



Объективная оценка сохранности проприоцептивного восприятия односуставных движений руки у пациентов с гемипарезом центрального генеза

^{1,2}Павлова О.Г., ^{1,2,3}Рощин В.Ю., ^{4,5}Сидорова М.В., ^{6,7}Селионов В.А., ⁸Николаев Е.А., ⁸Хатькова С.Е., ^{4,5}Иванова Г.Е.

¹Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия

²ООО «НейроБиоЛаб», Москва, Россия

³Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

⁴Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

⁵Федеральный центр мозга и нейротехнологий Минздрава России, Москва, Россия

⁶Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

⁷Центральная клиническая больница РАН, Москва, Россия

⁸Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Цель. Объективная оценка проприоцептивного восприятия односуставных движений паретичной руки у пациентов с односторонним повреждением головного мозга с помощью разработанного нами метода.

Материалы и методы. У 23 пациентов с правосторонним и 17 – с левосторонним повреждениями головного мозга тестировали проприоцептивное восприятие пронации-супинации предплечья, сгибания-разгибания в плечевом, локтевом и лучезапястном суставах и отведения-приведения в плечевом и лучезапястном суставах. Испытуемому с закрытыми глазами производили серию пассивных циклических тест-движений, во время выполнения которых он должен был копировать их активными движениями другой руки. Регистрировали углы в тестируемом суставе и таком же суставе другой руки, и о состоянии проприоцептивной чувствительности судили по степени схожести «активных» и «пассивных» движений, оценку которой производили по объективным качественным и количественным показателям.

Результаты. Проприоцептивный дефицит был выявлен у 83% пациентов с повреждением правого и у 71% пациентов с повреждением левого полушарий, при этом доля тест-движений, выявивших нарушение проприоцептивного восприятия, у правополушарных пациентов была в 1,4 раза больше, чем у левополушарных. Значительная часть нарушений проприоцепции – 80% при тестировании движений более дистального и 29% – проксимального сегментов руки была выявлена по наличию качественных ошибок копирования.

Выводы. Использованный метод позволил выявить нарушение проприоцепции более чем у половины пациентов с повреждением как правого, так и левого полушарий. Проприоцептивное восприятие движений дистального сегмента руки страдало чаще и было выражено сильнее, чем проксимального сегмента. Значительная часть нарушений проприоцепции дистального сегмента проявилась в виде грубых ошибок копирования качественного характера, которые легко обнаруживаются визуально и могут быть выявлены без применения измерительной аппаратуры, в любых условиях обследования пациентов.

Ключевые слова: проприоцепция, односуставные движения руки, одностороннее повреждение головного мозга, гемипарез, реабилитация

Для цитирования: Павлова О.Г., Рощин В.Ю., Сидорова М.В., Селионов В.А., Николаев Е.А., Хатькова С.Е., Иванова Г.Е. Объективная оценка сохранности проприоцептивного восприятия односуставных движений руки у пациентов с гемипарезом центрального генеза. Вестник восстановительной медицины. 2020; 5 (99): 79-87. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-99-5-79-87>

Для корреспонденции: Павлова Ольга Геннадиевна, e-mail: pavlovao@mail.ru

Статья получена: 03.08.2020 **Статья принята к печати:** 17.08.2020 **Опубликована онлайн:** 30.10.2020

Objective Evaluation of Proprioceptive Perception of Single-joint Arm Movements in Patients with Hemiparesis of Central Genesis

^{1,2}Pavlova O. G., ^{1,2,3}Roschin V. Yu., ^{4,5}Sidorova M. V., ^{6,7}Selionov V. A., ⁸Nikolaev E. A., ⁸Khatkova S. E., ^{4,5}Ivanova G. E.

¹ Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² NeuroBioLab LLC, Moscow, Russian Federation

³ Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁴ Federal Center for Brain and Neurotechnology of the Russian Ministry of Health, Moscow, Russian Federation

⁵ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

⁶ Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁷ Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation⁸ National Medical Research Center «Treatment and Rehabilitation Center», Moscow, Russian Federation

Abstract

Aim. Objective evaluation of proprioceptive perception of single-joint movements of the paretic arm in patients with unilateral brain damage using the method developed by us.

Materials and Methods. Proprioceptive perception of pronation-supination of the forearm, flexion-extension in the shoulder, elbow and wrist joints and abduction-adduction in the shoulder and wrist joints was tested in 23 patients with right-sided and 17 patients with left-sided brain damage. The subject with his eyes closed was made to perform a series of passive cyclical test movements, during which he had to copy them with active movements of the other arm. Joint angles were recorded in the test joint and the same joint of the other arm. The integrity of proprioceptive sensitivity was judged by the degree of similarity between “active” and “passive” movements estimated by means of objective qualitative and quantitative indicators.

Results. Proprioceptive deficiency was detected in 83% of patients with lesion in the right and in 71% of patients with lesion in the left hemisphere, while the proportion of test movements that revealed a violation of proprioceptive perception was 1.4 times higher in the right-hemisphere patients than in the left-hemisphere patients. A significant part of proprioceptive impairments, – 80% when testing movements of more distal and 29% – proximal segments of the arm, was detected by the presence of qualitative copying errors.

Conclusions. The method used made it possible to identify proprioceptive deficits in more than half of patients with damage to both the right and left hemispheres. Proprioceptive perception of movements of the distal arm segment suffered more often and was more pronounced than the proximal one. A significant part of distal segment proprioception disorders manifested themselves in the form of gross qualitative copying errors, which can be detected visually during testing, even without the use of recording equipment.

Keywords: proprioception, single-joint movements, unilateral brain lesion, hemiparesis, rehabilitation

For citation: Pavlova O. G., Roschin V. Y., Sidorova M. V., Selionov V. A., Nikolaev E. A., Khatkova S. E., Ivanova G. E. Objective Evaluation of Proprioceptive Perception of Single-joint Arm Movements in Patients with Hemiparesis of Central Genesis. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2020; 5 (99): 79-87. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-99-5-79-87>

For correspondence: Olga G. Pavlova, e-mail: pavlovao@mail.ru

Received: Aug 03, 2020

Accepted: Aug 17, 2020

Published online: Oct 30, 2020

Введение

Под проприоцептивной чувствительностью (ПЧ) понимают ощущение взаимного положения и движения конечностей и тела. ПЧ формируется на основе сигналов, поступающих в мозг от мышечных, сухожильных, суставных и кожных рецепторов [1]. ПЧ играет ключевую роль в планировании и выполнении движений и двигательном обучении [2, 3].

По последним литературным данным проприоцептивный дефицит выявляют более чем у половины пациентов, перенесших инсульт [4]. Реабилитационный потенциал таких пациентов в значительной степени определяется состоянием ПЧ паретичной конечности [5, 6]. Исследование ПЧ у этой категории больных имеет не только диагностическое значение, но может быть очень информативным и для мониторинга успешности восстановительных процедур.

До последнего времени чаще всего для оценки ПЧ использовали парадигму общепринятого клинического теста, основанного на оценке точности отставленного во времени копирования пассивного движения или положения исследуемой конечности в отсутствие зрительного контроля с помощью противоположной конечности. Основным недостатком такого тестирования является то, что оно зависит от кинестетической памяти испытуемого, которая может как изначально иметь индивидуальные особенности, так и быть нарушенной при повреждении мозга.

В последнее десятилетие большое внимание уделяется совершенствованию методов объективной оценки ПЧ [7, 8]. Важным шагом вперед следует считать появление метода, в котором испытуемый условно-здоровой рукой копирует пассивное движение исследуемой руки не по-

сле, а непосредственно во время его выполнения [9]. Оценка ПЧ проводилась с помощью роботизированной установки. Обе руки испытуемого, сидящего в кресле, были закреплены в экзоскелетах. В отсутствие зрительного контроля роботизированный экзоскелет перемещал кисть тестируемой руки в заданную точку пространства. Испытуемый, согласно заранее полученной инструкции, почувствовав это движение, должен был копировать его другой рукой, положение кисти которой измерялось вторым экзоскелетом. Объективным показателем сохранности ПЧ у здоровых испытуемых являлась высокая схожесть параметров временного хода движений рабочих точек (кистей) обеих рук. В отличие от здоровых, точно копировавших движение кисти во всех попытках, у 61% постинсультных пациентов воспроизведение пассивных движений было нарушенным или отличалось неточностью, что указывало на наличие у них проприоцептивного дефицита [10, 11].

Описанный метод позволял объективно оценивать не только насколько точно, но и насколько быстро испытуемый воспринимал тестируемое движение руки. Однако этот метод интегрально оценивал состояние ПЧ руки в целом. А у пациентов с повреждениями центральной нервной системы сенсомоторная функция разных сегментов конечности может нарушаться по-разному, и для реабилитолога важно оценивать сохранность движений и проприоцептивного восприятия в каждом сегменте. Кроме того, необходимость использования сложной роботизированной установки не позволяет рассматривать этот метод как перспективный для внедрения в широкую клиническую практику.

Разработанный нами метод объективной оценки состояния ПЧ, также основанный на оценке точности од-

новременного копирования пассивных тест-движений руки, позволяет по качественным и количественным показателям определять степень сохранности проприоцептивного восприятия различных односуставных движений [12]. Обследование не требует громоздкой аппаратуры, занимает небольшое время и выполняется универсальным способом для любых односуставных движений различных сегментов конечностей. Полученные с помощью предложенного метода результаты исследования ПЧ разных сегментов паретичной руки у пациентов с односторонним повреждением головного мозга представлены в настоящей работе.

Материалы и методы

В исследовании участвовали 40 пациентов (25 мужчин и 15 женщин) в возрасте от 19 до 77 лет, в среднем $58,5 \pm 12$ ($\bar{x} \pm SD$), все правши (по Эдинбургскому тесту [13]). 30 пациентов перенесли ишемический инсульт, 8 – геморрагический инсульт, 2 – черепно-мозговую травму. У 23 из них повреждение локализовалось в правом, у 17 – в левом полушариях головного мозга. 90% пациентов находилось в раннем восстановительном периоде, 10% – в периоде отдаленных последствий заболевания. Состояние паретичной руки у обследованных пациентов характеризовалось: мышечной силой от 0 до 4 баллов по Шкале количественной оценки мышечной силы (Medical Research Council Weakness Scale, MRC), мышечным тонусом от 0 до 3 баллов по модифицированной шкале спастичности Ashworth [14], двигательной функцией по шкале Fugl-Meyer [15] от 19 до 85 баллов.

Критерии включения: возраст от 18 до 80 лет, доминантная правая рука, верифицированный церебральный инсульт или внутричерепная травма с единичным очагом поражения, клинически сопровождающиеся парезом или пlegией руки, мышечный тонус не более 3 баллов по модифицированной шкале спастичности Ashworth, отсутствие неврологических и ортопедических нарушений, ограничивающих функциональный диапазон движений в суставах обеих рук.

Критерии исключения: двустороннее повреждение полушарий головного мозга, неспособность пациента понимать и/или соблюдать процедуру исследования, невозможность находиться в положении сидя в течение 20 минут, а также нежелание пациента продолжать исследование; состояние пациента, требующее, по мнению врача-исследователя, прекращения исследования; нежелательные явления, при которых дальнейшее участие в исследовании может оказаться пагубным для здоровья или благополучия пациента.

От всех пациентов было получено информированное согласие на участие в исследовании.

В едином сеансе в положении «сидя» оценивали сохранность проприоцептивного восприятия движений пронации-супинации предплечья (ПС) и односуставных движений сгибания-разгибания и отведения-приведения в плечевом суставе (ПСР и ПОП), выполнявшихся с согнутыми в локтях руками, сгибания-разгибания в локтевом суставе (ЛСР), сгибания-разгибания и отведения-приведения в лучезапястном суставе (КСР и КОП).

Испытуемому надевали на глаза непрозрачную маску, рукам придавали симметричное начальное положение (рис. 1, А) и производили серию пассивных циклических движений проводимого теста. Эти движения выполняли в умеренном темпе (3–4 цикла за 15–25 сек.) с варьируемыми амплитудой и скоростью в естественном для данного сустава диапазоне углов. Непосредственно во время выполнения пассивных движений испытуемый,

согласно заранее полученной инструкции, должен был по возможности точно копировать их движениями в таком же суставе другой руки.

Перед проведением каждого теста пациента просили выполнить аналогичное копирование пассивного движения с открытыми глазами, наблюдая за движениями тестируемой руки. Только если пациент правильно копировал пассивное движение, демонстрируя этим, что понимает задание, а его условно-здоровая рука способна выполнять копирующие движения, проводили основной тест с закрытыми глазами.

В процессе выполнения процедуры тестирования с помощью технических средств регистрировали углы в тестируемом суставе и одноименном суставе симметричной конечности. По мере совершенствования техники регистрации суставных углов у разных пациентов использовали: проекционную оптическую систему, суставные гониометры или систему ProprioSense (ООО «НейробиоЛаб», Россия) на основе беспроводных инерционно-магнитометрических сенсоров (рис. 1, А). Подробно методы регистрации описаны ранее [12].

На основе анализа зарегистрированных суставных углов оценивали схожесть пассивных и копирующих активных движений по качественным признакам, характеризующим наличие или отсутствие грубых нарушений копирования, и четырём количественным показателям:

- 1) коэффициенту амплитуды (*Камп*), вычисляемому как отношению среднеквадратичных значений суставных углов пассивных и копирующих движений по всему тесту;
- 2) коэффициенту формы (*Кфор*), представляющему собой линейный коэффициент корреляции нормализованных суставных углов движений по всему тесту, за исключением начальной полуволны движения;
- 3) латентности начала копирования (*Кнлат*);
- 4) средней в пределах теста латентности повторных циклических копирующих движений (*Кцлат*).

Для определения значений *Кфор* и *Кцлат* находили такое значение *Кцлат* в диапазоне от –100 до 1000 мс, при сдвиге на которое записей пассивных и активных движений, за исключением начальной полуволны движения, друг относительно друга достигалось максимальное значение *Кфор*.

Оценку степени сохранности проприоцептивного восприятия разных тест-движений проводили по условному критерию нормы (УКН), выработанному при обследовании в положении «сидя» репрезентативной группы из 55 здоровых испытуемых в возрасте от 25 до 79 лет, в среднем $54,4 \pm 13$ ($\bar{x} \pm SD$). За УКН было принято [12] такое копирование движений, при котором отсутствовали качественные ошибки, и допускался выход за пределы нормативных границ значений не более чем двух из четырёх количественных показателей. Нормативные границы для каждого показателя определялись как включающие 90% значений этого показателя для совокупной выборки здоровых испытуемых и ограничивались 5-м и 95-м процентилем распределения для *Камп*, 90-м для *Кнлат* и *Кцлат* и 10-м для *Кфор*. Числовые значения этих границ для точности копирования различных тест-движений представлены в таблице 1.

Результаты

1. Особенности одновременного копирования пассивных движений паретичной руки с закрытыми глазами.
2. С помощью метода одновременного копирования была проведена оценка состояния ПЧ паретичной руки у 40 пациентов: у 11 пациентов было исследо-

Таблица 1. Нормативные границы количественных показателей точности копирования для разных видов тестов
Table 1. Standard boundaries of quantitative indicators of accuracy of copying for different types of tests

Вид и число движений/ Type and number of movements	Камп/Ксп		Кфор/ Kshp	Кнлат/ Kolат	Кцлат/ Kclat
	from	to	≥	≤	≤
ПСП/SFE n=46	0,686	1,222	0,964	60	424
ПОП/SAA n=46	0,656	1,168	0,95	51	430
ЛСП/EFE n=64	0,675	1,32	0,956	80	530
ПС/PS n=71	0,774	1,282	0,951	167	934
КСП/HFE n=111	0,671	1,424	0,93	133	900
КОП/НАА n=94	0,583	1,257	0,932	220	1234

Обозначения: ПСП, ПОП – сгибание-разгибание и отведение приведение в плечевом суставе, ЛСП – сгибание-разгибание в локтевом суставе, ПС – пронация-супинация, КСП, КОП – сгибание разгибание и отведение-приведение в лучезапястном суставе. Камп – коэффициент амплитуды, Кфор – формы, Кнлат – коэффициент латентности начала копирования, Кцлат – коэффициент латентности повторных циклических движений.
Designations: SFE, SAA – flexion–extension and abduction–adduction in the shoulder joint, EFE – flexion–extension in the elbow joint, PS – pronation-supination, HFE, HAA – flexion–extension and abduction–adduction in the wrist joint. Ksp – the span factor calculated as a ratio of the mean-root-square values of the joint angles of the passive and copying movements throughout the test; Kshp – the shape factor representing a linear coefficient of correlation between normalized articular angles throughout the test, except the initial half-wave of the movement; Kolat – the onset copying latency; Kclat – the average latency of repeated cyclic copying movements.

вано 4 вида движений (ЛСП, ПС, КСП и КОП) и у 29 пациентов – 6 видов (ПСП, ПОП, ЛСП, ПС, КСП и КОП). Предварительное тестирование под зрительным контролем показало, что большинство пациентов хорошо понимали двигательную задачу и способны были качественно правильно воспроизводить пассивные движения паретичной руки с помощью активных движений условно-здоровой руки (рис. 1, В). Исключение составили 3 из упомянутых выше 29 пациентов: один из них не мог копировать движение ПС, другой – КОП, третий не способен был воспроизвести движения ЛСП, ПС, КСП и КОП. По этой причине указанные тесты с закрытыми глазами у них не проводились. В итоге у 40 обследованных пациентов в целом было проанализировано копирование 211 тест-движений с закрытыми глазами.

В отличие от исследованных ранее здоровых испытуемых [15], большинство пациентов в отсутствие зрительного контроля воспроизводили отдельные движения паретичной руки значительно хуже, чем с открытыми глазами (рис. 1, Б, В, Г). Как видно на рисунке 1, В, при копировании движений ЛСП под контролем зрения движения активной руки пациента качественно правильно воспроизводили пассивные движения тестируемой паретичной руки. Копирование тех же движений с закрытыми глазами происходило с грубыми ошибками (рис. 1, Г).

Различные варианты грубых нарушений копирования иллюстрируют записи на рисунке 2: иногда пациент во-

обще не воспроизводил никаких движений (А), нередко активные движения могли выполняться асинхронно и отличаться от пассивных по числу повторений (Б) или направлению (В), могло воспроизводиться только одно направление пассивных движений, например, сгибание, но не разгибание (Г). Подобные ошибки копирования качественного характера, никогда не наблюдавшиеся у здоровых испытуемых, свидетельствовали о существенных нарушениях ПЧ у пациентов.

У некоторых пациентов копирование движений могло быть качественно верным, но не соответствовало УКН по своей точности. Так, активные движения могли повторять пассивные с большими задержками (рис. 2, Д) или сильно отличаться от них по амплитуде и форме (рис. 2, Е). Такое копирование мы рассматривали как показатель сниженной ПЧ.

На основе объективных качественных и количественных показателей точности копирования, в соответствии с УКН, нарушение проприоцептивного восприятия хотя бы одного из шести тест-движений было выявлено у 77,5% (n=31) пациентов. Из них 10% в отсутствие зрительного контроля в некоторых тестах вообще не выполняли копирования. 47,5% пациентов воспроизводили часть движений с грубыми ошибками качественного характера, у 20% – копирование было качественно правильным, но не соответствовало УКН по количественным показателям точности. У 22,5% пациентов результаты всех тестов соответствовали норме.

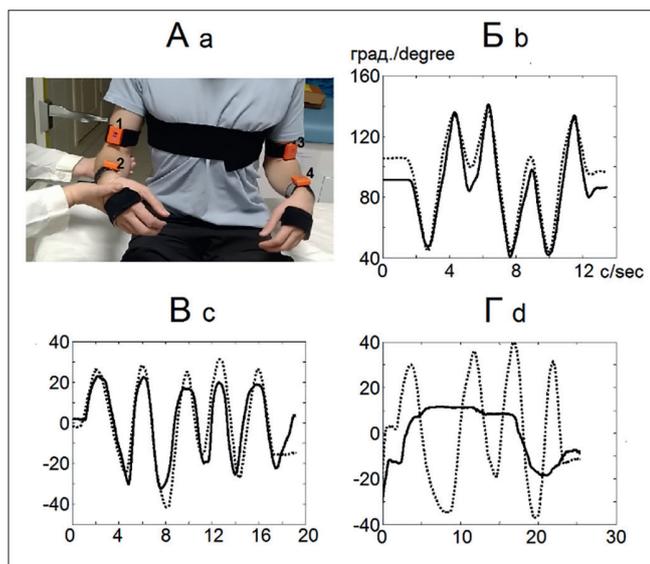


Рис. 1. Регистрация суставных углов пассивных движений исследуемой руки (пунктирная линия) и активных копирующих движений другой руки (сплошная линия) в тесте ЛСР А – положения датчиков (1, 2, 3, 4) для регистрации движений в локтевых суставах; Б – копирование движений с закрытыми глазами у здорового испытуемого (взято из опубликованного ранее исследования [15]); копирование движений с открытыми (В) и закрытыми (Г) глазами у пациента с гемипарезом

Fig. 1. Recordings of joint angles of passive movements of the studied arm (dotted line) and active copying movements of the other arm (solid line) in the elbow flexion-extension test a – the positions of sensors (1, 2, 3, 4) for recording of movements in the elbow joints; b – copying of movements with closed eyes in a healthy subject (taken from a previously published study [15]); copying of movements with closed (c) and open (d) eyes in a patient with hemiparesis

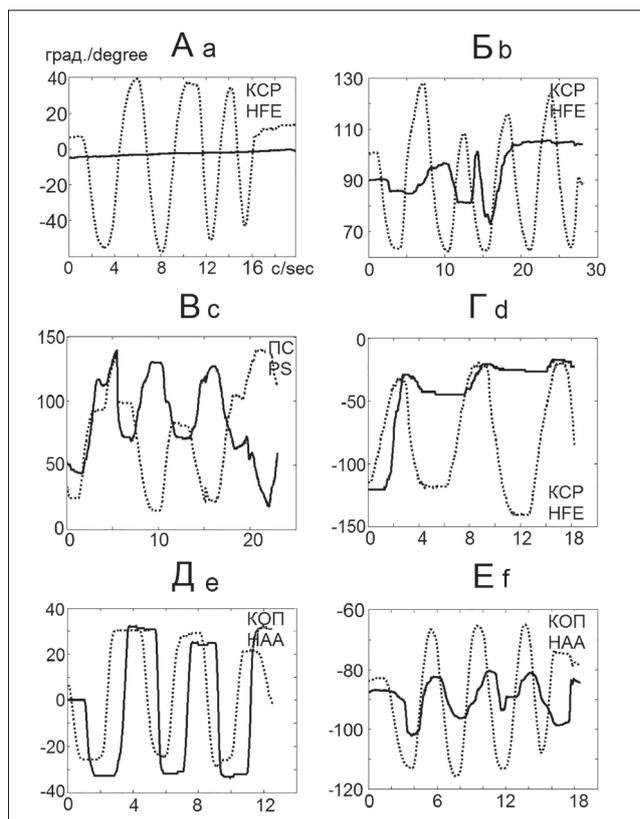


Рис. 2. Примеры копирования пассивных движений отдельных сегментов паретичной руки, не соответствующих условному критерию нормы по качественным и количественным (А-Г) и только по количественным (Д, Е) показателям. Обозначения как в таблице 1 и на рисунке 1

Fig. 2. Examples of copying passive movements of individual segments of a paretic arm that do not meet the conditional criterion of norm in qualitative and quantitative (a-d) and only quantitative (e, f) indicators. Designations as in the table 1 and figure 1

Таблица 2. Распределение пациентов по выявленным состояниям проприоцептивной чувствительности (ПЧ) руки и степени пареза*

Table 2. Distribution of patients according to the identified status of proprioceptive sensitivity (PS) and the degree of arm paresis*

Состояние ПЧ/ PC status Мышечная сила (в баллах)/ Muscle strength (in points)	ПЧ соответствует критерию нормы/ PS matches the norm criterion	ПЧ не соответствует критерию нормы/ PS does not match the criterion of the norm	
		только по количественным показателям/ only in term of quantitative indicators	по качественным и количественным показателям/ in term of qualitative indicators
4	1 – СМАп/MCAr 1 – ВБК/VBC	1 – СМАп/MCAr	1 – ВБК/VBC
3	1 – СМАп/MCAr 1 – СМАл/MCAI 1 – ВБК/VBC	1 – СМАп/MCAr 1 – СМАл/MCAI 2 – ВБК/VBC	5 – СМАп/MCAr
2	1 – СМАл/MCAI	1 – СМАп/MCAr	2 – СМАп/MCAr 4 – СМАл/MCAI 1 – ВБК/VBC 1 – Тп/THr
1		1 – СМАл/MCAI	1 – СМАп/MCAr 1 – СМАл/MCAI 1 – ВБК/VBC
0	2 – СМАл/MCAI	1 – СМАп/MCAr	3 – СМАп/MCAr 3 – СМАл/MCAI

Примечание*: Рядом с числом пациентов указана локализация повреждения мозга: СМА – Средняя мозговая артерия, ВБК – вертебро-базиллярный комплекс, Т – Таламус, п – правая, л – левая (ый)

Note*: Next to the number of patients, the location of brain damage is indicated: MCA – Middle cerebral artery, VBC – vertebro-basilar complex, TH – Thalamus, r – right, l – left

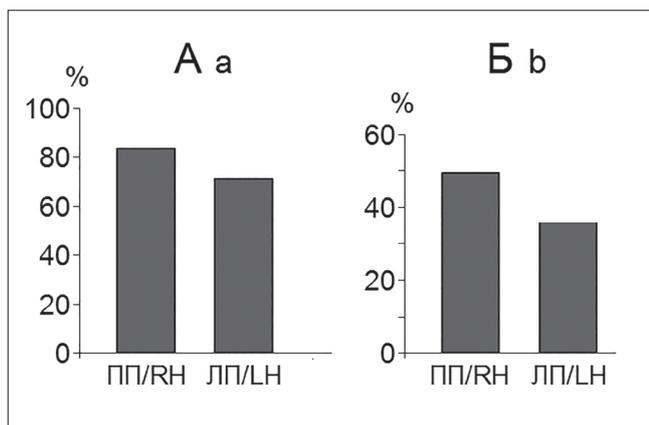


Рис. 3. Сравнение нарушений ПЧ у пациентов с повреждением правого (ПП) и левого (ЛП) полушарий. А – доля (%) пациентов с выявленным проприоцептивным дефицитом, Б – доля (%) тест-движений с выявленным нарушением проприоцептивного восприятия

Fig. 3. Comparison of proprioceptive impairments in patients with damage to the right (RH) and left (LH) hemispheres. a – percentage of patients with identified proprioceptive deficits, b – percentage of movements with detected impaired perception

Степень нарушений ПЧ не всегда соответствовала глубине пареза руки. Например, у двух пациентов с легкой руки была зарегистрирована высокая точность копирования всех тест-движений. Данные, позволяющие судить о состоянии ПЧ у пациентов с разной степенью пареза, представлены в Таблице 2.

2. Объективные показатели состояния ПЧ у пациентов с поражением правого и левого полушарий головного мозга.

Нарушение ПЧ было обнаружено у 83% (n=19) пациентов с повреждением правого и у 71% (n=12) – левого полушарий (Рис. 3, А). Доля тест-движений с выявленным нарушением ПЧ у правополушарных пациентов была в 1,4 раза больше, чем у левополушарных (рис. 3, Б).

3. Состояние проприоцептивного восприятия движений разных сегментов паретичной руки.

В 211 тестах проведена оценка проприоцептивного восприятия 28 движений ПСР, 29 ПОП, 39 ЛСР, 38 ПС,

39 КСР и 38 КОП. Частота и степень нарушений ПЧ, установленных в каждом из 6-ти видов тестов у пациентов с очагами повреждения в правом и левом полушариях, показана на графиках рисунка 4, А и Б. В разных видах тестов доля нарушений с нарушенной проприоцепцией у правополушарных пациентов составляла 41% – 62%, у левополушарных – 23%-45%.

Как у пациентов с повреждением правого, так и левого полушарий обнаружено четкое различие между степенью нарушений ПЧ движений, выполняемых мышцами плеча, и движений, выполняемых мышцами предплечья (рис. 4, А, Б).

В первой группе, в каждом из трех видов тестов (ПСР, ПОП и ЛСР) проприоцептивный дефицит в большинстве случаев был установлен по количественным показателям копирования.

В тестах второй группы (ПС, КСР и КОП), наоборот, доминирующая часть нарушений чувствительности проявлялась в виде грубых качественных ошибок копирования. В целом по всей группе пациентов доля нарушений ПЧ, выявленных на основе качественных ошибок копирования, указывающих на более глубокие расстройства проприоцепции, в первой группе составляла 27% (n=10), во второй – 80% (n=43).

Обсуждение

1. Преимущества и ограничения проведенного исследования

Показано, что у пациентов с парезом конечностей центрального генеза с помощью предложенного метода в ходе одного непродолжительного обследования могут быть получены объективные показатели проприоцептивного восприятия движений различных сегментов руки. Причем, если в традиционных методах исследования ПЧ пациент на словах или с помощью движений условно-здоровой руки передает только пространственные характеристики тестируемого движения, его локализацию, вид и направление, то метод одновременного копирования позволяет получить дополнительный временной показатель, позволяющий судить, насколько быстро пациент воспринимает движения паретичной руки.

Преимуществом использованного метода является относительная простота и быстрота его выполнения: измерение углов в разных суставах паретичной и услов-

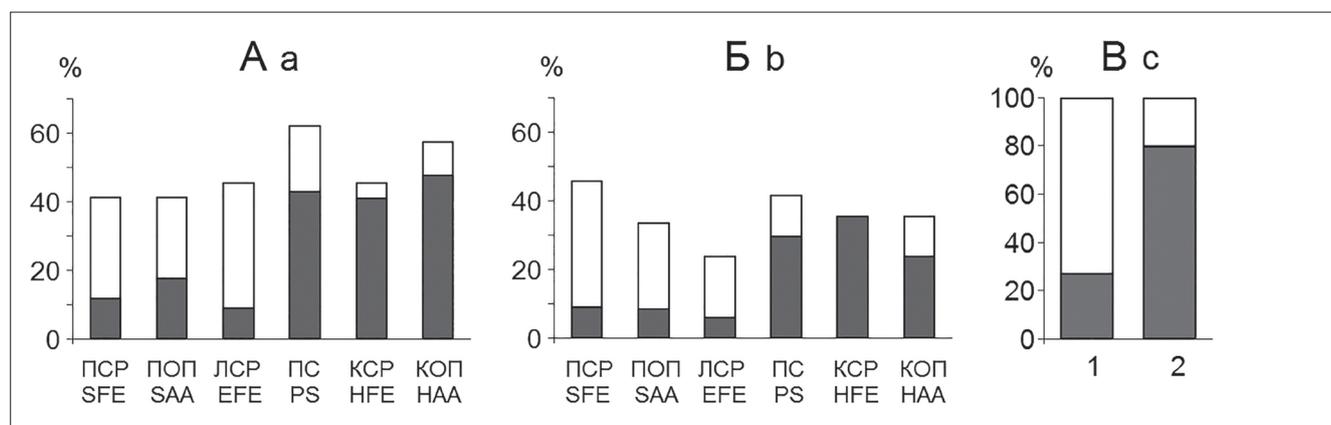


Рис. 4. Доля (%) движений с нарушенным проприоцептивным восприятием в каждом из шести видов тестов у пациентов с повреждением правого (А) и левого (Б) полушарий. В – соотношение нарушений ПЧ, выявленных на основе качественных (тёмная закразка) и только количественных (светлая закразка) показателей, при тестировании движений проксимального (1) и дистального (2) сегментов руки. Остальные обозначения как в таблице 1

Fig. 4. Percentage of movements with impaired proprioception in each of the six types of tests in patients with damage to the right (a) and left (b) hemispheres. c – ratio of proprioceptive impairments identified on the basis of qualitative (dark shading) and only quantitative (light shading) indicators when testing the movements of the proximal (1) and distal (2) segments of the arm. Other designations as in the table 1

но-здоровой рук проводится универсальным способом и, в отличие от других методов объективной оценки ПЧ [8], не требует создания специфических условий и приспособлений для исследования каждого отдельного движения. Из трех использованных нами средств регистрации суставных углов наиболее удобной является система ProprioSense на основе беспроводных инерционно-магнитометрических сенсоров, которая отличается портативностью и позволяет обследовать пациентов с разной степенью двигательных нарушений, в различных положениях тела и в различных условиях, включая клинические, амбулаторные и полевые. Сравнительная оценка показателей ПЧ в положениях сидя и лежа у здоровых и постинсультных пациентов описана нами ранее [16].

Выявленные объективные показатели ПЧ у здоровых испытуемых и пациентов с повреждениями центральной нервной системы были получены в результате однократных тестирований движений. В группе здоровых испытуемых эти показатели носили устойчивый характер, что позволило выработать условный критерий нормы. У пациентов как качественные, так и количественные показатели могли сильно отличаться. В этой связи для внедрения предложенного метода в практику и использования его с целью мониторинга ПЧ в ходе реабилитационных процедур планируется дополнительное исследование воспроизводимости показателей ПЧ у постинсультных пациентов.

2. Эффективность метода

В проведенном исследовании нарушение ПЧ выявлено у 77,5% обследованных пациентов. Этот показатель соответствует наибольшему уровню выявляемости нарушений ПЧ другими применяемыми в клинической практике способами у данного контингента больных [4, 17], что указывает на высокую эффективность предложенного метода.

3. Сравнение состояния ПЧ паретичной руки при повреждениях правого и левого полушарий

Обнаружено, что проприоцептивный дефицит встречается чаще и захватывает большее число движений у пациентов с повреждением правого полушария. Эти данные соответствуют существующим представлениям о ведущей роли правого полушария в обработке проприоцептивной информации [18]. Однако обращает на себя внимание выявленное нами частое нарушение ПЧ у левополушарных пациентов (71%), что следует учитывать при их реабилитации.

4. Объективная оценка состояния ПЧ разных отделов паретичной руки

Уже в середине XIX века было отмечено [19], что при повреждениях центральной нервной системы, прежде всего, страдают движения дистальных отделов конечностей, возникшие на более поздних этапах филогенетического развития. Проведенная в настоящей работе сравнительная объективная оценка состояния проприоцепции движений разных сегментов паретичной руки у пациентов, перенесших инсульт или травму мозга, показала, что ПЧ движений, осуществляемых мышцами предплечья, (движения ПС, КСР и КОП) нарушается чаще и сильнее по сравнению с движениями, которые выполняются мышцами плеча (движения ПСР, ПОП и ЛСР). Эти данные указывают на общую закономерность нарушений двигательных и проприоцептивных функций верхних конечностей при повреждениях головного мозга. Вместе с тем, сопоставление у каждого пациента степени пареза руки с состоянием ПЧ показало, что между ними далеко не всегда существует прямая связь. Так, например,

из 9 пациентов с пlegией руки шесть выполняли копирование с грубыми качественными ошибками, что указывает на грубое нарушение ПЧ, один пациент ощущал движение лучше – копировал его правильно, но неточно по количественным показателям, а у двух – воспроизведение движений соответствовало норме. Следует отметить, что у всех перечисленных пациентов локализация очага повреждения мозга была указана одна и та же, – СМА. Бассейн этой артерии охватывает целый ряд областей с разными функциональными свойствами. Очевидно, что такая точность описания зоны повреждения является недостаточной для понимания особенностей сенсорных и моторных нарушений у разных пациентов. Все более актуальным становится описание очагов повреждения мозга на МРТ в терминах анатомических структур [20].

5. Значительная доля нарушений ПЧ может быть обнаружена по визуально выявляемым качественным ошибкам копирования

Простое наблюдение за копированием пассивного движения непосредственно во время его выполнения может дать представление о том, насколько правильно, быстро и уверенно пациент воспринимает это движение. Особенно легко визуально обнаруживаются качественные ошибки копирования. На основе таких грубых ошибок копирования у пациентов с повреждением центральной нервной системы было выявлено около трети нарушений проприоцептивного восприятия движений проксимального и подавляющего большинства (80%) дистального отделов руки. Эти данные указывают на то, что посредством предложенной процедуры тестирования значительная доля нарушений ПЧ руки с детализацией по отдельным сегментам может быть обнаружена даже без применения технических средств для регистрации суставных углов.

Такой упрощенный вариант предложенного метода может быть использован в широкой практике, предоставляя ценную информацию для формирования индивидуальной реабилитационной программы пациента. При грубых нарушениях ПЧ для мониторинга изменений её состояния в ходе восстановительных процедур можно использовать видеозапись копирования тест-движений.

Выводы

1. Доля пациентов с выявленным проприоцептивным дефицитом соответствует наиболее высоким статистическим показателям, отмеченным в литературе у постинсультных больных, что указывает на высокую эффективность предложенного метода.
2. Показана высокая частота нарушений проприоцепции паретичной руки не только у пациентов с очагом повреждения в правом, но и в левом полушарии.
3. У пациентов с односторонним парезом руки проприоцепция движений, выполняемых мышцами предплечья, страдает сильнее и чаще по сравнению с движениями, в которых участвуют мышцы плеча.
4. Значительные нарушения ПЧ, проявляющиеся в виде грубых ошибок копирования качественного характера, легко обнаруживаются визуально и могут быть выявлены без применения измерительной аппаратуры, в любых условиях обследования пациентов.

Финансирование. Работа частично поддержана грантом РФФИ 19–015–00264.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tuthill J.C., Azim E. Proprioception. *Current Biology*. 2018; (28): 194–203.
2. Козловская И.Б. Афферентный контроль произвольных движений. Москва. Наука. 1976: 295 с.
3. Ostry D.J., Gribble P.L. Sensory plasticity in human motor learning. *Trends in Neurosciences*. 2016; 39 (2): 114–123. DOI:10.1016/j.tins.2015.12.006
4. Meyer S., Karttunen A.H., Thijs V., Feys H., Verheyden G. How do somatosensory deficits in the arm and hand relate to upper limb impairment, activity, and participation problems after stroke? A systematic review. *Physical Therapy*. 2014; 94 (9): 1220–1231. DOI:10.2522/ptj.20130271
5. Schabrun S.M., Hillier S. Evidence for the retraining of sensation after stroke: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*. 2009; (23): 27–39. DOI:10.1177/0269215508098897
6. Coupar F., Pollock A., Rowe P., Weir C., Langhorne P. Predictors of upper limb recovery after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*. 2012; (26): 291–313. DOI:10.1177/0269215511420305cre.sagepub.com
7. Hillier S., Immink M., Thewlis D. Assessing Proprioception: A Systematic Review of Possibilities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015; 29 (10): 933–949. DOI:10.1177/1545968315573055nnr.sagepub.com
8. Han J., Waddington G., Adams R., Anson J., Liu Y. Assessing proprioception: A critical review of methods. *Journal of Sport and Health Science*. 2016; (5): 80–90.
9. Semrau J.A., Herter T.M., Scott S.H., Dukelow S.P. Robotic identification of kinesthetic deficits after stroke. *Stroke*. 2013; (44): 3414–3421. DOI:10.1161/STROKEAHA.113.002058
10. Semrau J.A., Wang J.C., Herter T.M., Scott S., Dukelow S.P. Relationship between visuospatial neglect and kinesthetic deficits after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015; 29 (4): 318–328. DOI:10.1177/1545968314545173
11. Semrau J.A., Herter T.M., Scott S.H., Dukelow S.P. Inter-rater reliability of kinesthetic measurements with the KINARM robotic exoskeleton. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2017; (14): 42–50. DOI:10.1186/s12984-017-0260-z
12. Pavlova O.G., Roschin V.Y., Sidorova M.V., Selionov V.A., Kulikov M.A., Staritsyn A.N. Method for qualitative and quantitative assessment of proprioceptive perception of single-joint arm movements. *Human Physiology*. 2018; 44 (4): 445–455. DOI:10.1134/S0362119718040126
13. Oldfield, R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971; 9 (1): 97–113. DOI:10.1016/0028-3932(71)90067-4
14. Gregson J.M., Leathley M.J., Moore A.P., Smith T.L., Sharma A.K., Watkins C.L. Reliability of measurements of muscle tone and muscle power in stroke patients. *Age and Aging*. 2000; (29): 223–228. DOI:10.1093/ageing/29.3.223
15. Fugl-Meyer A.R., Jaasko L., Leyman I., Olsson S., Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient 1. A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 1975; (7): 13–31.
16. Roschin V.Y., Pavlova O.G., Selionov V.A., Solopova I.A., Zhvansky D.S., Staroverova O.N., Khat'kova S.E. Comparison of Objective Indicators of Proprioception of Single-Joint Arm Movements in Healthy Subjects and Post-Stroke Patients in Sitting and Lying Positions. *Human Physiology*. 2019; 45 (4): 397–404. DOI:10.1134/S0362119719040133
17. Connell L.A. Somatosensory impairment after stroke: frequency of different deficits and their recovery. *Clinical Rehabilitation*. 2008; (22): 758–767. DOI:10.1177/0269215508090674
18. Naito E., Morita T., Amemiya K. Body representations in the human brain revealed by kinesthetic illusions and their essential contributions to motor control and corporeal awareness. *Neuroscience Research*. 2016; (104): 16–30.
19. Taylor J. Evolution and Dissolution of the Nervous System. Selected Writings of John Hughlings Jackson. NY. Basic Books Inc. 1958; (22): 45–55.
20. Findlater S.E., Hawe R.L., Semrau J.A., Kenzie J.M., Yu A.Y., Scott S.H., Dukelow S.P. Lesion locations associated with persistent proprioceptive impairment in the upper limbs after stroke. *NeuroImage: Clinical*. 2018; (20): 955–971. DOI:10.1016/j.nicl.2018.10.003

REFERENCES

1. Tuthill J.C., Azim E. Proprioception. *Current Biology*. 2018; (28): 194–203.
2. Kozlovskaya I.B. Афферентный контроль произвольных движений [Afferent Control of Voluntary Movements]. Moscow. Nauka. 1976: 295 p. (In Russ.).
3. Ostry D.J., Gribble P.L. Sensory plasticity in human motor learning. *Trends in Neurosciences*. 2016; 39 (2): 114–123. DOI:10.1016/j.tins.2015.12.006
4. Meyer S., Karttunen A.H., Thijs V., Feys H., Verheyden G. How do somatosensory deficits in the arm and hand relate to upper limb impairment, activity, and participation problems after stroke? A systematic review. *Physical Therapy*. 2014; 94 (9): 1220–1231. DOI: 10.2522/ptj.20130271
5. Schabrun S.M., Hillier S. Evidence for the retraining of sensation after stroke: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*. 2009; (23): 27–39. DOI:10.1177/0269215508098897
6. Coupar F., Pollock A., Rowe P., Weir C., Langhorne P. Predictors of upper limb recovery after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*. 2012; (26): 291–313. DOI:10.1177/0269215511420305cre.sagepub.com
7. Hillier S., Immink M., Thewlis D. Assessing Proprioception: A Systematic Review of Possibilities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015; 29 (10): 933–949. DOI:10.1177/1545968315573055nnr.sagepub.com
8. Han J., Waddington G., Adams R., Anson J., Liu Y. Assessing proprioception: A critical review of methods. *Journal of Sport and Health Science*. 2016; (5): 80–90.
9. Semrau J.A., Herter T.M., Scott S.H., Dukelow S.P. Robotic identification of kinesthetic deficits after stroke. *Stroke*. 2013; (44): 3414–3421. DOI:10.1161/STROKEAHA.113.002058
10. Semrau J.A., Wang J.C., Herter T.M., Scott S., Dukelow S.P. Relationship between visuospatial neglect and kinesthetic deficits after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015; 29 (4): 318–328. DOI:10.1177/1545968314545173
11. Semrau J.A., Herter T.M., Scott S.H., Dukelow S.P. Inter-rater reliability of kinesthetic measurements with the KINARM robotic exoskeleton. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2017; (14): 42–50. DOI:10.1186/s12984-017-0260-z
12. Pavlova O.G., Roschin V.Y., Sidorova M.V., Selionov V.A., Kulikov M.A., Staritsyn A.N. Method for qualitative and quantitative assessment of proprioceptive perception of single-joint arm movements. *Human Physiology*. 2018; 44 (4): 445–455. DOI:10.1134/S0362119718040126
13. Oldfield, R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971; 9 (1): 97–113. DOI:10.1016/0028-3932(71)90067-4
14. Gregson J.M., Leathley M.J., Moore A.P., Smith T.L., Sharma A.K., Watkins C.L. Reliability of measurements of muscle tone and muscle power in stroke patients. *Age and Aging*. 2000; (29): 223–228. DOI:10.1093/ageing/29.3.223
15. Fugl-Meyer A.R., Jaasko L., Leyman I., Olsson S., Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient 1. A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 1975; (7): 13–31.
16. Roschin V.Y., Pavlova O.G., Selionov V.A., Solopova I.A., Zhvansky D.S., Staroverova O.N., Khat'kova S.E. Comparison of Objective Indicators of Proprioception of Single-Joint Arm Movements in Healthy Subjects and Post-Stroke Patients in Sitting and Lying Positions. *Human Physiology*. 2019; 45 (4): 397–404. DOI:10.1134/S0362119719040133
17. Connell L.A. Somatosensory impairment after stroke: frequency of different deficits and their recovery. *Clinical Rehabilitation*. 2008; (22): 758–767. DOI:10.1177/0269215508090674
18. Naito E., Morita T., Amemiya K. Body representations in the human brain revealed by kinesthetic illusions and their essential contributions to motor control and corporeal awareness. *Neuroscience Research*. 2016; (104): 16–30.
19. Taylor J. Evolution and Dissolution of the Nervous System. Selected Writings of John Hughlings Jackson. NY. Basic Books Inc. 1958; (22): 45–55.
20. Findlater S.E., Hawe R.L., Semrau J.A., Kenzie J.M., Yu A.Y., Scott S.H., Dukelow S.P. Lesion locations associated with persistent proprioceptive impairment in the upper limbs after stroke. *NeuroImage: Clinical*. 2018; (20): 955–971. DOI:10.1016/j.nicl.2018.10.003

Информация об авторах:

Павлова Ольга Геннадиевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, e-mail: pavlova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5238-8383>

Рошин Вадим Юрьевич, ведущий инженер, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН; младший научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем РАН; исполнительный директор, ООО «НейроБиоЛаб», e-mail: vroschin@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-499-2376>

Сидорова Марина Валерьевна, врач ЛФК, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России; аспирант кафедры медицинской реабилитологии, Федеральный центр мозга и нейротехнологий Минздрава России, e-mail: marinavborisova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4386-2914>

Селионов Виктор Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН, Центральная клиническая больница РАН, e-mail: selionov@iitp.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0165-7285>

Николаев Евгений Андреевич, врач-невролог, Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России, e-mail: nikolaev@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0000-0003-0443-3201>

Хатькова Светлана Евгеньевна, доктор биологических наук, профессор, главный внештатный невролог, заведующий неврологическим отделением, Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр», e-mail: hse15@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3071-4712>

Иванова Галина Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом медицинской реабилитации, Федеральный центр мозга и нейротехнологий Минздрава России; заведующий кафедрой медицинской реабилитации ФДПО, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России, e-mail: reabilivanova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3180-5525>

Information about the authors:

Olga G. Pavlova, Dr. Sci. (Med.), Senior Scientist, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, e-mail: pavlova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5238-8383>

Vadim Yu. Roschin, Senior Engineer, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences; Junior Scientist, Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences; General Director, NeuroBioLab LLC, e-mail: vroschin@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-499-2376>

Marina V. Sidorova, Physical Therapy Doctor, Federal Center for Brain and Neurotechnology of the Russian Ministry of Health; Graduate Student of the Department of Medical Rehabilitation, Pirogov Russian National Research Medical University, e-mail: marinavborisova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4386-2914>

Victor A. Selionov, Cand. Sci. (Med.), Senior Scientist, Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, e-mail: selionov@iitp.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0165-7285>

Evgeniy A. Nikolaev, Neurologist, National Medical Research Center «Treatment and Rehabilitation Center», e-mail: nikolaev@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0000-0003-0443-3201>

Svetlana E. Khatkova, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Neurological Department, National Medical Research Center «Treatment and Rehabilitation Center», e-mail: hse15@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3071-4712>

Galina E. Ivanova, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Medical Rehabilitation Department, Federal Center for Brain and Neurotechnology; Head of the Department of Medical Rehabilitation, Pirogov Russian National Research Medical University, e-mail: reabilivanova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3180-5525>

