

Обзор
УДК: 612.82-616.81
<https://doi.org/10.21886/2219-8075-2023-14-4-122-128>

Нейропластичность как основа двигательной реабилитации

А.Э. Амамчян, Г.Ш. Гафиятуллина

Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ашот Эдуардович Амамчян, amashot2011@mail.ru.

Аннотация. Заболевания нервной системы, которые сопровождаются нарушениями локомоторных реакций, занимают ведущее место среди причин инвалидизации. В этой связи в обзоре проведён анализ данных отечественной и зарубежной литературы, посвящённых современным представлениям о нейрофизиологических механизмах пластичности, выступающих в роли ведущего звена в обеспечении восстановления движений при нейромоторных нарушениях. Особое внимание уделяется организации спинального локомоторного центра как общего конечного пути в реализации двигательной реабилитации, а также управлению локомоторного центра с учётом современных представлений о строении двигательной системы организма. По итогам систематизации данных литературы авторами дается заключение о доказанности нейропластичности спинального локомоторного центра и супраспинальных центров регуляции движений, а также указывается на целесообразность поиска методов активации пластичности центральной нервной системы.

Ключевые слова: реабилитация, пластичность, локомоторный центр.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Амамчян А.Э., Гафиятуллина Г.Ш. Нейропластичность как основа двигательной реабилитации. *Медицинский вестник Юга России*. 2023;14(4):122-128. DOI 10.21886/2219-8075-2023-14-4-122-128.

Neuroplasticity as the basis of motor rehabilitation

A.E. Amamchyan, G.Sh. Gafiyatullina

Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

Corresponding author: Ashot E. Amamchyan, amashot2011@mail.ru.

Abstract. Diseases of the nervous system, accompanied by impaired locomotor reactions, occupy a leading place among the causes of disability. In this regard, the review carried out an analysis of national and foreign scientific data devoted to current views about the neurophysiological mechanisms of plasticity and their leading role in ensuring the recovery of movements in neuromotor disorders. Special attention is given both to the organization of the spinal locomotor center as a common final path in the implementation of motor rehabilitation, and to the management of the locomotor center, taking into account modern ideas about the structure of the locomotor body system. Based on the results of systematic literature data, the authors concluded that neuroplasticity of the spinal locomotor center and supraspinal centers of movement regulation is proven, and indicate the expediency of searching for methods which activating the plasticity of the central nervous system.

Keywords: rehabilitation, plasticity, locomotor center.

Financing. The study did not have sponsorship.

For citation: Amamchyan A.E., Gafiyatullina G.Sh. Neuroplasticity as the basis of motor rehabilitation. *Medical Herald of the South of Russia*. 2023;14(4):122-128. DOI 10.21886/2219-8075-2023-14-4-122-128.

Введение

Заболевания нервной системы занимают ведущее место среди причин нарушения трудоспособности, при этом одной из наиболее важных причин, приводящих к повышению уровня инвалидизации, является нарушение локомоторных реакций [1]. Несмотря на существенную значимость проблемы реабилитации, направленной на эффективное восстановление движений, она недостаточно изучена вследствие её многогранности и в связи с новыми вызовами, возникающими перед профессиональным сообществом из-за устойчивой тенденции к увеличению числа больных. Поэтому возникает

необходимость выделения самостоятельного раздела научной практики, непосредственно связанного с физиологией адаптации, включающего изучение механизмов развития патологии, а также разработки фармакологического, немедикаментозного сопровождения нейрореабилитационных мероприятий и профилактики двигательных расстройств при заболеваниях центральной нервной системы [2].

Поскольку развитие нейрореабилитации и профилактика локомоторных нарушений тесно связаны с изучением принципа компенсаторно-пластической реорганизации нервной системы при её повреждениях [3, 4],

целью настоящего обзора является обобщение сведений о нейрофизиологических механизмах, обеспечивающих формирование пластичности в центральной нервной системе.

Для осуществления поставленной цели был выполнен систематический поиск информации в базах данных КиберЛенинка, Google Академия, eLIBRARY, BMJ Knowledge, Cochrane DOAJ, EBSCO, PubMed, Medscape, Science Direct, Springer Nature, Trip Medical Database, UpToDate, WILEY ONLINE LIBRARY. Поиск проводился по следующим ключевым словам: «нейропластичность», «двигательная реабилитация», «механизмы нейропластичности», «пластичность синапсов», «спинальный локомоторный центр», «neuroplasticity», «motor rehabilitation», «mechanisms of neuroplasticity», «synaptic plasticity», «spinal locomotor circuits».

Исторические аспекты и современные представления о нейропластичности.

Несмотря на то, что термин «нейропластичность» был предложен Е. Конорски (J. Konorski, 1948) и популяризирован Д. Хеббом (D. Hebb, 1949), понятие «пластичности» применительно к нервной системе впервые было упомянуто У. Джеймсом (W. James, 1890) [5, 6]. Исследования С. Рамон-и-Кахала (S. Ramon-Cajal, 1894) позволили предположить, что пластичность обеспечивается межнейронными связями, которые в дальнейшем Ч. Шеррингтоном (Ch. Sherrington, 1897) были названы синапсами [6, 7].

Представления школы И.П. Павлова и его учеников (Э.А. Асратян, 1953, П.К. Анохин, 1968) о временной связи между разными отделами коры головного мозга и подкорковыми структурами сформировали концептуальную основу пластичности, поскольку возникновение временных связей предполагало изменение эффективности межнейронных взаимодействий и наличие синаптической пластичности [8, 9]. Наряду с этим впервые обнаруженный Т. Блиссом и Т. Ломом (T. Bliss, T. Lomo, 1973) физиологический механизм длительного усиления синаптических связей [10] стал важным этапом для прорывных исследований в области пластичности нервной системы.

Согласно современным представлениям, нейропластичность — это способность нервной системы изменять свою активность в ответ на внутренние или внешние стимулы путём реорганизации своей структуры, функций или связей. При этом необходимо учитывать, что эти изменения могут быть либо полезными (восстановление функции после повреждения), нейтральными (без изменений), либо негативными (могут иметь патологические последствия). [6].

Выделяют два основных типа нейропластичности — структурный и функциональный [11]. Структурная нейропластичность подразумевает реконструкцию нервных центров, нейрогенез, формирование новых синаптических контактов [11, 12]. Функциональная пластичность сопровождается изменениями биоэлектрической активности нейронов, усилением экзоцитоза медиаторов, что может изменять величину синаптических связей, влиять на синхронизацию импульсной активности популяций нейронов [13, 14]. Кроме того, в формировании

пластичности существенную роль играют глиальные клетки [15], эндотелиоциты и адекватный кровоток в сосудистом модуле [16].

К механизмам, лежащим в основе формирования синаптической пластичности, относятся изменение количества дендритов, изменение протяженности активных зон синапсов, формирование новых межнейронных контактов, сопряжённых с аксональным или дендритным спрутингом [17, 18]. В качестве дополнительных факторов рассматриваются изменения функциональной активности нервных синапсов, длительное потенцирование, компенсаторные молекулярные и метаболические изменения мембранных структур клеток, в том числе потенциалуправляемых и хемопотенцируемых мембранных каналов [19, 20]. Указанные механизмы могут формировать разные по длительности формы синаптической пластичности: краткосрочную (секунды, минуты) и долгосрочную (часы, месяцы и годы) [21, 22].

В основе краткосрочной синаптической пластичности лежат процессы, происходящие на пре- и постсинаптической мембране. Пресинаптические механизмы связаны с изменениями величины входящего кальциевого тока, а также времени экзоцитоза медиатора. Постсинаптические механизмы связаны с повышением потенциации и изменением чувствительности постсинаптических рецепторов к медиатору [20, 21].

Долгосрочная синаптическая пластичность сопровождается структурными изменениями: увеличением количества и ветвлением пресинаптических нервных окончаний, увеличением числа рецепторов на постсинаптической мембране, образованием новых синаптических контактов [22]. Инициация долгосрочных форм пластичности синапсов происходит в результате активации глутаматных NMDA-рецепторов, которым отводят особую роль в регуляции нейрональной возбудимости и синаптической пластичности. Данные рецепторы активируются при деполяризации мембраны, в результате чего ионы кальция входят в клетку, активируя многочисленные белки, которые облегчают экзоцитоз медиаторов [23].

Наряду с этим формированию нейропластичности способствуют нейротрофичность, а также нейропротекция, которые обеспечивают эндогенную защитную активность и противостоят развитию апоптоза нейронов [15, 24].

Таким образом, в процессе двигательной реабилитации восстановлению утраченных функций будет способствовать активация следующих компонентов:

1. поведенческого, который проявляется в новых комбинациях движений. Так, например, пациент может использовать различные группы мышц или неоднородные когнитивные стратегии для выполнения двигательной задачи [25];
2. физиологического (нормализация рефлексов, усиление двигательных вызванных потенциалов) [11, 13];
3. анатомического (аксональный, дендритный, коллатеральный спрутинг, который зависит от трофических особенностей нервной ткани, активности леммоцитов и регенераторных возможностей нейронных сетей) [12, 14];
4. клеточного (синаптогенез и синаптическое усиление) [20, 21, 22];

5. молекулярного (восстановление активации нейротрансмиттеров и нейротрофических факторов, повышение чувствительности рецепторов, экспрессия генов) [17, 19].

В то же время общим конечным путём реализации локомоций являются мотонейроны спинного мозга [7], поэтому неотъемлемым фактором двигательной реабилитации является активация спинального локомоторного центра.

Спинальный локомоторный центр (СЛЦ) как общий конечный путь в двигательной реабилитации

В 1890 г. И.М. Сеченов высказал мысль о том, что спинной мозг содержит все элементы, которые способны координировать работу мышц [26]. В трудах T. G. Brown (1910–1914) было впервые показано, что изолированный

спинной мозг кошки может генерировать локомоторные ритмы [27]. Анализ данных литературы позволил сделать заключение о том, что СЛЦ расположен в вентральных отделах серого вещества спинного мозга и представлен группой межсегментарных глутаматергических интернейронов, формирующих синаптические взаимодействия с альфа- и гамма-мотонейронами, а также с тормозными клетками Реншоу и GABA-тормозными нейронами [28, 29]. При этом эти интернейроны находятся под нисходящим контролем глутаматергических, серотонинергических, дофаминергических и норадренергических систем [30, 31]. Нейронная организация СЛЦ представлена на рисунке 1.

Данные литературы свидетельствуют о наличии кратковременной спонтанной ритмической шагоподобной активности ног у пациентов с травмой спинного

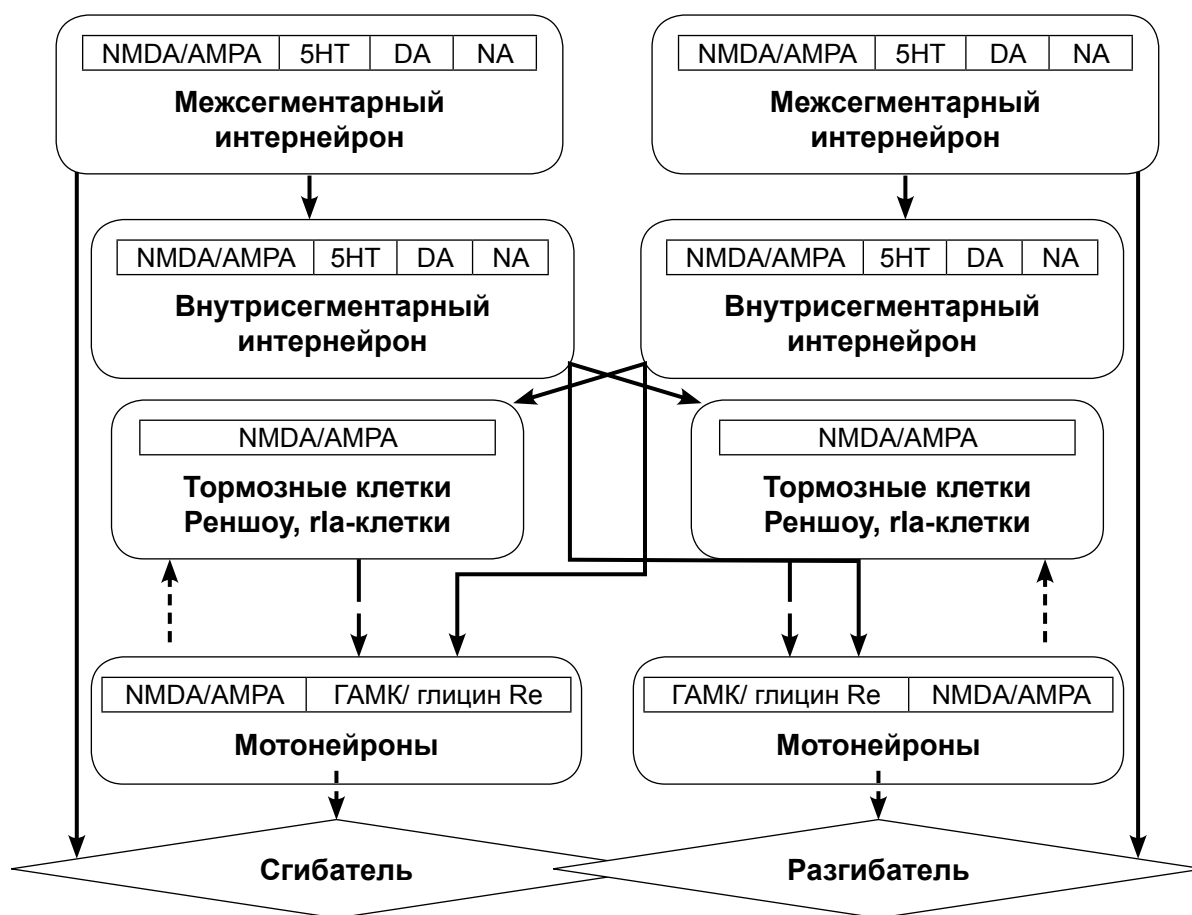
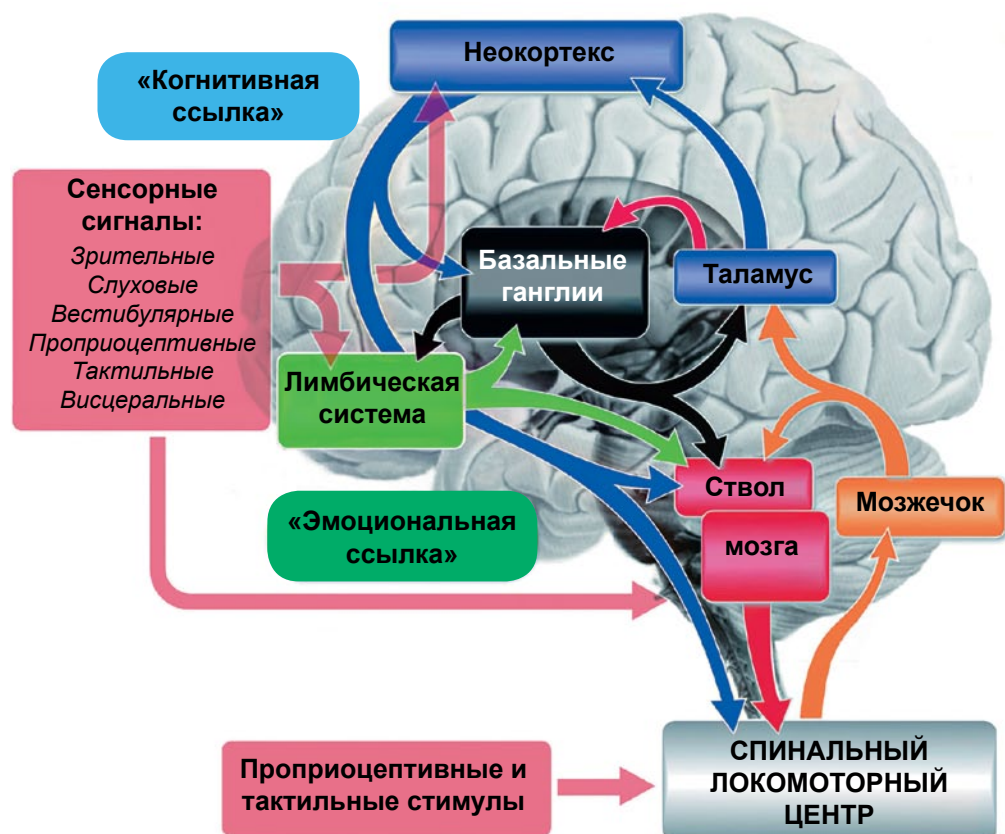


Рисунок 1. Нейронная организация спинального локомоторного центра. Источник: McCrea D. A. et al., 2008 г.; Kiehn O., 2011 г. Сплошные линии — глутаматные связи (возбуждающие), крупные пунктирные линии — ГАМК/глицинергические связи (тормозные), мелкий пунктир — холинергические связи от мотонейронов. NMDA/AMPA — глутаматергические ионотропные рецепторы; 5HT — серотонинергические рецепторы, инициирующие ритмическую активность интернейронов; DA — дофаминергические рецепторы и NA — норадренергические рецепторы, обеспечивающие дополнительную модуляцию локомоций; ГАМК/глицин Re — ГАМК и глицинергические рецепторы. Figure 1. Neuronal organization of the spinal locomotor center. Source: McCrea D. A. et al., 2008; Kiehn O., 2011. Solid lines — glutamate bonds (excitatory), large dotted lines — GABA/glycinergic bonds (inhibitory), small dotted lines — cholinergic connections from motor neurons. NMDA/AMPA — glutamatergic ionotropic receptors; 5HT — serotonergic receptors that initiate the rhythmic activity of interneurons; DA — dopaminergic receptors and NA — noradrenergic receptors, providing additional modulation of locomotion; GABA/Glycine Re — GABA and glycinergic receptors.



Источник: Takakusaki K., 2017. [35]

Figure 2. Organization of the motor system and control of the spinal locomotor center. Source: Takakusaki K., 2017. [35]

двигательными процессами: регуляцией позы и ритмичными движениями конечностей. Сенсомоторная интеграция в стволе головного мозга, мозжечке и спинном мозге играет решающую роль в этом процессе, при этом базовый двигательный паттерн формируется в интернейронах спинального локомоторного центра [35].

Перспективы двигательной реабилитации при патологии центральной нервной системы

Особенностью современного состояния двигательной реабилитации является тенденция к научному обоснованию и патогенетическому выбору методов компенсаторно-восстановительной терапии при цереброваскулярных заболеваниях, воспалительных, травматических, демиелинизирующих болезнях центральной нервной системы, а также экстрапирамидных нарушениях и паралитических синдромах.

Наряду с этим вне зависимости от нозологической единицы к основным принципам реабилитации нарушенных двигательных функций относятся следующие [36]:

- раннее начало восстановительной патогенетической терапии;
- длительность и непрерывность терапии при поэтапном построении методов реабилитации;

- направленное комплексное применение различных видов реабилитационных мероприятий;
- закрепление результатов лечения и реабилитации в социальном аспекте с определением бытового и трудового устройства пациентов.

Исходя из организации двигательной системы и возможности инициации нейропластичности экзогенными факторами, можно предположить, что базой для успешной профилактики нарушений локомоций и двигательной реабилитации является активация сенсорных сигналов.

Анализ данных литературы позволил выявить основные инновационные методы двигательной реабилитации, направленные на активацию процессов нейропластичности через сенсорную стимуляцию. К ним относятся программируемая функциональная электростимуляция, тренинг на стабилметрической платформе с использованием метода биологической обратной связи, роботизированная реабилитация и методы виртуальной реальности [37]. Внедрение этих технологий демонстрирует большой потенциал для совершенствования двигательной реабилитации. Однако в настоящее время не существует единого стандарта или руководства по применению и оценки эффективности этих технологий. Поэтому дальнейшее всестороннее изучение нейропластичности, а также усовершенствование методов нейровизуализации и проведение рандомизированных исследований будут способствовать надежности и распространению методов

активации нейропластичности для профилактики нарушения движений и нейрореабилитации. Следует также подчеркнуть, что новые реабилитационные технологии являются дополнением, а не заменой традиционных реабилитационных мероприятий. В связи с этим функциональное восстановление при заболеваниях центральной нервной системы возможно при сочетании традиционной реабилитационной терапии и новых технологий.

Заключение

В представленном обзоре приведён ряд аспектов и теоретических основ нейрореабилитации, рассмотренных с молекулярно-биологических и структурно-функциональных позиций и базирующихся на фундаментальных представлениях физиологии человека и животных. Вышеприведённые данные литературы убедительно свидетельствуют о доказанности нейропластичности спинального локомоторного центра и супраспинальных центров регуляции движений. В этой связи для профилактики локомоторных нарушений и разработки методов двигательной реабилитации при заболеваниях центральной нервной системы представляется целесообразным поиск способов регенерации, в том числе адекватной сенсорной стимуляции биоэлектрической активности нейронов, формирования новых межнейронных связей, а также устойчивого межклеточного взаимодействия в структуре нервной ткани головного и спинного мозга.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Cifu DX. *Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation (Sixth Edition)*. Elsevier; 2021.
2. Барулин А.Е., Курушина О.В., Черноволенько Е.П. Нейрореабилитация при инсульте. *Нервные болезни*. 2021;(1):72-76. Barulin A.E., Kurushina O.V., Chernovolensk E.P. Neurorehabilitation after stroke. *Nervous Diseases*. 2021;(1):72-76. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2226-0757-2021-12310>
3. Maier M, Ballester BR, Verschure PFMJ. Principles of Neurorehabilitation After Stroke Based on Motor Learning and Brain Plasticity Mechanisms. *Front Syst Neurosci*. 2019;13:74. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00074>
4. Kaczmarek B. Current views on neuroplasticity: what is new and what is old? *Acta neuropsychologica*. 2020;18(1):1-14. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.8808>
5. Джеймс У. *Психология (Классики мировой психологии)*. Под ред. Л. А. Петровской. М.: Педагогика; 1991. Petrovskaya L.A., ed. James W. *Psychology (Classics of world psychology)*. Moscow: Pedagogy; 1991. (In Russ.).
6. Puderbaugh M., Emmady P.D. *Neuroplasticity*. Florida: StatPearls Publishing; 2023.
7. Sherrington C.S. *The integrative action of the nervous system*. London: New Haven Yale Univ. Press; 1906.
8. Асратян Э.А. *Физиология центральной нервной системы*. М.: Изд-во АМН СССР; 1953.
9. Asratyan E.A. *Fiziologiya tsentralnoy nervnoy sistemy*. Moscow: Izd-vo AMN SSSR; 1953. (In Russ.).
10. Анохин П.К. *Биология и нейрофизиология условного рефлекса*. М.: Медицина; 1968.
11. Anokhin P.K. *Biologiya i neyrofiziologiya uslovnogo refleksa*. Moscow: Meditsina; 1968. (In Russ.).
12. Bliss TV, Gardner-Medwin AR. Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the unanesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J Physiol*. 1973;232(2):357-74. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010274>. PMID: 4727085; PMCID: PMC1350459.
13. Zhang K, Liu Y, Liu J, Liu R, Cao C. Detecting structural and functional neuroplasticity in elite ice-skating athletes. *Hum Mov Sci*. 2021;78:102795. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102795>
14. Owji S, Shoja MM. The History of Discovery of Adult Neurogenesis. *Clin Anat*. 2020;33(1):41-55. doi: 10.1002/ca.23447
15. Grafman J. Conceptualizing functional neuroplasticity. *J Commun Disord*. 2000;33(4):345-55; quiz 355-6. [https://doi.org/10.1016/s0021-9924\(00\)00030-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(00)00030-7)
16. La Rosa C, Parolisi R, Bonfanti L. Brain Structural Plasticity: From Adult Neurogenesis to Immature Neurons. *Front Neurosci*. 2020;14:75. doi: 10.3389/fnins.2020.00075
17. Andoh M, Koyama R. Microglia regulate synaptic development and plasticity. *Dev Neurobiol*. 2021;81(5):568-590. <https://doi.org/10.1002/dneu.22814>
18. Гафиятуллина Г.Ш., Хананашвили Я.А. Нейропластичность эмбриональной ткани мозга крыс при нарушении гемодинамического обеспечения. *Вестник новых медицинских технологий*. 2015;22(4):54-63. Gafijatullina G.Sh. Khananashvili Ya.A. Neuroplasticity of embryonic brain tissue in the rats at hemodynamic disturbance. *Journal of new medical technologies*. 2015;22(4):54-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/17025>

17. Ango F, Gallo NB, Van Aelst L. Molecular mechanisms of axo-axon innervation. *Curr Opin Neurobiol.* 2021;69:105-112. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2021.03.002>
18. Marshall KL, Farah MH. Axonal regeneration and sprouting as a potential therapeutic target for nervous system disorders. *Neural Regen Res.* 2021;16(10):1901-1910. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.308077>
19. Nicolini C, Fahnestock M, Gibala MJ, Nelson AJ. Understanding the Neurophysiological and Molecular Mechanisms of Exercise-Induced Neuroplasticity in Cortical and Descending Motor Pathways: Where Do We Stand? *Neuroscience.* 2021;457:259-282. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.12.013>
20. Stamparoni Bassi M, Iezzi E, Gilio L, Centonze D, Buttari F. Synaptic Plasticity Shapes Brain Connectivity: Implications for Network Topology. *Int J Mol Sci.* 2019;20(24):6193. <https://doi.org/10.3390/ijms20246193>
21. Зефирова А.Л., Мухамедьяров М.А. Механизмы кратковременных форм синаптической пластичности. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2004;90(8):1041-1059. Zefirova A.L., Mukhamedyarov M.A. Mechanisms of short-term forms of synaptic plasticity. *Russian physiological journal. I.M Sechenov.* 2004;90(8):1041-1059. (In Russ.). eLIBRARY ID: 42623183
22. Fernandes D, Carvalho AL. Mechanisms of homeostatic plasticity in the excitatory synapse. *J Neurochem.* 2016;139(6):973-996. <https://doi.org/10.1111/jnc.13687>
23. Abrahamsson T, Chou CYC, Li SY, Mancino A, Costa RP, et al. Differential Regulation of Evoked and Spontaneous Release by Presynaptic NMDA Receptors. *Neuron.* 2017;96(4):839-855.e5. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.09.030>
24. Mahalakshmi B, Maurya N, Lee SD, Bharath Kumar V. Possible Neuroprotective Mechanisms of Physical Exercise in Neurodegeneration. *Int J Mol Sci.* 2020;21(16):5895. <https://doi.org/10.3390/ijms21165895>
25. Hebert C, Behel JM, Pal G, Kasi R, Kompoliti K. Multidisciplinary inpatient rehabilitation for Functional Movement Disorders: A prospective study with long term follow up. *Parkinsonism Relat Disord.* 2021;82:50-55. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2020.11.018>
26. Сеченов И.М. Физиология нервных центров. Из лекций, читанных в Собрании врачей в Москве в 1889-1890 гг. Под ред. Коштова Х.С. М.: Изд-во АМН СССР; 1952. Koshtoyants KH.S., ed. Sechenov I.M. *Fiziologiya nervnykh tsentrov. Iz lektsiy, chitannykh v Sobranii vrachev v Moskve v 1889-1890 gg.* Moscow: Izd-vo AMN SSSR; 1952. (In Russ.).
27. Schnierwitzki D, Englert C, Schmidt M. Adapting the pantograph limb: Differential robustness of fore- and hindlimb kinematics against genetically induced perturbation in the neural control networks and its evolutionary implications. *Zoology (Jena).* 2023;157:126076. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2023.126076>
28. McCrea DA, Rybak IA. Organization of mammalian locomotor rhythm and pattern generation. *Brain Res Rev.* 2008;57(1):134-46. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.08.006>
29. Цымбальук В.И., Медведев В.В. *Спинной мозг: элегия надежды.* Винница: Нова книга; 2010. Tsybalyuk V.I., Medvedev V.V. *Spinnoy mozg: elegiya nadezhdy.* Vinnitsa: Nova kniga; 2010. (In Russ.).
30. Базиян А.С., Григорян Г.А., Иоффе М.Е. Регуляция двигательного поведения. *Успехи физиологических наук.* 2011;42(3):65-80. Bazian AS, Grigir'ian GA, Ioffe ME. [Regulation of motor behaviour]. *Usp Fiziol Nauk.* 2011;42(3):65-80. (In Russ.) PMID: 21950009.
31. Kiehn O. Development and functional organization of spinal locomotor circuits. *Curr Opin Neurobiol.* 2011;21(1):100-9. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.09.004>
32. Edgerton VR, Courtine G, Gerasimenko YP, Lavrov I, Ichiyama RM, et al. Training locomotor networks. *Brain Res Rev.* 2008;57(1):241-54. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.09.002>
33. Городничев Р.М., Пухов А.М., Моисеев С.А., Иванов С.М., Маркевич В.В., и др. Регуляция фаз шагательного цикла при неинвазивной электрической стимуляции спинного мозга. *Физиология человека.* 2021;47(1):73-83. Gorodnichev R.M., Pukhov A.M., Moiseev, S.A., Ivanov S.M., Markevich V.V., et al. Regulation of gait cycle phases during noninvasive electrical stimulation of the spinal cord. *Hum Physiol.* 2021;47(1):60-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0362119721010059>
34. Григорян А.К. Амамчян А.Э. Принципы нейрореабилитации – взгляд клинициста и физиолога. *Синергия наук.* 2019;32:1033-1059. Grigoryan A.K. Amamchyan A.E. Principles of neurorehabilitation – the view of a clinician and physiologist. *Synergy of Sciences.* 2019;32:1033-1059. (In Russ.) eLIBRARY ID: 37037123
35. Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *J Mov Disord.* 2017;10(1):1-17. <https://doi.org/10.14802/jmd.16062>
36. Котенко К.В., Епифанов В.А., Епифанов А.В. *Реабилитация при заболеваниях и повреждениях нервной системы.* М: ГЭОТАР-Медиа, 2016. Kotenko K.V., Yepifanov V.A., Yepifanov A.V. *Reabilitatsiya pri zabolevaniyakh i povrezhdeniyakh nervnoy sistemy.* M: GEOTAR-Media, 2016. (In Russ.).
37. Huo CC, Zheng Y, Lu WW, Zhang TY, Wang DF, et al. Prospects for intelligent rehabilitation techniques to treat motor dysfunction. *Neural Regen Res.* 2021;16(2):264-269. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.290884>

Информация об авторах

Ашот Эдуардович Амамчян, к.м.н., доцент кафедры нормальной физиологии, Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия; amashot2011@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-6245-4987>.

Гюзаль Шамильевна Гафиятуллина, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии, Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия; ggsh@aaanet.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7656-2101>.

Information about the authors

Ashot E. Amamchyan, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Physiology Department, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia; amashot2011@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-6245-4987>

Guzyal' Sh. Gafiyatullina, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Physiology Department, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia; ggsh@aaanet.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7656-2101>

Вклад авторов

Амамчян А. Э. — концепция, дизайн, обзор публикаций;
Амамчян А. Э., Гафиятуллина Г.Ш. — написание текста; редактирование.

Authors' contribution

Amamchyan A.E. — research, design, review of publications on the topic of the article;
Amamchyan A.E., Gafiyatullina G. Sh. — writing the text of the manuscript; editing of the article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

Authors declares no conflict of interest.

Поступила в редакцию / *Received*: 05.07.2023

Доработана после рецензирования / *Revised*: 09.10.2023

Принята к публикации / *Accepted*: 17.10.2023