



Объективные показатели точности одновременного копирования односуставных движений руки с закрытыми глазами и под зрительным контролем у пациентов с гемипарезом и здоровых испытуемых (новый метод объективной оценки проприоцептивной чувствительности)

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

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

²ООО «НейробиоЛаб», Москва, Россия

³Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

⁴Федеральный центр мозга и нейротехнологий Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

⁵Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

⁶Центральная клиническая больница РАН, Москва, Россия

⁷Лечебно-реабилитационный центр Минздрава России, Москва, Россия

⁸Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Цель. Нами разработан метод объективной оценки проприоцептивной чувствительности (ПЧ), основанный на определении точности копирования с закрытыми глазами пассивных односуставных движений тестируемой руки во время их выполнения с помощью активных движений другой руки. Было показано, что здоровые испытуемые с высокой точностью воспроизводят пассивные движения, тогда как перенесшие инсульт пациенты с гемипарезом большое число тест-движений паретичной руки копируют с грубыми ошибками качественного характера или неточно по количественным пространственно-временным показателям. Чтобы убедиться, что нарушения копирования у этих пациентов связаны с состоянием ПЧ, а не с когнитивным фактором или изменением функционального состояния условно-здоровой руки, необходимо было изучить, насколько точно они способны воспроизводить тест-движения под зрительным контролем.

Материалы и методы. У 11 пациентов с очагом повреждения в правом и 9 – в левом полушариях головного мозга и контрольной группы из 23 здоровых испытуемых исследовали точность копирования 5 элементарных движений руки: сгибания-разгибания в плечевом, локтевом и лучезапястном суставах и отведения-приведения в плечевом и лучезапястном суставах. Испытуемому производили серию пассивных циклических тест-движений исследуемой руки, во время выполнения которых он должен был копировать их активными движениями другой руки. Процедуру копирования каждого тест-движения проводили сначала под зрительным контролем, а затем с закрытыми глазами. В каждом тесте регистрировали углы в исследуемом суставе и таком же суставе другой конечности; по качественным и количественным показателям оценивали степень схожести пассивных и активных движений и выявляли соответствие точности копирования разработанному ранее условному критерию нормы (УКН) ПЧ у здоровых испытуемых.

Результаты. Показано, что у здоровых испытуемых точность копирования всех движений в тестах с закрытыми глазами и 98% движений в тестах с открытыми глазами соответствовала УКН. В группе пациентов в тестах с закрытыми глазами этому критерию соответствовало копирование только 61% движений. 20,4% движений были воспроизведены с грубыми ошибками качественного характера, 18,4% были скопированы качественно правильно, но отличались от УКН по количественным показателям. В тестах со зрительным отслеживанием пассивных движений воспроизведение 98% движений было качественно верным, а 83% – соответствовало УКН.

Выводы. Подавляющее большинство односуставных движений паретичной руки пациенты с односторонним повреждением головного мозга копируют под зрительным контролем качественно правильно и точно (в соответствии с УКН). Это означает, что в ходе исследования ПЧ предложенным методом они, как правило, понимают двигательную задачу и могут точно воспроизвести тестируемые движения условно-здоровой рукой. Из этого следует, что основной причиной нарушений копирования этих движений в тестах с закрытыми глазами является проприоцептивный дефицит.

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

Источник финансирования: Работа частично поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (проект №19-015-00264).

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Павлова О.Г., Роцин В.Ю., Сидорова М.В., Селионов В.А., Николаев Е.А., Хатькова С.Е., Иванова Г.Е. Объективные показатели точности одновременного копирования односуставных движений руки с закрытыми глазами и под зрительным контролем у пациентов с гемипарезом и здоровых испытуемых (новый метод объективной оценки проприоцептивной чувствительности). *Вестник восстановительной медицины*. 2021; 20(1): 35-44. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-1-35-44>

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

Статья получена: 23.11.2020

Статья принята к печати: 04.02.2021

Objective Accuracy Indicators of the Single-Joint Arm Movements Simultaneous Reproduction with Closed Eyes and under Visual Control in Patients with Hemiparesis and Healthy Test Subjects (a New Method for Proprioceptive Sensitivity Objective Assessment)

Olga G. Pavlova^{1,2}, Vadim Yu. Roschin^{1,2,3}, Marina V. Sidorova⁴, Victor A. Selionov^{5,6}, Evgeniy A. Nikolaev⁷, Svetlana E. Khatkova⁷, Galina E. Ivanova^{4,8}

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

²NeuroBioLab LLC, Moscow, Russian Federation

³Institute of Medical and Biological Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁴Federal Center for Brain and Neurotechnology, Moscow, Russian Federation

⁵Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁶Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁷Medical and Rehabilitation Center, Moscow, Russian Federation

⁸Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Aim. We have developed a method for objective assessment of proprioceptive sensitivity (PS) based on determining the accuracy of reproduction with the eyes closed of the tested arm passive single-joint movements by active movements of the other arm during their execution. It was shown that healthy test subjects reproduce the passive movements with high accuracy, while post-stroke patients with hemiparesis reproduce a large proportion of paretic arm test movements with gross qualitative and quantitative errors. To make sure that the reproduction errors are associated with the state of PS but not with the cognitive factor or the functional state of the conditionally healthy arm, it was necessary to find out how accurately these patients are able to reproduce the test-movements under visual control.

Materials and Methods. In 11 patients with a lesion in the right and in 9 patients in the left hemispheres of the brain and a control group of 23 healthy subjects, the accuracy of reproduction of the 5 elementary hand movements was studied: flexion-extension in the shoulder, elbow and wrist joints and abduction-adduction in the shoulder and wrist joints. The test person was subjected to a series of passive cyclic movements of the test hand during which he had to copy them with active movements of the other hand. The reproduction procedure for each test movement was performed first under visual control and then with the eyes closed. The angles in the test joint and the same joint of the other arm were recorded. Qualitative and quantitative indicators were used to assess the degree of similarity of active and passive movements and to reveal the correspondence of copying accuracy to the previously developed conditional criterion of the norm (CCN) of PS in healthy test subjects.

Results. It was shown that in healthy test subjects the accuracy of all movements copying in tests with closed eyes and 98% of movements in tests with opened eyes met the requirements of the CCN. In the group of patients in tests with eyes closed, copying only 61% of movements met this criterion. 20.4% of movements were reproduced with qualitative gross errors, 18.4% were copied qualitatively correctly but differed from CCN in quantitative indicators. In tests with visual tracking of passive movements, reproduction of 98% of movements was qualitatively correct and 83% of movements corresponded to CCN.

Conclusions. The vast majority of single-articular movements of the paretic arm are copied by patients with unilateral brain damage under visual control qualitatively correctly and accurately (meeting the CCN). It means that in the course of the study of PS by the proposed method, they, as a rule, understand the motor task and can reproduce the tested movements with their conditionally healthy arm. From this it follows that the main cause of these movements impaired copying in tests with closed eyes is proprioceptive deficit.

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

Acknowledgments: This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project ID 19-015-00264).

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

For citation: Pavlova O.G., Roschin V.Yu., Sidorova M.V., Selionov V.A., Nikolaev E.A., Khatkova S.E., Ivanova G.E. Objective Accuracy Indicators of the Single-Joint Arm Movements Simultaneous Reproduction with Closed Eyes and under Visual Control in Patients with Hemiparesis and Healthy Test Subjects (a New Method for Proprioceptive Sensitivity Objective Assessment). *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2020; 20(1): 35-44. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-1-35-44>

Correspondence address: Olga G. Pavlova, e-mail: pavlovaog@mail.ru

Received: Nov 23, 2020

Accepted: Feb 04, 2021

Введение

Инсульт, частота проявления которого в последние десятилетия неуклонно растет, является одной из основных причин инвалидизации населения. Разработка эффективных путей реабилитации пациентов с постинсультными двигательными нарушениями стала одной из важнейших научно-практических задач медицины. Важным прогностическим показателем возможности восстановления двигательных функций [1, 2] является состояние проприоцеп-

тивной чувствительности (ПЧ) – ощущение взаимного положения и движения конечности и тела. Согласно статистическим данным [3], ПЧ нарушается более чем у половины пациентов с парезами и параличами центрального генеза. В ходе двигательной реабилитации таких пациентов мониторинг состояния ПЧ приобретает особое значение для оптимизации и корректировки восстановительных процедур.

Оценка ПЧ существенно зависит от того, каким методом она получена. Наиболее часто используемый в клини-

ке способ оценки ПЧ критикуют за недостаточную чувствительность, неточность и субъективность [4]. При тестировании ПЧ этим методом испытуемого просят закрыть глаза, врач перемещает сегмент исследуемой конечности в определенном направлении и предлагает испытуемому описать это движение на словах или воспроизвести его другой конечностью. Схожесть воспроизведенного движения с тестовым оценивают в баллах [5, 6]. Существенный недостаток такого способа оценки обусловлен тем, что копирование пассивного движения отставлено во времени и зависит от кинестетической памяти пациента, которая не только имеет индивидуальные особенности, но и может нарушаться после повреждения мозга.

Нами разработан метод объективной оценки ПЧ [7], принципиально отличающийся от описанного выше тем, что испытуемого просят копировать пассивные движения не после, а непосредственно во время их выполнения. При этом тестируется воспроизведение не одиночных движений, а серии варьируемых по амплитуде и скорости циклических движений в определенном суставе. Во время обследования с помощью технических средств регистрируются пассивные и копирующие активные движения, и по качественным и количественным показателям определяется степень их схожести. Установлено, что копирование пассивных движений у здоровых лиц происходит практически одновременно и выполняется с высокой точностью. На основе качественных и количественных показателей точности копирования с закрытыми глазами ряда односуставных движений руки у здоровых испытуемых был выработан общий условный критерий нормы ПЧ [7, 8] с определенными нормативными границами количественных показателей для каждого вида тест-движений.

Тестирование ПЧ предложенным методом у пациентов с односторонним инсультом показало, что копирование с закрытыми глазами движений паретичной руки весьма часто выполняется с ошибками качественного характера, когда активные движения сохранной руки осуществляются в другом суставе, неправильно передают число и направление пассивных движений. Нередко качественно правильное копирование бывает неточным по количественным пространственно-временным показателям. Отмеченные нарушения копирования у пациентов с повреждением головного мозга могут быть связаны не только с состоянием ПЧ. Их причиной может быть вызванная ослаблением когнитивных функций неспособность испытуемого понять двигательную задачу теста. Также результат теста зависит от состояния активной руки, выполняющей копирование. Согласно морфологическим данным [9], очаг поврежденного полушария может иметь связи не только с контра-, но и с ипсилатеральной конечностью. Функциональные исследования «больной» и «здоровой» конечностей у пациентов с односторонним повреждением головного мозга показывают, что вместе с грубыми расстройствами сенсомоторных функций в контралатеральной конечности нарушение этих функций можно обнаружить и в ипсилатеральной руке [10, 11] или ноге [12]. В этой связи ипсилатеральную конечность принято называть условно-здоровой.

Чтобы оценить влияние отмеченных факторов на результаты тестирования ПЧ предложенным методом у пациентов с гемипарезом центрального генеза, мы провели сравнительное исследование копирования различных односуставных движений паретичной руки под зрительным контролем и без него. В тех случаях, когда пациент успешно воспроизводил пассивные тест-движения под зрительным контролем, а с закрытыми глазами копиро-

вал их с явными ошибками, у нас были основания считать, что нарушения копирования связаны, главным образом, с проприоцептивным дефицитом.

Результаты этого исследования должны были показать возможности применения предложенного метода оценки ПЧ у пациентов с односторонним повреждением головного мозга.

Материалы и методы

В исследовании участвовали 23 здоровых испытуемых: 11 мужчин и 12 женщин, от 25 до 79 лет ($52,7 \pm 17,4$), правши (по Эдинбургскому тесту [13]), и 20 пациентов с односторонним повреждением головного мозга: 8 мужчин и 12 женщин, от 31 до 76 лет ($61,3 \pm 10$), правши. 14 пациентов перенесли ишемический, 5 – геморрагический инсульт, 1 – черепно-мозговую травму. У 11 из них повреждение локализовалось в правом, у 9 – в левом полушариях головного мозга. 19 пациентов находились в раннем восстановительном периоде, один – 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 [5] от 19 до 85 баллов.

Критериями включения для здоровых испытуемых и пациентов являлись: возраст от 18 до 80 лет, доминантная правая рука, отсутствие неврологических и ортопедических нарушений, ограничивающих функциональный диапазон пассивных движений в суставах обеих рук; для пациентов также: 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.

Критериями исключения для больных были: двусторонний инсульт, мышечный тонус более 3 баллов по шкале Ashworth, 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 испытуемых было получено информированное согласие на участие в исследовании.

В течение одного сеанса у испытуемых в положении сидя исследовали точность одновременного копирования сгибания-разгибания и отведения-приведения в плечевом суставе (ПСР и ПОП), сгибания-разгибания в локтевом суставе (ЛСР), сгибания-разгибания и отведения-приведения в лучезапястном суставе (КСР и КОП). Рукам придавали симметричное начальное положение и в умеренном темпе (3–4 цикла за 15–25 с), с варьируемыми амплитудой и скоростью, в естественном для данного сустава диапазоне углов производили серию пассивных циклических односуставных движений проводимого теста. Во время выполнения пассивных движений испытуемый, согласно заранее полученной инструкции, должен был по возможности точно копировать их движениями в таком же суставе другой руки. Каждый тест сначала проводили с открытыми глазами, когда испытуемого просили зрительно отслеживать пассивные тест-движения. Затем на глаза надевали непрозрачную маску, и тест повторяли без зрительного контроля.

В ходе исследования регистрировали углы в тестируемом суставе и одноименном суставе симметричной конечности с помощью суставных гониометров или системы ProprioSense (ООО «НейробиоЛаб», Россия), использующей беспроводные инерционно-магнитометрические сенсоры. Подробно эти способы регистрации описаны ранее [7].

На основе анализа зарегистрированных суставных углов оценивали схожесть пассивных и активных движений по качественным признакам, характеризующим наличие или отсутствие грубых нарушений копирования (правильность суставной локализации и направления движений, количество пропущенных циклических движений) и четырёх количественным показателям: 1) коэффициенту амплитуды (*Камп*), 2) коэффициенту формы (*Кфор*), 3) латентности начала копирования (*Кнлат*) и 4) средней в пределах теста латентности повторных циклических копирующих движений (*Кцлат*). Способ вычисления коэффициентов описан ранее [8]. Для оценки степени сохранности проприоцептивного восприятия разных тест-движений использовали выработанный ранее [8] условный критерий нормы (УКН), согласно которому копирование движений должно выполняться без качественных ошибок, с допустимостью выхода за пределы нормативных границ значений не более чем двух из четырёх количественных показателей. Нормативные границы для количественных показателей представлены в Таблице 1. Они определялись как включающие 90% значений каждого показателя для исследованной группы здоровых испытуемых и ограничивались 5-м и 95-м процентилем распределения для *Камп*, 90-м для *Кнлат* и *Кцлат* и 10-м для *Кфор*.

Результаты

1. Точность копирования движений в группе здоровых испытуемых

У 23 здоровых испытуемых в тестах с открытыми и закрытыми глазами исследовано копирование всего 176 серий пассивных движений правой и левой рук: 46 тест-движений ПСР, 46 – ПОП, 28 – ЛСР, 30 – КСР и 26 – КОП. Выявлено, что как под зрительным контролем, так и без него воспроизведение движений всегда было качественно верным и, как правило, точным по количественным показателям. В качестве примера на Рис. 1, А и Б приведены записи копирования с открытыми и закрытыми глазами движений ЛСР у одного из испытуемых. Видно, что в обоих тестах наблюдается высокая схожесть пассивных и копирующих активных движений.

Оценка результатов тестирования с использованием условного критерия нормы (УКН) показала, что этому критерию соответствуют все копирования, выполненные с закрытыми глазами и 98% с открытыми (Рис. 1, В). В единичных случаях недостаточно точно по количественным показателям были воспроизведены движения ПСР и ПОП.

2. Точность копирования движений в группе пациентов

У каждого из 20 пациентов в тестах с открытыми и закрытыми глазами исследовано воспроизведение пяти тест-движений: ПСР, ПОП, ЛСР, КСР и КОП. При зрительном отслеживании движений паретичной руки из 100 протестированных движений 98 были воспроизведены без качественных

Таблица 1. Нормативные границы количественных показателей точности копирования различных тест-движений с закрытыми глазами

Table 1. Standard boundaries of quantitative indicators of accuracy of copying for different types of tests with closed eyes

Вид и число движений / Type and number of movements	Камп		Кфор / Kshp	Кнлат / Kolat	Кцлат / Kclat
	Ksp from	to			
ПСР / SFE n=46	0,686	1,222	≥ 0,964	≤ 60	≤ 424
ПОП / SAA n=46	0,656	1,168	≥ 0,95	≤ 51	≤ 430
ЛСР / EFE n=64	0,675	1,32	≥ 0,956	≤ 80	≤ 530
КСР / HFE n=111	0,671	1,424	≥ 0,93	≤ 133	≤ 900
КОП / HAA n=94	0,583	1,257	≥ 0,932	≤ 220	≤ 1234

Обозначения: ПСР, ПОП – сгибание-разгибание и отведение-приведение в плечевом суставе, ЛСР – сгибание-разгибание в локтевом суставе, КСР, КОП – сгибание разгибание и отведение-приведение в лучезапястном суставе. Камп – коэффициент амплитуды, Кфор – коэффициент формы, Кнлат – латентности начала копирования, Кцлат – латентности повторных циклических движений

Designations: SFE, SAA – flexion–extension and abduction–adduction in the shoulder joint, EFE – flexion-extension in the elbow joint, 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

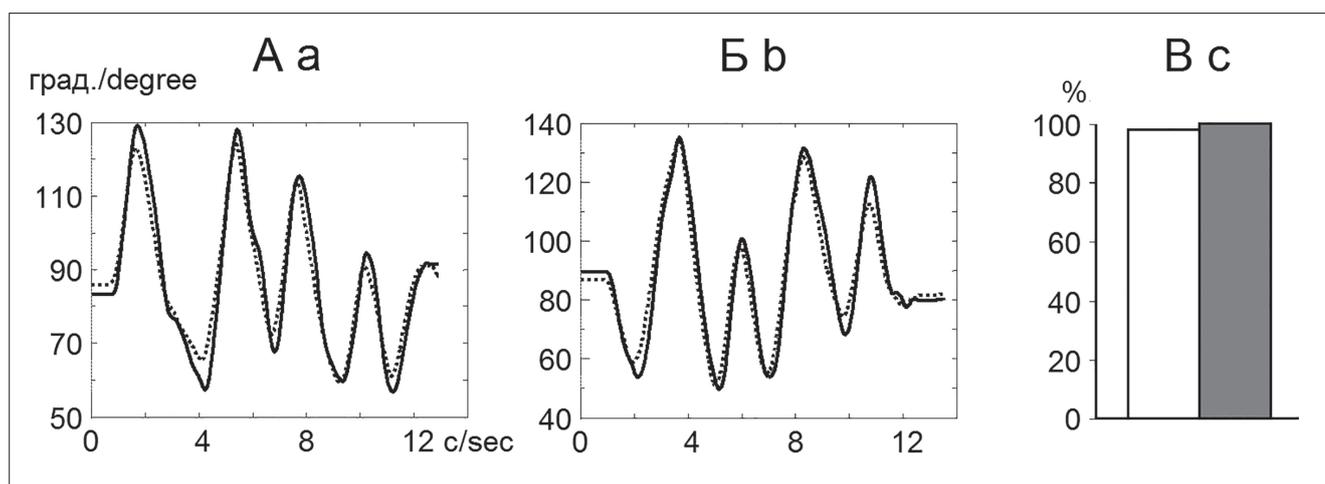


Рис. 1. Точность копирования движений с открытыми и закрытыми глазами у здоровых испытуемых. А, Б – регистрация суставных углов пассивных (пунктирная линия) и активных копирующих движений (сплошная линия) при тестировании сгибаний-разгибаний в локтевом суставе с открытыми (А) и закрытыми (Б) глазами; В – доля (%) копирований, соответствующих условному критерию нормы, в тестах с открытыми (светлая закрашка) и закрытыми (темная закрашка) глазами

Fig. 1. Accuracy of movement reproduction with open and closed eyes in healthy subjects. А, В – recordings of joint angles of passive (dotted line) and active reproducing movements (solid line) when testing flexion-extension in the elbow joint with open (a) and closed (b) eyes; c – percentage of reproductions meeting the conditional norm criterion in tests with open (light shading) and closed (dark shading) eyes

ошибок. Из них 85% (n=83) соответствовали УКН (Рис. 2, А). В 2 тестах пациенты не могли правильно воспроизвести тест-движение отведения-приведения в лучезапястном суставе (КОП), в котором пассивные и копирующие активные движения кистей должны были быть зеркальными, а не однонаправленными, как в других тестах. Один пациент под зрительным контролем копировал движения с ошибками в направлении, другой вообще не мог понять задание. Оба эти пациента качественно верно выполняли копирование остальных тест-движений. Тестирование движений КОП с закрытыми глазами у этих двух пациентов не проводилось.

В тестах с закрытыми глазами показатели копирования резко изменялись. Из 98 исследованных движений паретичной руки 20,4% (n=20) были воспроизведены с грубыми ошибками качественного характера: пассивные и активные движения выполнялись асинхронно, отличались по направлению и числу в серии (Рис. 2, Б). Копирование 18,4% (n=18) движений было неточным только по количественным показателям. В результате общая доля копирований, не соответствующих УКН, составила 38,8% (n=38). Таким образом, относительное число движений, воспроизведенных которых соответствовало норме, снизилось до 61,2% (n=60) (Рис. 2, В).

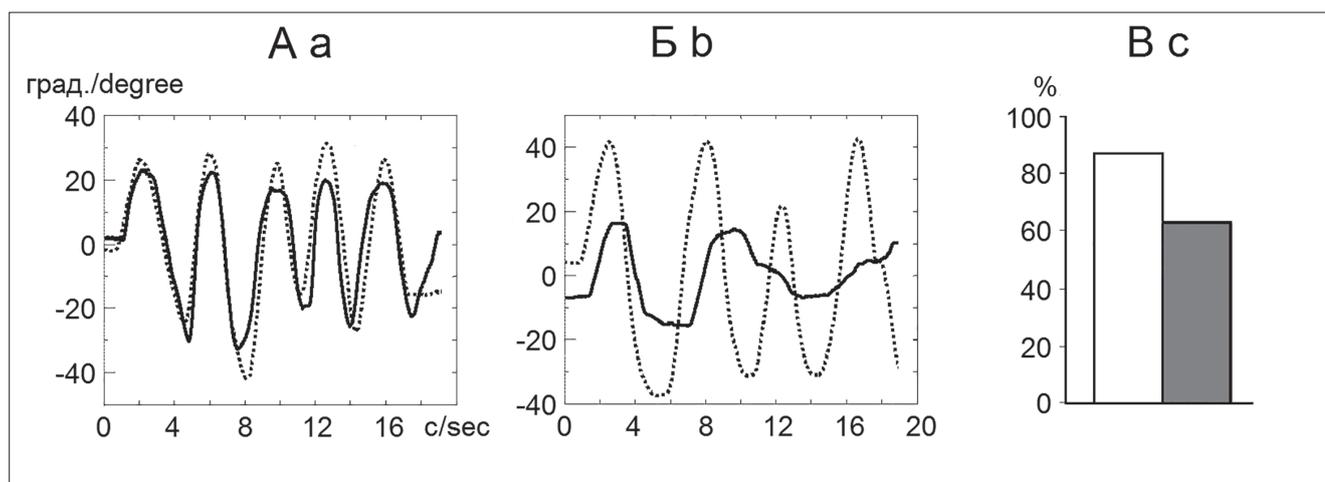


Рис. 2. Точность копирования движений с открытыми и закрытыми глазами у пациентов с гемипарезом. А, Б – регистрация суставных углов пассивных (пунктирная линия) и активных копирующих (сплошная линия) движений сгибания-разгибания в локтевом суставе с открытыми (А) и закрытыми (Б) глазами; В – доля копирований, соответствующих условному критерию нормы, по всем проведенным тестам с открытыми (светлая закрашка) и закрытыми (темная закрашка) глазами

Fig. 2. Accuracy of movement reproduction with open and closed eyes in patients with hemiparesis. А, В – recordings of joint angles of passive (dotted line) and active reproducing movements (solid line) when testing flexion-extension in the elbow joint with open (a) and closed (b) eyes; c – percentage of reproductions meeting the conditional norm criterion in tests with open (light shading) and closed (dark shading) eyes

Таблица 2. Соотношение качества копирования с закрытыми глазами движений паретичной руки и ее мышечной силы у пациентов с разной локализацией очага повреждения в головном мозге

Table 2. The ratio of the quality of movement reproduction with closed eyes and muscle strength of the paretic arm in patients with different localization of the lesion in the brain

Мышечная сила (в баллах) / Muscle strength (in points)	Точность копирования соответствует критерию нормы / Accuracy of reproduction meets the criterion of the norm	Точность копирования не соответствует критерию нормы / Accuracy of reproduction does not meet 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	Копирование невозможно / Reproduction is not possible
4	1 [СМАп/МСAr] 1 [ВБК (л)/VBC (l)]	1 [СМАп/МСAr]	1 [ВБК (п)/VBC (r)]	
3	1 [СМАл/МСAl] 1 [СМАп/МСAr]	1 [СМАл/МСAl] 1 [ВБК (п)/VBC (l)]	1 [СМАп/МСAr]	
2		1 [СМАп/МСAr]		1 [СМАп/МСAr] 1 [Тп/THr]
1			1 [СМАп/МСAr] 1 [ВБК (п)/VBC (r)]	
0	2 [СМАл/МСAl]		1 [СМАп/МСAr] 3 [СМАл/МСAl]	

Обозначения: СМА – Средняя мозговая артерия, ВБК – вертебро-базиллярный комплекс, Т – Таламус, п – справа, л – слева
Designations: MCA – Middle cerebral artery, VBC – vertebro-basilar complex, TH – Thalamus, r – on the right, l – on the left

В Таблице 2 показано количественное распределение пациентов по качеству копирования пассивных движений паретичной руки в худшем из 5 протестированных для каждого пациента тест-движений в зависимости от состояния двигательной функции паретичной руки (мышечной силы в баллах). В квадратных скобках приведена локализация очага повреждения в головном мозге.

3. Различия в точности копирования движений разных сегментов паретичной руки

Анализ качественных и количественных показателей копирования различных движений паретичной руки выявил определенные различия между

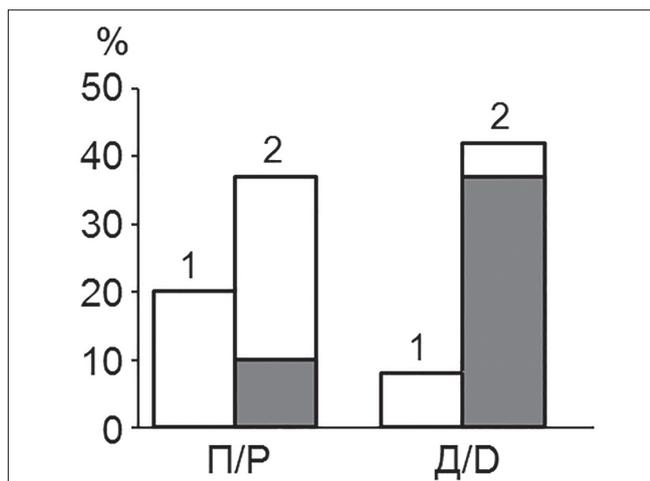


Рис. 3. Доля (%) копирований движений проксимального (П) и дистального (Д) сегментов паретичной руки, отличающихся от нормы по качественным (темная закразка) и только количественным (светлая закразка) показателям в тестах с открытыми (1) и закрытыми (2) глазами

Fig. 3. Percentage of reproductions of movements of the proximal and distal segments of the paretic arm, differing from the norm in terms of qualitative (dark shading) and only quantitative (light shading) indicators in tests with open (1) and closed (2) eyes

точностью воспроизведения движений, управляемых мышцами проксимального (группа движений ПСР, ПОП и ЛСР) (n=60), и более дистального (группа движений КСР и КОП) (n=38) сегментов руки (Рис. 3).

В тестах с открытыми глазами точность копирования 20% движений проксимального и 8% дистального сегментов не соответствовала УКН только по количественным показателям.

В тестах с закрытыми глазами доля копирований, не соответствующих норме, возросла до 37% для движений проксимального и 42% для дистального сегментов. При этом в обоих сегментах имели место грубые нарушения копирования качественного характера: в проксимальном их доля составляла 10%, в дистальном – почти в четыре раза больше, – 37%.

Таким образом, копирование движений дистального сегмента паретичной руки в тестах с закрытыми глазами нарушалось чаще и сильнее, чем проксимального. Под зрительным контролем, наоборот, неточности копирования движений проксимального сегмента наблюдались чаще, чем дистального.

4. Сравнение копирования одних и тех же движений под зрительным контролем и без него

У каждого пациента сравнивали точность копирования с открытыми и закрытыми глазами каждого из 5 тест-движений. В Таблице 3 показано распределение результатов 98 парных тестов на соответствие УКН.

Результаты оценки по УКН точности копирования 62 тест-движений были одинаковыми при его выполнении под зрительным контролем и с закрытыми глазами: в 56 парах тестов точность копирования соответствовала УКН, а в 6 парах отличалась от нормы только по количественным показателям.

Тестирование 27 движений, показавшее соответствие УКН при выполнении под зрительным контролем, при повторении с закрытыми глазами демонстрировало отклонение от УКН по качественным и количественным

Таблица 3. Распределение результатов парных тестов одних и тех же движений под зрительным контролем и с закрытыми глазами на соответствие точности копирования движений критерию нормы
Table 3. Distribution of the same movements paired tests results done under visual monitoring and with eyes closed for compliance of movements copying accuracy to the norm criterion

Результаты парных тестов / Results of paired tests		Количество пар тестов / Number of test pairs
под зрительным контролем / under visual control	с закрытыми глазами / with closed eyes	
+	+	56
+	– кач / qual	15
+	– кол / num	12
– кол / num	– кол / num	6
– кол / num	– кач / qual	5
– кол / num	+	4

Обозначения: «+» – копирования, соответствующие УКН, «– кач» – копирования, не соответствующие УКН по качественным и количественным показателям, «– кол» копирования, не соответствующие УКН только по количественным показателям

Designations: «+» – movement reproduction meets the conditional norm criterion (CNC), «– qual» – movement reproduction does not meet the CNC by both qualitative and quantitative indicators value, «– num» – movement reproduction does not meet the CNC only for the values of quantitative indicators

(n=15) или только количественным (n=12) показателям. 5 тест-движений, которые при закрытых глазах были воспроизведены с грубыми ошибками качественного характера, под зрительным контролем были выполнены качественно правильно с отклонением от требований УКН только по количественным показателям.

Копирование 4 движений, соответствующее норме в тестах с закрытыми глазами, под зрительным контролем было выполнено менее точно и не соответствовало УКН по количественным показателям.

Как видно из приведенных в Таблице 3 данных, из 38 движений, копирование которых не соответствовало УКН в тестах с закрытыми глазами, 32 движения были воспроизведены точнее под зрительным контролем, при этом копирование 27 из них даже удовлетворяло требованиям УКН. И только 4 движения в тестах с открытыми глазами были воспроизведены по оценке УКН хуже, чем при тестировании с закрытыми глазами.

Таким образом, показано, что зрительный контроль в среднем значительно улучшал воспроизведение движений паретичной руки.

Обсуждение

Ранее было показано, что здоровые испытуемые в отсутствие зрительного контроля (на основе только проприоцепции) с высокой точностью и практически одновременно передают восприятия пассивных односуставных движений руки с помощью активных копирующих движений другой руки. На основе анализа качественных и количественных показателей точности копирования с закрытыми глазами пассивных движений у здоровых испытуемых был выработан условный критерий нормального состояния ПЧ (УКН). Далее, исследование копирования движений паретичной руки у пациентов с односторонним повреждением головного мозга выявило, что большую часть тестируемых движений они воспроизводят с грубыми ошибками качественного и количественного характера. Чтобы, убедиться, что нарушения копирования у пациентов не связаны с когнитивным фактором (пониманием задачи теста) и способностью условно-здоровой руки точно выполнять копирующие движения, мы сравнили точность копирования тест-движений под зрительным контролем и без него.

Результаты тестов с закрытыми глазами у здоровых испытуемых и у пациентов с гемипарезом согласуются с полученными ранее [7, 8]. Так, в группе здоровых точ-

ность копирования с закрытыми глазами односуставных движений руки (ПСП, ПОП, ЛСР, КСР, КОП) соответствовала УКН. У пациентов с повреждением как правого, так и левого полушарий, напротив, копирование около 40% движений паретичной руки не соответствовало этому критерию. Более частые и грубые ошибки воспроизведения движений наблюдались в более дистальных сегментах руки (движения ЛСР, КСР, КОП).

Исследование копирования пассивных движений под зрительным контролем показало, что у здоровых испытуемых все, а у пациентов 98% движений были воспроизведены условно-здоровой рукой в одноименном суставе, с одинаковым числом в серии и в правильном направлении. Такое качественно верное копирование означает, что испытуемые понимают двигательные задачи тестов. Доля невыполненных или неправильно выполненных тестов у пациентов составляла всего 2%.

Выявлено, что в тестах с открытыми глазами копирование 2% движений у здоровых и 15% движений у пациентов было выполнено качественно правильно, но недостаточно точно и не соответствовало УКН по количественным показателям. То, что у пациентов доля неточных воспроизведений под зрительным контролем была выше, чем у здоровых испытуемых можно объяснить состоянием их условно-здоровой руки. В целом же результаты копирования под зрительным контролем у здоровых испытуемых и пациентов с гемипарезом были сопоставимы. Доля копирования, соответствующих УКН у здоровых составляла 98%, у пациентов – 83%. Этот показатель дает основание считать, что при тестировании нашим методом более чем в 80% случаев нарушения копирования с закрытыми глазами отражали состояние проприоцептивного восприятия пациентами тест-движений.

Проведенное исследование показало, что тесты с открытыми глазами позволяют выявить те немногочисленные случаи, когда пациенты не способны понять или качественно правильно выполнить определенную двигательную задачу. В таких случаях проведение теста с закрытыми глазами не имеет смысла. Если же пациенты под зрительным контролем воспроизводят тест-движения качественно верно, но по количественным показателям по критерию нормы недостаточно точно, то для оценки ПЧ эти количественные показатели могут рассматриваться как референтные для сравнения с показателями копирования с закрытыми глазами. Так, например, в нашем исследовании в ряде случаев мы наблюдали как

неточное только по количественным показателям копирование под зрительным контролем (на основе зрения и проприоцепции) в тестах с закрытыми глазами (только на основе проприоцепции) выполнялись с грубыми качественными ошибками. Такое явное ухудшение копирования при выключении зрительной информации можно рассматривать как показатель дефицита ПЧ.

На основании представленных в Таблице 2 качественных и количественных показателей копирования с закрытыми глазами, можно утверждать, что 70% обследованных пациентов имели проприоцептивный дефицит. Сопоставление у отдельных пациентов точности копирования движений (ПЧ) и мышечной силы паретичной руки не выявило между ними определенной связи. Показательно, что среди пациентов с самым точным восприятием всех тест движений, то есть с сохранной ПЧ, были и те, у кого была диагностирована плегия руки.

Также не выявлено связи между функциональными показателями состояния паретичной руки и локализацией повреждения в головном мозге. Несмотря на то, что диагностика повреждений мозга в настоящее время проводится с помощью высокоточных методов пространственной визуализации, общепринятым остается описание поврежденной области в терминах системы кровообращения. Точное описание локализации и размеров очага поражения в терминах структур мозга может внести важный вклад в понимание механизмов сенсомоторных расстройств паретичных конечностей, разработку эффективных мер реабилитации и оценку прогноза восстановления.

В ходе исследования получены данные, указывающие на важную компенсаторную роль зрения в восприятии движений у пациентов с нарушенной проприоцепцией: в большинстве случаев копирование движений паретичной руки, которые не соответствовали норме в тестах с закрытыми глазами, выполнялось существенно лучше при дополнительном зрительном контроле. При этом

более выраженным было влияние зрения на восприятие движений более дистального сегмента конечности. Возможно, это связано с тем, что в предметной деятельности человека именно движения предплечья и кисти находятся в поле зрения, и их связи со зрительной системой сильнее, чем у движений плечевого сустава. Эти данные могут оказаться полезными при планировании реабилитационной программы и мониторинге проведения двигательных восстановительных тренировок у пациентов с парезом и нарушением ПЧ руки.

Выводы

1. У пациентов с односторонним очагом повреждения головного мозга нарушения копирования с закрытыми глазами пассивных движений паретичной руки во время их выполнения с помощью активных движений условно-здоровой руки в подавляющем большинстве случаев связаны с проприоцептивным дефицитом, а не с когнитивным фактором или изменением сенсомоторных функций условно-здоровой руки, так как во всех этих случаях пациенты с высокой точностью копируют тест-движения под зрительным контролем.
2. Качественные и количественные характеристики точности копирования с закрытыми глазами движений исследуемой руки могут рассматриваться как объективные показатели ее проприоцептивной чувствительности только в том случае, если в предварительном тесте с открытыми глазами испытуемый выполняет копирование этих движений в соответствии с нормой по качественным и количественным или хотя бы только качественным показателям. В последнем случае количественные показатели точности копирования под зрительным контролем следует рассматривать как референтные при оценке результатов копирования с закрытыми глазами.

Список литературы

1. Schabrun S.M., Hillier S. Evidence for the retraining of sensation after stroke: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*. 2009; (23): 27-39. <https://doi.org/10.1177/0269215508098897>
2. 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. <https://doi.org/10.1177/0269215511420305>
3. 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. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130271>
4. Lincoln N.B., Crow J., Jackson J.L., Jackson J.M., Waters G.R., Adams S.A., Hodson P. The unreliability of sensory assessments. *Clinical Rehabilitation*. 1991; 5(4): 273-282.
5. Hillier S., Immink M., Thewlis D. Assessing Proprioception: A Systematic Review of Possibilities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015; 29(10): 933-949. <https://doi.org/10.1177/1545968315573055>
6. 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.
7. Павлова О.Г., Рощин В.Ю., Сидорова М.В., Селионов В.А., Куликов М.А., Старицын А.Н. Метод качественной и количественной оценки восприятия движений в отдельных суставах руки. *Физиология человека*. 2018; 44(4): 84-95. <https://doi.org/10.1134/S0131164618040124>
8. Рощин В.Ю., Павлова О.Г., Селионов В.А., Солопова И.А., Жванский Д.С., Староверова О.Н., Хатькова С.Е. Сравнение объективных показателей проприоцептивного восприятия односуставных движений руки в положениях сидя и лежа у здоровых испытуемых и постинсультных больных. *Физиология человека*. 2019; 45(4): 1-9. <https://doi.org/10.1134/S0131164619040131>
9. Белова А.Н., Григорьева В.Н., Сушин В.О., Белова Е.М., Израелян Ю.А., Шейко Г.Е. Анатомо-функциональные особенности кортикоспинальных трактов и их роль в восстановлении двигательных функций после повреждений головного мозга. *Вестник восстановительной медицины*. 2020; (1): 9-18.
10. Lindberg P.G., Roche N., Robertson J., Roby-Brami A., Bussel B., Maier M.A. Affected and unaffected quantitative aspects of grip force control in hemiparetic patients after stroke. *Brain Research*. 2012; (1452): 96-107.
11. Brasil-Neto J., de Lima A.C. Sensory deficits in the unaffected hand of hemiparetic stroke patients. *Cognitive and Behavioral Neurology*. 2008; 21(4): 202-205. <https://doi.org/10.1097/WNN.0b013e3181864a24>
12. Saltin B., Landin S. Work capacity, muscle strength and SDH activity in both legs of hemiparetic patients and patients with parkinson's disease. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1975; 35(6): 531-538. <https://doi.org/10.1080/00365517509095778>
13. Oldfield, R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971; 9(1): 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1093/ageing/29.3.223>

References

- Schabrun S.M., Hillier S. Evidence for the retraining of sensation after stroke: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*. 2009; (23): 27-39. <https://doi.org/10.1177/0269215508098897>
- 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. <https://doi.org/10.1177/0269215511420305>
- 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. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130271>
- Lincoln N.B., Crow J., Jackson J.L., Jackson J.M., Waters G.R., Adams S.A., Hodson P. The unreliability of sensory assessments. *Clinical Rehabilitation*. 1991; 5(4): 273-282.
- Hillier S., Immink M., Thewlis D. Assessing Proprioception: A Systematic Review of Possibilities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015; 29(10): 933-949. <https://doi.org/10.1177/1545968315573055>
- Fugl-Meyer A.R., Jaasko L., Leyman I., Olsson S., Stegling S. The post-stroke hemiplegic patient 1. A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 1975; (7): 13-31.
- Pavlova O.G., Roshchin V.Ju., Sidorova M.V., Selionov V.A., Kulikov M.A., Staricyn A.N. Metod kachestvennoj i kolichestvennoj ocenki vosprijatija dvizhenij v otdel'nyh sustavah ruki [Method for Qualitative and Quantitative Assessment of Proprioceptive Perception of Single-Joint Arm Movements]. *Human Physiology*. 2018; 44(4): 84-95. <https://doi.org/10.1134/s0131164618040124> (In Russ.).
- Roshchin V. Ju., Pavlova O. G., Selionov V. A., Solopova I. A., Zhvanskij D. S., Staroverova O. N., Hat'kova S. E. Svravnenie ob'ektivnyh pokazatelej proprioceptivnogo vosprijatija odnosustavnyh dvizhenij ruki v polozenijah sidja i lezha u zdorovyh ispytuemyh i postinsul'tnyh bol'nyh [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): 1-9. <https://doi.org/10.1134/S0131164619040131> (In Russ.).
- Belova A.N., Grigor'eva V. N., Sushin V.O., Belova E.M., Israeljan Ju. A., Shejko G.E. Anatomico-funkcional'nye osobennosti kortikospinal'nyh traktov i ih rol' v vosstanovlenii dvigatel'nyh funkcij posle povrezhdenij golovnogo mozga [Anatomical and Functional Features of Corticospinal Tracts and Their Role in Restoration of Motor Functions after Brain Injury]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2020; (1): 9-18 (In Russ.).
- Lindberg P.G., Roche N., Robertson J., Roby-Brami A., Bussel B., Maier M.A. Affected and unaffected quantitative aspects of grip force control in hemiparetic patients after stroke. *Brain Research*. 2012; (1452): 96-107.
- Brasil-Neto J., de Lima A.C. Sensory deficits in the unaffected hand of hemiparetic stroke patients. *Cognitive and Behavioral Neurology*. 2008; 21(4): 202-205. <https://doi.org/10.1097/WNN.0b013e3181864a24>
- Saltin B., Landin S. Work capacity, muscle strength and SDH activity in both legs of hemiparetic patients and patients with parkinson's disease. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1975; 35(6): 531-538. <https://doi.org/10.1080/00365517509095778>
- Oldfield, R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971; 9(1): 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- 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. <https://doi.org/10.1093/ageing/29.3.223>

Информация об авторах:

Павлова Ольга Геннадьевна, 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 Государственный научный центр РФ – 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, Федеральный центр мозга и нейротехнологий ФМБА 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, Лечебно-реабилитационный центр Минздрава России.

E-mail: nikolaevz@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, Лечебно-реабилитационный центр Минздрава России.

E-mail: hse15@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3071-4712>

Иванова Галина Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделом медицинской реабилитации, Федеральный центр мозга и нейротехнологий ФМБА России, заведующая кафедрой медицинской реабилитации, 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>

Участие авторов: Павлова О. Г. – тестирование здоровых испытуемых и пациентов, обработка данных, подготовка публикации; Рошин В. Ю. – тестирование здоровых испытуемых и пациентов, обработка данных, подготовка публикации; Сидорова М. В. – клиническое обследование и тестирование пациентов; Селионов В. А. – тестирование здоровых испытуемых; Николаев Е. А. – клиническое обследование пациентов; Хатькова С. Е. – подбор пациентов, разработка программы их обследования, контроль тестирования пациентов. Иванова Г. Е. – подбор пациентов, разработка программы их обследования, контроль тестирования пациентов.

Information about the authors:

Olga G. Pavlova, Dr. Sci. (Bio.), Senior Scientist, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology.

E-mail: pavlovao@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5238-8383>

Vadim Yu. Roschin, Senior Engineer, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology; Junior Scientist, Institute of Biomedical Problems; 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.

E-mail: marinavborisova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4386-2914>

Victor A. Selionov, Cand. Sci. (Bio.), Senior Scientist, Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences.

E-mail: selionov@iitp.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0165-7285>

Evgeniy A. Nikolaev, Neurologist, Medical Rehabilitation Center.

E-mail: nikolaevz@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0000-0003-0443-3201>

Svetlana E. Khatkova, Dr. Sci. (Bio.), Professor, Head of the Neurological Department, Medical Rehabilitation Center.

E-mail: hse15@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3071-4712>

Galina E. Ivanova, Dr. Sci. (Med.), 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>

Contribution: Pavlova O.G. – testing of healthy subjects and patients, processing data, preparing an article; Roschin V. Yu. – testing of healthy subjects and patients, processing data, preparing an article; Sidorova M.V. – clinical examination and testing of patients; Selionov V.A. – testing of healthy subjects; Nikolaev E.A. – clinical examination and testing of patients; Khatkova S.E. – patient selection, development of clinical examination program, patient testing control; Ivanova G.E. – patient selection, development of clinical examination program, patient testing control.

