

УДК 612.743+612.763  
DOI: 10.56871/RBR.2024.95.20.008

## ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПРОГРЕССА РАЗВИТИЯ АМБИДЕКСТРИИ

© Александра Алексеевна Егорова<sup>1</sup>, Валерия Тимофеевна Береснева<sup>1</sup>,  
Дмитрий Павлович Гладин<sup>2</sup>, Анна Владимировна Метляева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова. 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2

**Контактная информация:** Александра Алексеевна Егорова — к.м.н., доцент кафедры нормальной физиологии.

E-mail: Aleksandra.egorova@szgmu.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7931-6184> SPIN: 4694-4934

**Для цитирования:** Егорова А.А., Береснева В.Т., Гладин Д.П., Метляева А.В. Электромиографические признаки прогресса развития амбидекстрии. Российские биомедицинские исследования. 2024;9(4):48–53. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2024.95.20.008>

Поступила: 30.09.2024

Одобрена: 01.11.2024

Принята к печати: 17.12.2024

**Резюме. Введение.** Актуальность работы обусловлена потребностью формирования амбидекстрии как мануального навыка будущих хирургов для ускорения выполнения операций, минимизации травматизации специалиста, а также снижения риска заболевания гемоконтактными инфекциями. Амбидекстрию можно развивать с помощью выполнения специальных упражнений дома, а объективную оценку изменений состояния нервно-мышечного аппарата проводить с помощью поверхностной электромиографии (ЭМГ). **Цель исследования** — разработка эффективного варианта упражнений для развития мелкой моторики с применением ЭМГ-оценки динамики функционального состояния двигательных единиц мышц предплечий неведущей руки. **Материалы и методы.** В десятидневном эксперименте участвовали 20 человек в возрасте 18–23 лет, которые были равномерно разделены на две группы, обе из которых один раз в сутки выполняли упражнения для развития мелкой моторики пальцев рук, вторая группа при этом дополнительно выполняла упражнения для развития межполушарных связей. Регистрация ЭМГ осуществлялась при помощи электромиографа Biopac Student LAB Basic Systems. Достоверность различий зависимых выборок определяли с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни, для зависимых выборок применяли критерий Уилкоксона. **Результаты.** Выполнение тренинга по развитию мелкой моторики в сочетании с упражнениями, активирующими работу двух полушарий головного мозга, более эффективно способствует развитию моторики нерабочей руки. Формирование межполушарных взаимодействий увеличивает количество вовлеченных двигательных единиц и степень их синхронизации. **Выводы.** Развитие межполушарных связей позволяет более эффективно осваивать манипуляции нерабочей рукой за счет вовлечения в процесс сокращения мышц большего числа двигательных единиц.

**Ключевые слова:** амбидекстрия, электромиография, мелкая моторика

## ELECTROMYOGRAPHIC SIGNS OF AMBIDEXTRIA DEVELOPMENT PROGRESS

© Alexandra A. Egorova<sup>1</sup>, Valeriya T. Beresneva<sup>1</sup>, Dmitry P. Gladin<sup>2</sup>, Anna V. Metlyaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov. 41 Kirochnaya str., Saint Petersburg 191015 Russian Federation

<sup>2</sup> Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 2 Lithuania, Saint Petersburg 194100 Russian Federation

**Contact information:** Alexandra A. Egorova — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology.

E-mail: Aleksandra.egorova@szgmu.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7931-6184> SPIN: 4694-4934

**For citation:** Egorova AA, Beresneva VT, Gladin DP, Metlyaeva AV. Electromyographic signs of ambidextria development progress. Russian Biomedical Research. 2024;9(4):48–53. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2024.95.20.008>

Received: 30.09.2024

Revised: 01.11.2024

Accepted: 17.12.2024

**Abstract. Introduction.** The relevance of the work is due to the need to develop ambidexterity as a manual skill of future surgeons in order to speed up the performance of operations and minimize trauma to the specialist, as well as reduce the risk of blood-borne infections. Ambidexterity can be developed by performing special exercises at home, and an objective assessment of changes in the state of the neuromuscular apparatus can be carried out using surface electromyography. **The aim** of the study is to develop an effective version of exercises for the development of fine motor skills using EMG assessment of the dynamics of the functional state of the motor units of the muscles of the forearms of the non-dominant hand. **Materials and methods.** The ten-day experiment involved 10 people aged 18–23 years, who were evenly divided into two groups, which once a day performed exercises to develop fine motor skills of the fingers, and the second group additionally performed exercises to develop interhemispheric connections. EMG registration was carried out by electromyograph Biopac Student LAB Basic Systems. The reliability of differences in dependent samples was determined using the nonparametric Mann–Whitney criterion; for dependent samples, the Wilcoxon criterion was used. **Results.** Performing fine motor skills training in combination with exercises that activate the work of both hemispheres of the brain more effectively contributes to the development of motor skills of the non-working hand. The formation of interhemispheric interactions increases the number of involved motor units and the degree of their synchronization. **Conclusion.** The development of interhemispheric connections allows for more effective mastery of manipulations with the non-working hand due to the involvement of a larger number of motor units in the process of muscle contraction.

**Keywords:** ambidexterity, electromyography, fine motor skills

## ВВЕДЕНИЕ

Формирование мануальных навыков — один из элементов подготовки хирургов высшими медицинскими учебными заведениями [1]. Использование не только правой, но и левой руки — амбидекстрия — позволяет во время проведения операций не перекладывать инструменты из одной руки в другую, тем самым иметь возможность выполнения хирургических манипуляций нерабочей рукой [2]. Обоерукость также способствует более продуктивному процессу обучения, уменьшает общий уровень эмоционального стресса и психической нагрузки [3, 4]. Умение пользоваться неведущей рукой минимизирует травматизацию специалиста, снижает риск заболевания различными гемоконтактными инфекциями, а также понижает уровень дискомфорта больного, увеличивает скорость и качество осуществляемой процедуры, способствуя снижению показателей хирургического стресса и быстрому восстановлению пациента [5].

Обычно мануальные навыки развивают с помощью специальных тренажеров [6]. Но амбидекстрию можно эффективно развивать с помощью выполнения специальных упражнений дома [7]. Для объективной оценки изменений состояния двигательных единиц (ДЕ) в биомеханике, эргономике и спортивных исследованиях применяют электромиографию (ЭМГ) [7, 8]. Именно ЭМГ является подходящим методом для оценки физиологических процессов, происходящих в нервно-мышечном аппарате в процессе наработки специальных двигательных навыков нерабочей руки [9].

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка эффективного варианта упражнений для развития мелкой моторики с приме-

нением ЭМГ — оценки динамики функционального состояния двигательных единиц мышц предплечий неведущей руки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В десятидневном эксперименте участвовали 20 человек в возрасте от 18 до 23 лет, которые были равномерно разделены на две группы. Обе группы один раз в сутки выполняли упражнения для развития мелкой моторики пальцев рук, применяемые при реабилитации пациентов после перенесенных травм верхней конечности [11]. Вторая группа дополнительно выполняла упражнения, направленные на развитие межполушарных связей [12].

Оценку изменений ДЕ нерабочей руки проводили с применением поверхностной ЭМГ (регистрировали с помощью электромиографа BIOPAC STUDENT LAB BASIC SYSTEMS). Статистический анализ данных проводился с помощью программы STATISTICA, версия 6.0. Достоверность различий зависимых выборок определяли с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни, для зависимых выборок применяли критерий Уилкоксона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Через неделю эксперимента время выполнения заданий нерабочей рукой (табл. 1) сократилось в обеих группах, при этом у студентов второй группы прогресс был более существенным по сравнению с таковым у лиц в первой группе.

Результаты динамики амплитуды и частоты суммарной биоэлектрической активности мышц нерабочей руки студентов первой и второй групп до исследования и после недели выполнения упражнений представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 1

**Время выполнения заданий для оценки мелкой моторики неведущей рукой до и после выполнения комплекса упражнений в первой и второй экспериментальных группах**

Table 1

**Time of completing tasks to assess fine motor skills of the non-dominant hand before and after completing a set of exercises in the first and second experimental groups**

| Выполняемое задание / Task to be performed                                                                                      | Общая выборка до выполнения комплекса, с / Total sample before the execution of the complex, sec | 1-я группа после выполнения комплекса, с / 1 <sup>st</sup> group after completing the complex, sec | 2-я группа после выполнения комплекса, с / 2 <sup>nd</sup> group after completing the complex, sec |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Застегнуть пуговицы / Button up                                                                                                 | 43                                                                                               | 22                                                                                                 | 18                                                                                                 |
| Продеть нитку в иголку / Thread a needle                                                                                        | 25                                                                                               | 17                                                                                                 | 13                                                                                                 |
| Вставить стержень в отверстие пуговицы (бусины) и поднять ее / Insert the rod into the hole of the button (bead) and lift it up | 17                                                                                               | 12                                                                                                 | 8                                                                                                  |
| Достать спичку из коробки и зажечь ее / Take a match out of the box and light it                                                | 12                                                                                               | 9                                                                                                  | 7                                                                                                  |
| Собрать монеты с плоской поверхности, положить их в кошелек / Collect coins from a flat surface and put them in a wallet        | 15                                                                                               | 10                                                                                                 | 6                                                                                                  |
| Стереть ластиком предварительно нарисованные крестики / Erase the previously drawn crosses with an eraser                       | 9                                                                                                | 5                                                                                                  | 3                                                                                                  |
| Отвинтить гайку рукой / Unscrew the nut by hand                                                                                 | 9                                                                                                | 5                                                                                                  | 3                                                                                                  |
| Намотать нитку на катушку / Wind the thread onto the spool                                                                      | 8                                                                                                | 4                                                                                                  | 3                                                                                                  |

Таблица 2

**Максимальная амплитуда осцилляций на электромиограмме нерабочей руки до и после выполнения комплекса упражнений**

Table 2

**Maximum amplitude of oscillations on the electromyogram of the non-working hand before and after performing a set of exercises**

| Группа / Group | До эксперимента / Before the experiment                                       |                                                                                | После эксперимента / After the experiment                                     |                                                                                |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                | момент максимального сокращения, мкВ / moment of maximum contraction, $\mu$ V | момент максимального расслабления, мкВ / moment of maximum relaxation, $\mu$ V | момент максимального сокращения, мкВ / moment of maximum contraction, $\mu$ V | момент максимального расслабления, мкВ / moment of maximum relaxation, $\mu$ V |
| 1              | 783 $\pm$ 362                                                                 | 250 $\pm$ 167                                                                  | 844 $\pm$ 366                                                                 | 104 $\pm$ 37,9                                                                 |
| 2              | 792 $\pm$ 38,1                                                                | 180 $\pm$ 8,3                                                                  | 1052 $\pm$ 43,7*                                                              | 81 $\pm$ 2,6*                                                                  |

\*  $p \leq 0,05$ , статистически значимые отличия, критерий Манна–Уитни.

\*  $p \leq 0,05$ , statistically significant differences, Mann–Whitney test.

Средняя амплитуда и частота осцилляций ЭМГ в обеих группах до исследования статистически значимо не отличалась. После выполнения упражнений амплитуда в обеих группах изменялась схожим образом: во время максимального сокращения становилась выше, а в момент расслабления ниже, чем до эксперимента. У студентов второй группы изменения статистически значимо отличались от данных до эксперимента.

Частота осцилляций ЭМГ после недельного тренинга менялась схожим образом, при этом у студентов первой группы получено значимое снижение частоты осцилляций только

в условиях максимального расслабления по отношению к фону, в то время как у лиц во второй группе статистические отличия частоты на ЭМГ были значимы как на фоне максимального сокращения, так и при максимальном расслаблении.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Нами показано, что моторные навыки нерабочей руки здорового человека можно существенно улучшить в результате недельной тренировки, если выполнять упражнения каждый

Таблица 3

**Максимальная частота осцилляций на электромиограмме нерабочей руки  
до и после выполнения комплекса упражнений**

Table 3

**Maximum oscillation frequency on the electromyogram of the non-working hand  
before and after performing a set of exercises**

| Группа / Group | До эксперимента                                                                  |                                                                                   | После эксперимента                                                               |                                                                                   |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                | момент максимального сокращения, мкВ /<br>moment of maximum contraction, $\mu V$ | момент максимального расслабления, мкВ /<br>moment of maximum relaxation, $\mu V$ | момент максимального сокращения, мкВ /<br>moment of maximum contraction, $\mu V$ | момент максимального расслабления, мкВ /<br>moment of maximum relaxation, $\mu V$ |
| 1              | 343 $\pm$ 20                                                                     | 110 $\pm$ 18,2                                                                    | 369 $\pm$ 24,5                                                                   | 44 $\pm$ 5,3*                                                                     |
| 2              | 347 $\pm$ 24,5                                                                   | 79,2 $\pm$ 10,6                                                                   | 460,9 $\pm$ 43,7 *                                                               | 35 $\pm$ 5,6*                                                                     |

\*  $p \leq 0,05$ , статистически значимые отличия, критерий Манна–Уитни.

\*  $p \leq 0.05$ , statistically significant differences, Mann–Whitney test.

день 1 раз в сутки. Улучшается не только время выполнения тестовых заданий на оценку мелкой моторики, но и изменяется электрическая активность ДЕ предплечья: увеличивается амплитуда и частота осцилляций во время сокращения. Более высокие показатели максимальной амплитуды и частоты сокращений на ЭМГ показали студенты второй группы, т.е. у них в результате развития межполушарных взаимодействий рекрутировалось большее количество нейромоторных единиц, и возрастала их импульсная активность [13].

Показано, что бимануальные движения рук связаны с симметричным облегчением нервной активности, опосредованным как усилением внутриполушарной связи, так и усилением транскаллозального взаимодействия SMA и M1. Дополнительная двигательная область — это ключевая структура, которая стимулирует или подавляет активность в кортикальной двигательной сети, управляющей одно- и двусторонними движениями рук [14].

Частота и амплитуда осцилляций ЭМГ на фоне максимального расслабления, которые в основном отражают активность концевых пластинок мышц, также были ниже у студентов второй группы, что свидетельствует о более выраженном снижении тонической импульсации ДЕ в результате утомления [15]. Ранее установлено, что доля амплитуды низкочастотного и высокочастотного диапазонов значительно коррелирует с относительными уровнями фосфата, что может быть следствием истощения запасов энергии в миоцитах [16].

## ВЫВОДЫ

1. Упражнения, направленные на развитие межполушарных связей, более эффективно позволяют освоить манипуляции нерабочей рукой.

2. Транскаллозальное взаимодействие способствует вовлечению в сокращение большего числа ДЕ.

3. В результате более эффективного сокращения в мышцах развивается утомление, приводящее к снижению импульсации нейронов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author contribution.** Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

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

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Н.Н., Кононенко К.В., Охотников О.И., Григорьев С.Н., В кн.: Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции с международным участием «Медицинское образование XXI века: компетентностный подход и его реализация

- в системе непрерывного медицинского и фармацевтического образования». Витебск; 2017;367–371.
2. Кабанов А.А. Разработка системы классификации жестов руки на основе сигналов электромиографии. Омский научный вестник. 2021;3(177):79–84. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-79-84.
  3. Попадюха Ю.А. Применение роботизированного комплекса «Amadeo» для восстановления и развития мелкой моторики кисти у больных ортопедотравматологического и неврологического профиля. Современные здоровьесберегающие технологии. 2017;1:149–161.
  4. Никишина В.Б. Формирование амбидекстрии у леворуких детей младшего школьного возраста как фактор успешности обучения. В кн.: Материалы международной юбилейной конференции к 120-летию со дня рождения Б.М. Теплова «Б.М. Теплов и современное состояние дифференциальной психологии и дифференциальной психофизиологии». М.; 2017:358–360.
  5. Медведева М.А., Щиголева Е.В. Отработка мануальных навыков будущих хирургов в условиях учебной операционной как этап профилактики заражения гемоконтактными инфекциями. Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. 2018;2(4(23)):29–33.
  6. Мартынова Н.А., Кузьмин А.Г., Алиберова М.Н., Лозовицкий Д.В. Медицинские тренажеры как базис для отработки хирургических навыков. Здоровье и образование в XXI веке. 2018;20(1):108–113.
  7. Шипигузова С.А., Пешиков О. Развитие амбидекстрии среди студентов медицинского вуза. В кн.: Сборник проектов конкурса «Всероссийская научная школа «Медицина молодая»: Международный фонд развития биомедицинских технологий им. В.П. Филатова. М.; 2023: 1056–1062.
  8. Ланская Е.В., Ланская О.В. Биоэлектрическая активность мышц при выполнении спортивных движений, специфичных для пауэрлифтинга, баскетбола и легкоатлетического бега. Тенденции развития науки и образования. 2016;12(1):40–45. DOI: 10.18411/lj2016-3-20.
  9. Rukina N.N., Kuznetsov A.N., Borzikov V.V., Komkova O.V., Belova A.N. Surface electromyography: its role and potential in the development of exoskeleton (review). *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2016;8(2):109–118. DOI: 10.17691/stm2016.8.2.15.
  10. Maitland S., Hall J., McNeill A., Stenberg B., Schofield I., Whittaker R. Ultrasound-guided motor unit scanning electromyography. *Muscle Nerve*. 2022;66(6):730–735. DOI: 10.1002/mus.27720.
  11. Чернякевич О.М., Калюжин В.Г. Коррекционно-развивающая программа развития мелкой моторики после ишемического инсульта. Наука — образованию, производству, экономике. В кн.: Материалы XX (67) Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов: в 2 т. Т. 1. Витебск; 2015:384–385.
  12. Анисимова Н.В. Оценка функциональной асимметрии с использованием разных методических подходов. Международный научно-исследовательский журнал. 2020;7:70–73.
  13. Carson R.G. Neural pathways mediating bilateral interactions between the upper limbs. *Brain Res Brain Res Rev*. 2005;49(3):641–662. DOI: 10.1016/j.brainresrev.2005.03.005.
  14. Grefkes C., Eickhoff S.B., Nowak D.A., Dafotakis M., Fink G.R. Dynamic intra- and interhemispheric interactions during unilateral and bilateral hand movements assessed with fMRI and DCM. *Neuroimage*. 2008;41(4):1382–1394. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.03.048.
  15. Allison G.T., Fujiwara T. The relationship between EMG median frequency and low frequency band amplitude changes at different levels of muscle capacity *Clin Biomech*. 2002;17(6):464–469. DOI: 10.1016/s0268-0033(02)00033-5.
  16. Habich M., Pawlinski B., Lorenc K., Sady M., Siewruk K., Zielenkiewicz P., Gajewski Z., Poznanski J., Paczek L., Szczesny P. The relationship between EMG high frequency and low frequency band amplitude changes correlates with tissue inorganic phosphate levels. *Acta Biochim Pol*. 2023;70(4):951–954. DOI: 10.18388/abp.2020\_6893.

## REFERENCES

1. Grigor'ev N.N., Kononenko K.V., Ohotnikov O.I., Grigor'ev S.N. In: Collection of materials of the Republican scientific and practical conference with international participation "Medical education of the XXI century: competence-based approach and its implementation in the system of continuous medical and pharmaceutical education". Vitebsk; 2017;367–371. (In Russian).
2. Kabanov A.A. Development of a hand gesture classification system based on electromyography signals. *Omskij nauchnyj vestnik*. 2021;3(177):79–84. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-79-84. (In Russian).
3. Popadyuha Yu.A. Application of the robotic complex "Amadeo" for restoration and development of fine motor skills of the hand in patients with orthopedic trauma and neurological profile. *Sovremennye zdorov'esberegayushchie tekhnologii*. 2017;1:149–161. (In Russian).
4. Nikishina V.B. Formation of ambidexterity in left-handed children of primary school age as a factor in learning success. In: *Materialy mezhdunarodnoj yubilejnoj konferencii k 120-letiyu so dnya rozhdeniya B.M. Teplova "B.M. Teplov i sovremennoe sostoyanie differencial'noj psihologii i differencial'noj psihofiziologii"*. Moscow; 2017:358–360. (In Russian).
5. Medvedeva M.A., Shchigoleva E.V. Practicing manual skills of future surgeons in a training operating room as a stage of preventing blood-borne infections. *Vestnik Soveta molodyh uchyonyh i specialistov Chelyabinskoy oblasti*. 2018;2(4(23)):29–33. (In Russian).
6. Martynova N.A., Kuz'min A.G., Alikberova M.N., Lozovickij D.V. Medical simulators as a basis for practicing surgical skills. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke*. 2018;20(1):108–113.
7. Shipiguzova S.A., Peshikov O. Development of ambidexterity among students of a medical university. V кн.: *Sbornik proektov konkursa "Vserossiyskaya nauchnaya shkola «Medicina molodaya»": Mezhdunarodnyj fond razvitiya biomeditsinskih tekhnologij im. V.P. Filatova*. Moscow; 2023:1056–1062. (In Russian).
8. Lanskaya E.V., Lanskaya O.V. Bioelectrical activity of muscles during performance of sports movements specific to powerlifting, basketball and track and field running. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2016;12(1):40–45. DOI: 10.18411/lj2016-3-20. (In Russian).



9. Rukina N.N., Kuznetsov A.N., Borzikov V.V., Komkova O.V., Belova A.N. Surface electromyography: its role and potential in the development of exoskeleton (review). *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2016;8(2):109–118. DOI: 10.17691/stm2016.8.2.15.
10. Maitland S., Hall J., McNeill A., Stenberg B., Schofield I., Whittaker R. Ultrasound-guided motor unit scanning electromyography. *Muscle Nerve*. 2022;66(6):730–735. DOI: 10.1002/mus.27720.
11. Chernyakevich O.M., Kalyuzhin V.G. Correctional and developmental program for fine motor skills development after ischemic stroke. *Nauka — obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike. V kn.: Materialy XX (67) Regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov: v 2 t. T. 1. Vitebsk; 2015:384–385. (In Russian).*
12. Anisimova N.V. Assessment of functional asymmetry using different methodological approaches. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2020;7:70–73. (In Russian).
13. Carson R.G. Neural pathways mediating bilateral interactions between the upper limbs. *Brain Res Brain Res Rev*. 2005;49(3):641–662. DOI: 10.1016/j.brainresrev.2005.03.005.
14. Grefkes C., Eickhoff S.B., Nowak D.A., Dafotakis M., Fink G.R. Dynamic intra- and interhemispheric interactions during unilateral and bilateral hand movements assessed with fMRI and DCM. *Neuroimage*. 2008;41(4):1382–1394. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.03.048.
15. Allison G.T., Fujiwara T. The relationship between EMG median frequency and low frequency band amplitude changes at different levels of muscle capacity *Clin Biomech*. 2002;17(6):464–469. DOI: 10.1016/s0268-0033(02)00033-5.
16. Habich M., Pawlinski B., Lorenc K., Sady M., Siewruk K., Zielenkiewicz P., Gajewski Z., Poznanski J., Paczek L., Szczesny P. The relationship between EMG high frequency and low frequency band amplitude changes correlates with tissue inorganic phosphate levels. *Acta Biochim Pol*. 2023;70(4):951–954. DOI: 10.18388/abp.2020\_6893.