал и методы исследования.** Методом плантографии была проведена оценка опорной функции стоп у 32 пациентов в возрасте от 10 до 16 лет с последствиями одностороннего РППС, из них у 16 человек – с левосторонним поражением и у 16 – с правосторонним. Группы пациентов расценивались как тождественные по показателям возраста, пола и уровня поражения плечевого сплетения: клинические симптомы свидетельствовали о повреждении верхних и средних стволов сплетения (С5-С6 и С5-С6 +

С7). Данные электрофизиологических исследований подтверждали клинический диагноз и уровень поражения плечевого сплетения.

Для оценки опорной функции стоп проводили компьютерную плантографию на программно-аппаратном комплексе диагностики «Подоскан» (ООО НМФ «МБН», Россия) при двуопорной и одноопорной нагрузке.



*Расчет плантографических характеристик на примере стопы здорового ребенка:  
а) проведение линий для вычисления линейных параметров; б) проведение линий для вычисления углового параметра – угла Кларка ( $\alpha$ )*

На полученных отпечатках стоп – плантограммах – проводили линии через реперные точки: О, G, P, В и С – для оценки состояния поперечного и продольных сводов стопы (рис. а). Рассчитывали плантографические индексы опоры: передний  $t = KE/BC$ , медиальный  $m = GS/GO$  и срединный  $s = PW/PO$ . Для анализа высоты продольных сводов стопы проводили линии (рис. б), что позволяло измерить угол Кларка ( $\alpha$ ) [5]. Для сравнения оценивали группу 18 здоровых детей аналогичного возраста.

Статистическую обработку данных производили с использованием программы SPSS Statistics 22 (разработчик IBM, США). Для оценки различий между выборками использовали критерий Манна–Уитни и F-критерий Фишера. Для оценки взаимосвязи двух признаков использовали корреляционный анализ с коэффициентом Спирмена  $r_s$ . Критерий  $p < 0,05$  принимали пороговым уровнем статистической значимости.

**Результаты исследования и их обсуждение.** У больных с РППС обеих групп независимо от стороны поражения наибольшее количество отклонений от нормы выявлено при двуопорной нагрузке на стопы (табл. 1). У пациентов с левосторонним поражением плечевого сплетения отмечалось значимое снижение по сравнению с нормой величины

индекса опоры  $t$  на обеих стопах, в то время как уменьшение индекса  $s$  наблюдалось только на левой стопе. У больных с правосторонним поражением наблюдалась несколько иная картина: параметры  $t$  и  $s$  были значимо снижены на обеих стопах.

Таблица 1

Плантаграфические характеристики стоп здоровых детей и больных с односторонним РППС

Группа детей	Стопа	Нагрузка на обе стопы Me [Q <sub>1</sub> -Q <sub>2</sub> ]			Нагрузка на одну стопу Me [Q <sub>1</sub> -Q <sub>2</sub> ]			
		Индексы опоры ( $\times 10^{-2}$ )		$\alpha$ , (град)	Индексы опоры ( $\times 10^{-2}$ )		$\alpha$ , (град)	
		$t$	$s$		$t$	$s$		
Здоровые дети (З) n=18	П	97 [94 – 99]	24 [22 – 26]	54 [52 – 56]	97 [94 – 99]	27 [25 – 29]	51 [49 – 54]	
	Л	95 [93 – 98]	25 [23 – 26]	52 [44 – 53]	98 [96 – 99]	27 [24 – 29]	50 [48 – 53]	
Дети с левосторонним РППС (Л) n=16	П	<b>87</b> [ <b>85 – 89</b> ]	23 [20 – 25]	55 [49 – 61]	<b>91</b> [ <b>90 – 93</b> ]	26 [24 – 28]	52 [49 – 54]	
	Л	<b>87</b> [ <b>86 – 90</b> ]	<b>22</b> [ <b>20 – 23</b> ]	<b>54</b> [ <b>47 – 58</b> ]	<b>91</b> [ <b>89 – 92</b> ]	23 [21 – 25]	51 [48 – 55]	
Дети с правосторонним РППС (П) n=16	П	<b>87</b> [ <b>82 – 91</b> ]	<b>21</b> [ <b>19 – 23</b> ]	<b>59</b> [ <b>56 – 62</b> ]	<b>91</b> [ <b>87 – 95</b> ]	25 [22 – 28]	51 [49 – 57]	
	Л	<b>87</b> [ <b>84 – 90</b> ]	<b>21</b> [ <b>17 – 23</b> ]	55 [50 – 61]	<b>91</b> [ <b>89 – 93</b> ]	23 [19 – 26]	48 [45 – 54]	
$p$	$p^{3-Л}$	П	0,000	0,184	0,947	0,000	0,782	0,789
	$p^{3-П}$		0,000	0,003	0,017	0,002	0,202	0,989
	$p^{3-Л}$	Л	0,000	0,000	0,011	0,000	0,137	0,538
	$p^{3-П}$		0,000	0,001	0,145	0,000	0,258	0,688

Примечание: Жирным шрифтом выделены параметры, значимо отличающиеся от нормальных показателей ( $p < 0,05$ ).

При одноопорной нагрузке на стопы значимые отклонения от нормы плантографических характеристик выявлены только по одному параметру –  $t$ , который был снижен с обеих сторон у всех пациентов с данным вариантом поражения. Следует подчеркнуть, что у больных отмечалось увеличение по сравнению с нормой значений угла Кларка  $\alpha$  на стопах, соименных со стороной поражения плечевого сплетения: на левой стопе – при левостороннем РППС, на правой стопе – при правостороннем РППС. Таким образом, снижение величин индексов опоры стоп у больных с РППС указывает на нарушение способности стоп адекватно воспринимать повышение осевой нагрузки в процессе ходьбы, что свидетельствует о недостаточности рессорной функции поперечного и продольных сводов стоп вследствие их ригидности [6]. Повышенные по сравнению с нормой величины углов Кларка свидетельствуют об увеличении высоты продольных сводов стоп [7], что указывает на уменьшение площади контактной опоры стоп у пациентов обеих групп.

Оценку показателей асимметрии  $\Delta$  плантографических индексов между стопами у больных с последствиями РППС проводили путем сравнения с нормой медианных значений и показателей дисперсии (табл. 2). Выявлена незначительная асимметрия показателей плантографических индексов между стопами у здоровых детей, что соответствует данным других исследователей [8]. Одновременно с этим у больных с левосторонним РППС в тестах с двуопорной и одноопорной плантографией значимо увеличена по сравнению с нормой асимметрия  $\Delta$  как параметров  $m$ , так и параметров  $s$ .

Таблица 2

Величина асимметрии индексов опоры между левой и правой стопами у здоровых детей и у пациентов с односторонним РППС

Группа детей		Индексы опоры ( $\times 10^{-2}$ )					
		Нагрузка на обе стопы Me [Q <sub>1</sub> -Q <sub>2</sub> ]			Нагрузка на одну стопу Me [Q <sub>1</sub> -Q <sub>2</sub> ]		
		$\Delta t$	$\Delta m$	$\Delta s$	$\Delta t$	$\Delta m$	$\Delta s$
Здоровые дети (З) n=18		0 [-2 - 1,7]	-0,4 [-1 - 0,9]	-0,1 [-0,7 - 2,7]	0,1 [-0,1 - 2,3]	0,1 [-1 - 2,2]	0 [-1,9 - 1,1]
С левосторонним РППС (Л) n=16		0,9 [-0,2 - 2,8]	<b>-2,4</b> [-4 - <b>-0,6</b> ]	<b>-1,9</b> [-2,8 - 0]	0 [-1,3 - 1,1]	<b>-4,2</b> [-6,4 - <b>-1,3</b> ]	<b>-2,5</b> [-4,3 - 1,1]
С правосторонним РППС (П) n=16		0,7 [-3,9 - 4,1]	<b>-1,9</b> [-3,7 - <b>0,3</b> ]	-1 [-2,2 - 1,9]	-0,5 [-2,5 - 2,9]	-2,8 [-5 - 1,5]	-1,9 [-4,1 - -0,1]
<i>p</i>	<i>p</i> <sup>З-Л</sup>	0,221	0,008	0,005	0,262	0,001	0,007
	<i>p</i> <sup>З-П</sup>	0,569	0,051	0,196	0,248	0,194	0,195
	<i>p</i> <sup>Л-П</sup>	0,000	0,001	0,004	0,027	0,077	0,063

Примечание: *p*<sup>З-Л</sup>, *p*<sup>З-П</sup> – критерий Манна–Уитни; *p*<sup>Л-П</sup> – F-критерий Фишера. Жирным шрифтом выделены параметры, значимо отличающиеся от нормальных показателей ( $p < 0,05$ )

У больных с правосторонним РППС выявлено увеличение асимметрии  $\Delta$  только одного показателя –  $m$  при двуопорной нагрузке. Использование F-критерия Фишера для сравнения стандартных отклонений показателей асимметрии  $\Delta$  индексов опоры выявило значимые различия между больными с левосторонним и правосторонним РППС. Это свидетельствует о патологическом увеличении асимметрии функционирования нейромышечных структур контралатеральных стоп у больных с последствиями РППС, более выраженном в группе с левосторонним поражением по сравнению с правосторонним.

При корреляционном анализе индексов опоры стоп у всех обследованных детей учитывались показатели отдельно для левой и правой стопы только в тестах с двуопорной плантографией, которые обеспечивали более плавное разнесение векторов осевых сил по отделам стоп (табл. 3). У здоровых детей силы корреляционных связей между всеми

индексами опоры на левой стопе слабые. Указанные корреляции несколько сильнее на правой стопе. Следовательно, в норме взаимодействия между сводами, в целом, незначительные, так как они функционируют практически автономно друг от друга.

У больных с последствиями левостороннего РППС наблюдается патологическое усиление по сравнению с нормой взаимосвязей между всеми сводами на левой стопе, а на правой стопе – между медиальным продольным и поперечным сводами, при этом у пациентов выявляется обратная направленность корреляций между индексами  $t$  и  $s$ .

Таблица 3

Сила корреляций между индексами опоры стоп при двуопорной плантографии у здоровых детей и у пациентов с односторонним РППС

Группа детей	Коэффициент корреляции Спирмена $r_s$					
	Левая стопа			Правая стопа		
	$m \sim t$	$s \sim t$	$m \sim s$	$m \sim t$	$s \sim t$	$m \sim s$
Здоровые дети n=18	0,01	0,17	0,14	0,18	0,24	0,48
С левосторонним РППС n=16	0,30	-0,39	0,30	0,45	-0,21	0,37
С правосторонним РППС n=16	0,22	0,55	0,73	0,49	-0,22	0,13

У пациентов с последствиями правостороннего РППС отмечаются иные взаимосвязи между сводами стоп: выраженное нарастание по сравнению с нормой силы связи  $s \sim t$  и патологически сильная связь  $m \sim s$  на левой стопе, в то время как на правой стопе резко снижена корреляция  $m \sim s$  на фоне усиления связи  $m \sim t$  при отрицательной корреляции  $s \sim t$ . Указанные бессистемные взаимосвязи между поперечным и продольными сводами стоп в обеих группах больных с РППС свидетельствуют о неадекватной рессорной функции стоп, при этом сформированные опорные стратегии стоп у пациентов с левосторонним поражением плечевого сплетения отличаются от таковых при правостороннем поражении. Выявленные нарушения функции сводов стоп могут быть обусловлены дисбалансом мышц голени, сформировавшимся под влиянием измененной эфферентной импульсации из зон кортикальной пластичности, что, вероятно, связано с измененной афферентацией из области пораженной верхней конечности.

Различия в сформированных опорных стратегиях стоп у больных двух групп с последствиями РППС можно объяснить особенностями компенсаторных реакций опорно-двигательной системы, которые могут быть связаны со стороной поражения плечевого сплетения. С учетом того, что у преобладающего числа людей (70–95%) вследствие церебральной латерализации ведущей является правая рука [9], можно допустить, что у

большинства больных с последствиями РППС моторный онтогенез нацелен на «праворукость» независимо от стороны поражения плечевого сплетения. Таким образом, у большинства пациентов при рождении изначально доминирующим является левое полушарие. В таком случае у больных с правосторонним РППС в доминантном полушарии можно предполагать кортикальную реорганизацию мозга, в то время у больных с левосторонним РППС кортикальная реорганизация имеет место в субдоминантном полушарии. Необходимо подчеркнуть, что более обширная реорганизация мозга наблюдается при повреждении плечевого сплетения ведущей верхней конечности по сравнению с неведущей [10]. С учетом этого различия в опорной стратегии стоп у пациентов с левосторонним и правосторонним РППС могут быть обусловлены неравнозначностью спектров эфферентных потоков, различающихся в зависимости от того, в доминантном или субдоминантном полушарии преобладала кортикальная пластичность. Фактор функциональной асимметрии полушарий головного мозга всегда учитывается в системе комплексной реабилитации больных с неврологическими нарушениями [11]. Таким образом, поражение периферических нервов приводит к адаптивным процессам в центральной нервной системе, проявляющимся кортикальной реорганизацией головного мозга, что необходимо учитывать при проведении восстановительного лечения с целью оптимизации результатов терапии [12]. Вследствие многоуровневой организации сенсомоторных нейросетей человека в настоящее время при лечении больных с неврологической патологией клиницисты воздействуют на разные уровни кинематических цепей и механизмы организации локомоторных функций пациентов [13]. В связи с этим возрастает интерес к стимуляции нейронов головного мозга для активации структур периферической нервной системы при ее поражении [14], при этом кортикальная стимуляция считается перспективной применительно к методологии функционального восстановления после повреждения плечевого сплетения [15]. Понимание механизмов нарушения функции нижних конечностей у больных с последствиями РППС является важным аспектом для выяснения закономерностей развития отклонений во всей опорно-двигательной системе, связанных с ответной реакцией центральной нервной системы, терапевтическое регулирование и коррекция которых могут стать составной частью современной реабилитации.

## **Выводы**

1. У детей с последствиями одностороннего родового поражения плечевого сплетения нарушена опорная функция стоп с обеих сторон, что проявляется снижением опорности переднего отдела стопы, приводящим к перераспределению нагрузки на ее задний отдел и снижению площади опоры стопы. Избыточное по сравнению со здоровыми детьми усиление функциональных взаимосвязей между сводами стоп у пациентов свидетельствует о

формировании у них патологической опорной стратегии. Имеющиеся изменения могут быть обусловлены дисбалансом мышц голени, сформировавшимся под влиянием измененной эфферентной импульсации из зон кортикальной пластичности на фоне патологической афферентации из области пораженной верхней конечности.

2. Сформированные адаптивные механизмы опорной стратегии стоп у пациентов с последствиями левостороннего и правостороннего родового повреждения плечевого сплетения имеют различия, что может быть связано с реорганизацией коры головного мозга в доминантном и субдоминантном полушариях, которая зависит от стороны поражения плечевого сплетения.

3. Представленные данные могут быть использованы в клинической практике при системном подходе к комплексной реабилитации пациентов с последствиями родового повреждения плечевого сплетения путем воздействия на структуры центральной нервной системы.

### Список литературы

1. Wang W.W., Lu Y.C., Tang W.J., Zhang J.H., Sun H.P., Feng X.Y., Liu H.Q. Small-worldness of brain networks after brachial plexus injury: A resting-state functional magnetic resonance imaging study // *Neural Regen Res.* 2018. Vol. 13. no. 6. P. 1061-1065. DOI: 10.4103/1673-5374.233450.
2. Longo E., Nishiyori R., Cruz T., Alter K., Damiano D.L. Obstetric brachial plexus palsy: can a unilateral birth onset peripheral injury significantly affect brain development? // *Dev Neurorehabil.* 2020. Vol. 23. no. 6. P. 375-382. DOI: 10.1080/17518423.2019.1689437.
3. Thaploo D., Bhat D.I., Kulkarni M.V., Devi B.I. Brachial plexus injury and resting-state fMRI: Need for consensus // *Neurol India.* 2019. Vol. 67. no. 3. P. 679-683. DOI: 10.4103/0028-3886.263178.
4. Щербакова Н.А., Богачева И.Н., Гришин А.А., Мошонкина Т.Р., Городничев Р.М., Герасименко Ю.П. Исследование межконечностных взаимодействий у человека при неинвазивной электрической стимуляции спинного мозга // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова.* 2019. Т. 105. № 12. С. 1581-1582. DOI: 10.1134/S0869813919120124.
5. Mukhra R., Krishan K., Kanchan T. Bare footprint metric analysis methods for comparison and identification in forensic examinations: A review of literature. // *J. Forensic Leg Med.* 2018. no. 58. P. 101-112. DOI: 10.1016/j.jflm.2018.05.006.



6. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Семенов М.Г. Особенности опорной функции стоп у детей с аномалиями развития и приобретенными деформациями челюстных костей // Физиология человека. 2018. Т. 44. № 5. С. 39-46. DOI: 10.1134/S0131164618050119.
7. Gonzalez-Martin C., Pita-Fernandez S., Seoane-Pillado T., Lopez-Calviño B., Pertega-Diaz S., Gil-Guillen V. Variability between Clarke's angle and Chippaux-Smirak index for the diagnosis of flat feet // Colomb Med (Cali). 2017. Vol. 48. no. 1. P. 25-31.
8. Nirenberg M.S., Ansert E., Krishan K., Kanchan T. Two-dimensional metric comparisons between dynamic bare footprints and insole foot impressions-forensic implications // Sci Justice. 2020. Vol. 60. no. 2. P. 145-150. DOI: 10.1016/j.scijus.2019.12.001.
9. Gutwinski S., Löscher A., Mahler L., Kalbitzer J., Heinz A., Bempohl F. Understanding left-handedness // Dtsch Arztebl Int. 2011. Vol. 108. no. 50. P. 849-853. DOI: 10.3238/arztebl.2011.0849.
10. Feng J.T., Liu H.Q., Xu J.G., Gu Y.D., Shen Y.D. Differences in brain adaptive functional reorganization in right and left total brachial plexus injury patients // World Neurosurg. 2015. Vol. 84. no. 3. P. 702-708. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.04.046.
11. Никишина В.Б., Петраш Е.А., Никишина Е.И. Фактор латерализации в восстановительном обучении мелкомоторных функций пациентов, перенёсших ишемический инсульт // Вестник восстановительной медицины. 2019. Т. 89. № 1. С. 63-70.
12. Xing X.X., Zheng M.X., Hua X.Y., Ma S.J., Ma Z.Z., Xu J.G. Brain plasticity after peripheral nerve injury treatment with massage therapy based on resting-state functional magnetic resonance imaging // Neural Regen Res. 2021. Vol. 16. no. 2. P. 388-393. DOI: 10.4103/1673-5374.290912.
13. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Икоева Г.А., Солохина И.Ю. Влияние роботизированной механотерапии в различных комбинациях с неинвазивной электростимуляцией мышц и спинного мозга на постуральный баланс у детей с тяжелыми формами ДЦП // Вестник восстановительной медицины. 2020. Т. 98. № 4. С. 26-34. DOI: 10.38025/2078-1962-2020-98-4-26-34.
14. Бородулина И.В., Бадалов Н.Г., Мухина А.А., Гуца А.О. Оценка эффективности комплексного лечения с применением ритмической транскраниальной магнитной стимуляции и общих гидрогальванических ванн у пациентов с пояснично-крестцовой радикулопатией // Вестник восстановительной медицины. 2019. Т. 89. № 1. С. 33-41.
15. Simon N.G., Franz C.K., Gupta N., Alden T., Kliot M. Central adaptation following brachial plexus injury // World Neurosurg. 2016. no. 85. P. 325-332. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.09.027.