

Отдалённые результаты лечения нейропатии нижних луночковых нервов после ортогнатической коррекции аномалий и деформаций нижней челюсти

М.М. Танащян¹, М.Ю. Максимова^{1,2}, П.А. Федин¹, Т.Ю. Носкова¹

¹ФГБНУ «Научный центр неврологии» Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет
им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва, Россия

Аннотация

Введение. Ортогнатические операции являются наиболее распространённым методом лечения аномалий и деформаций лицевого черепа.

Цель исследования — оценка отдалённых результатов применения ритмической периферической магнитной стимуляции (рПМС) при нейропатии нижних луночковых нервов (НЛН), возникшей в результате хирургического лечения аномалий и деформаций нижней челюсти.

Материалы и методы. В исследование были включены 8 мужчин и 16 женщин в возрасте 32 ± 12 лет с нейропатией НЛН после ортогнатической коррекции аномалий и деформаций нижней челюсти. Для лечебной рПМС использовали магнитный стимулятор «Нейро-МС» («Нейрософт»). При оценке отдалённых результатов эффективности рПМС (через 18 ± 2 мес), как и при первом исследовании (через 10 дней), регистрировали акустические стволовые и тригеминальные вызванные потенциалы на приборе «Нейро-МВП» («Нейрософт»).

Результаты. В неврологической картине постоперационной нейропатии НЛН преобладали чувствительные и болевые нарушения. Клинический эффект в виде уменьшения чувствительных нарушений после 10-дневного курса рПМС наблюдался у 20 пациентов и сохранялся при повторном обследовании. В отдалённом периоде также отмечены нормализация параметров акустических стволовых вызванных потенциалов и отсутствие отрицательных изменений при исследовании тригеминальных вызванных потенциалов.

Заключение. Применение рПМС при нейропатии НЛН, возникшей после ортогнатических операций, способствует улучшению и стабилизации функции периферических и центральных структур ствола мозга и тригеминальной системы.

Ключевые слова: нейропатия нижних луночковых нервов; акустические стволовые вызванные потенциалы; тригеминальные вызванные потенциалы; ортогнатические операции

Этическое утверждение. Исследование проводилось при добровольном информированном согласии пациентов. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом Научного центра неврологии (протокол № 11/4-19 от 20.11.2019).

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Научный центр неврологии».

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

Адрес для корреспонденции: 125367 Москва, Волоколамское ш., д. 80. ФГБНУ «Научный центр неврологии».
E-mail: ncnmaximova@mail.ru. Максимова М.Ю.

Для цитирования: Танащян М.М., Максимова М.Ю., Федин П.А., Носкова Т.Ю. Отдалённые результаты лечения нейропатии нижних луночковых нервов после ортогнатической коррекции аномалий и деформаций нижней челюсти. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2023;17(4):35–39.

DOI: <https://doi.org/10.54101/ACEN.2023.4.4>

Поступила 10.07.2023 / Принята в печать 07.09.2023 / Опубликовано 25.12.2023

Long-Term Outcomes of Management of Inferior Alveolar Neuropathy Following Orthognathic Surgeries in Patients with Mandibular Anomalies and Deformities

Marine M. Tanashyan¹, Marina Yu. Maksimova^{1,2}, Pavel A. Fedin¹, Tatiana Yu. Noskova¹

¹Research Center of Neurology, Moscow, Russia;

²A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. Orthognathic surgery is a routine method to manage mandibular anomalies and deformities.

Objective: To assess long-term outcomes of rhythmic peripheral magnetic stimulation (rPMS) in patients with neuropathy of the inferior alveolar nerve (IAN) resulting from the surgical treatment of mandibular anomalies and deformities.

Materials and methods. The study included 8 males and 16 females aged 32 ± 12 years with IAN neuropathy following the surgical treatment of mandibular anomalies and deformities. Therapeutic rPMS was performed with the Neuro-MS magnetic stimulator (Neurosoft, Ivanovo, Ivanovo Region, Russian Federation). Trigeminal and brainstem acoustic evoked potentials (EPs) were registered with Neuro-MVP (Neurosoft) to assess rPMS both at baseline (in 10 days) and in long term (in 18 ± 2 months).

Results. Sensory disorders and pain prevailed in postoperative IAN neuropathy. Sensory disorders improved in 20 patients following 10-day rPMS. The clinical effect persisted in re-assessment. In long term, acoustic brainstem EPs normalized and trigeminal EPs did not change negatively.

Conclusion. The use of rPMS in IAN neuropathy following orthognathic surgeries contributes to the functional improvement and stabilization of the peripheral and central brainstem and the trigeminal system.

Keywords: IAN neuropathy; brainstem auditory evoked potentials; trigeminal evoked potentials; orthognathic surgery

Ethics approval. The study was conducted after receiving the informed consent of the patients. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Research Center of Neurology (Protocol No. 11/4-19, 20 November 2019).

Source of funding. The study was conducted by the Research Center of Neurology on state assignment.

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

For correspondence: 125367, Russia, Moscow, Volokolamskoye shosse, 80. Research Center of Neurology.

E-mail: ncnmaksimova@mail.ru. Maksimova M. Yu.

For citation: Tanashyan M.M., Maksimova M.Yu., Fedin P.A., Noskova T.Yu. Long-term outcomes of management of inferior alveolar neuropathy following orthognathic surgeries in patients with mandibular anomalies and deformities. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2023;17(4):35–39. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.54101/ACEN.2023.4.4>

Received 10.07.2023 / Accepted 07.09.2023 / Published 25.12.2023

Введение

Ортогнатические операции являются наиболее распространённым методом лечения деформаций нижней челюсти. Преимущества таких операций — улучшение жевательной функции, уменьшение боли в височно-нижнечелюстных суставах и коррекция эстетических нарушений в челюстно-лицевой области. Остеотомия при этих операциях выполняется в непосредственной близости от нижних луночковых нервов (НЛН) [1]. Возникающие нейросенсорные нарушения в виде онемения или болевых ощущений в нижней губе, подбородке, зубах и дёснах отмечаются в 16,2% случаев. Парестезии обычно носят преходящий характер, но могут быть постоянными [2].

Частота нейропатии НЛН после ортогнатической коррекции аномалий и деформаций нижней челюсти варьирует от 1,3 до 18%. Послеоперационные нарушения чувствительности в нижней губе и области подбородка возникают в 9–85% случаев [1, 3, 4].

Травматизация НЛН в значительной степени является результатом манипуляций на нижней челюсти, в области

мягких тканей лица или механического повреждения нерва [4, 5]. Повреждение НЛН может включать полное или частичное расщепление, растяжение, компрессию, раздавливание или ишемию нерва [6]. В зависимости от степени тяжести повреждения нервных волокон могут возникать нейропраксия, аксонотмезис или невротмезис [7]. Повреждение миелиновой оболочки нервов приводит к демиелинизации, которая ухудшает проводимость сигналов и вызывает нарушение чувствительности. Демиелинизации различной степени выраженности возникают при нейропраксии и аксонотмезисе [7–9].

Отличительными клиническими особенностями травматизации НЛН являются потеря чувствительности в нижней губе на поражённой стороне, а также в области подбородка и десны. Нейропатическая боль и дискомфорт при смыкании зубов имеют неприятный мучительный характер. Эти осложнения влияют на качество повседневной жизни, функцию жевания, речи, мимику и часто приводят к жалобам пациентов на проведённое лечение [1, 2, 10, 11].

Лечение травматической нейропатии тройничного нерва представляет собой сложную задачу. Одновременно с анти-

депрессантами, реже изолированно назначают физиотерапевтические методы лечения. Применение ритмической транскраниальной магнитной стимуляции ограничивается неоднородностью протоколов и вариабельностью результатов лечения [12, 13]. Ритмическая периферическая магнитная стимуляция (рПМС) позволяет модулировать корковые цепные реакции и корково-спинномозговую возбудимость. При рПМС, в отличие от ритмической транскраниальной магнитной стимуляции, магнитное воздействие оказывается на определённые участки тела человека, а не на проекционные области коры мозга.

В отличие от электростимуляции, магнитный импульс более глубоко проникает в ткани, ускоряя нейротрансмиссию, и не активирует рецепторы кожи [14, 15].

Наиболее часто рПМС применяется в лечении болевых синдромов и спастичности. Однако проведённые исследования отличают небольшое число наблюдений и разнообразие протоколов [16–18].

Необходимо признать, что чёткие рекомендации по применению магнитной стимуляции для лечения травматической нейропатии тройничного нерва в настоящее время отсутствуют [19]. В некоторых работах показано, что магнитная стимуляция оказывает обезболивающее действие и ускоряет регенерацию повреждённых нервов [20, 21].

Цель исследования — оценка отдалённых результатов применения рПМС при нейропатии НЛН, возникающей в результате хирургического лечения аномалий и деформаций нижней челюсти.

Материалы и методы

В исследование были включены 8 мужчин и 16 женщин в возрасте 32 ± 12 лет с нейропатией НЛН после ортогнатической коррекции аномалий и деформаций нижней челюсти [10]. Исследование одобрено этическим комитетом Научного центра неврологии (протокол № 11/4-19 от 20.11.2019) и является продолжением ранее опубликованных материалов [10, 22].

У 17 пациентов отмечалась постоянная одинаковой интенсивности боль ноющего или стягивающего характера. Боль локализовалась всегда в одной и той же зоне, характерной

для каждого пациента, — участок нижней губы, подбородок, один или несколько зубов нижней челюсти, определённый участок на альвеолярной части нижней челюсти. У всех пациентов боль иррадиировала под скуловую дугу (её задний отдел). У 4 пациентов при сомкнутых губах отсутствовало ощущение на половине нижней губы, соответствующей стороне боли, вследствие чего они иногда прикусывали её во время еды и при разговоре. Кроме того, пациенты жаловались на постоянное чувство стягивания десны. В области подбородка, нижней губы, десны и зубов нижней челюсти у этих пациентов определялись гиперестезия с гиперпатическим оттенком болевой, холодовой, тактильной чувствительности и гипестезия тепловой чувствительности; при пальпации в зоне локализации боли отмечалась резкая болезненность. В 3 случаях нейропатии НЛН характеризовалась приступами колющей, жгучей боли в области нижней губы. У всех пациентов выявлялось снижение чувствительности в зоне иннервации НЛН.

Для лечебной рПМС использовали магнитный стимулятор «Нейро-МС» («Нейрософт»). Процедуры проводили ежедневно в течение 10 дней по 15–20 мин, сила стимула — 1,0–1,5 Тл, частота подачи импульса — 1 Гц. Пациенты не принимали лекарственные препараты, ускоряющие репаративные процессы и улучшающие функциональное состояние нервной системы [10].

Для оценки отдалённых результатов эффективности рПМС пациенты были обследованы повторно через 18 ± 2 мес. Вызванные потенциалы (ВП) — акустические стволовые ВП (АСВП) и тригеминальные ВП (ТВП) регистрировали на приборе «Нейро-МВП» («Нейрософт») [10, 22, 23].

Результаты

На первом этапе после 10-дневного курса рПМС у 20 пациентов наблюдалось значительное уменьшение чувствительных нарушений, у 4 пациентов парестезии в области лица сохранялись. Динамика параметров АСВП была положительной, а существенных изменений ТВП не обнаружено [10, 22].

Клинический эффект в виде регресса чувствительных нарушений и улучшения субъективного статуса при повторном обследовании через 18 ± 2 мес отмечен в 83% случаев. Выявлена также нормализация параметров АСВП (табл. 1),

Таблица 1. Параметры АСВП до лечения и через 18 ± 2 мес после применения рПМС (медиана)

Table 1. BAEPs before treatment and in 18 ± 2 months after rPMS (median)

Группа Group	Латентный период, мс Latency, msec			Межпиковый интервал, мс Interpeak interval, msec			Амплитуда, мкВ Amplitude, μV		
	I	III	V	I-III	III-V	I-V	I	III	V
Норма Normal	$1,7 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,2$
Стимуляция правого и левого уха: Right and left ears:									
после 10-дневного курса рПМС post 10-day rPMS treatment	1,6	3,5	5,4	2,0	1,9	3,9	0,3	0,3	0,5
через 18 мес после рПМС in 18 months post rPMS	1,6	3,6	5,5	2,0	1,9	3,9	0,3	0,3	0,5

Примечание. I, III, V — пики АСВП.
Note. I, III, V, BAEP peaks.

Таблица 2. Параметры ТВП до и через 18 ± 2 мес после применения рПМС (медиана)

Table 2. TEP parameters before and in 18 ± 2 months after rPMS treatment (median)

Группа Group	Порог, мА Threshold, mA	Компоненты ТВП, мс TEP components, msec			Амплитуда, мкВ Amplitude, μ V	
		P1	N1	P2	P1-N1, мкВ μ V	N1-P2, мкВ μ V
Норма Normal	5,7	19,2	33,0	49,0	1,9	1,9
Стимуляция слева и справа: Left and right stimulation:						
после 10-дневного курса рПМС post 10-day rPMS treatment	5,1	19,8	31,3	43,5	2,0	1,9
через 18 мес после рПМС in 18 months post rPMS treatment	5,2	20,1	31,7	44,5	2,0	1,9

что может указывать на стабилизирующее действие рПМС на процесс в целом и сохранность функции акустических стволовых структур.

При анализе ТВП после первого 10-дневного курса лечения рПМС изменения ТВП свидетельствовали о незначительном нарушении функции тригеминальной системы с двух сторон (табл. 2). ТВП в динамике через 18 ± 2 мес не обнаружили отрицательной динамики. Таким образом, применение рПМС при нейропатии НЛН способствует улучшению и стабилизации функции тригеминальной системы и ствола мозга.

Обсуждение

рПМС — метод неинвазивной стимуляции нервов, мышц, спинномозговых корешков и вегетативной нервной системы. рПМС влияет на возбудимость чувствительных структур под катушкой (койлом), и это приводит к изменениям функции нейронов и нейропластичности. рПМС относительно безболезненна и может легко применяться в клинических условиях. В последние годы всё больше исследователей используют рПМС при реабилитации пациентов [24].

Магнитная стимуляция оказывает своё действие за счёт генерируемого магнитного поля, индуцирующего электрическое поле, способное деполяризовать аксоны. Однако механизмы действия магнитного поля на периферические нервы остаются неясными [25, 26]. Одним из объяснений воздействия магнитного поля на клетки является его влияние на молекулярную структуру мембран возбудимых клеток с последующим изменением функции встроенных ионно-специфических каналов [27]. Управляемые напряжением калиевые, натриевые и кальциевые ионные каналы подвергаются воздействию магнитного поля, что делает нейроны высокочувствительными к воздействию магнитного поля [28–30].

Список источников / References

1. Agbaje J.O., Salem A.S., Lambrichts I. et al. Systematic review of the incidence of inferior alveolar nerve injury in bilateral sagittal split osteotomy and the assessment of neurosensory disturbances. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg* 2015;44:447–451. DOI: 10.1016/j.ijom.2014.11.010

Другим возможным механизмом является магнитокалорический эффект в результате воздействия магнитных наночастиц во внешнем магнитном поле [31]. Несмотря на отсутствие доказательства связи магнитокалорического эффекта с регенерацией нервов в магнитном поле, в экспериментальных исследованиях показано, что повышение температуры до 37–42°C может оказывать положительное воздействие на рост количества нейронов [32].

Воздействие магнитного поля на периферические нервы также ассоциируется с повышением факторов роста и снижением провоспалительных факторов. рПМС оказывает вазопротекторный, противовоспалительный, противоотёчный эффекты, улучшает трофику в участке повреждения. Всё больше исследователей признают роль рПМС в качестве метода нейромодуляции при сенсомоторных расстройствах.

Результаты ранее проведённого нами исследования показали эффективность применения рПМС при травматической тригеминальной нейропатии. Положительный эффект 10-дневного курса рПМС в виде восстановления чувствительности у большинства пациентов значительно улучшил качество их жизни [10, 22].

Полученные отдалённые (спустя 18 ± 2 мес) положительные результаты применения рПМС у больных с нейропатией НЛН, возникшей после ортогнатической коррекции аномалий и деформаций нижней челюсти, обосновывают необходимость включения данного метода в индивидуальную программу восстановительного лечения этих пациентов.

Тем не менее разработка основных принципов применения рПМС после ортогнатических операций требует методологических и клинических исследований, включающих более крупные выборки.

2. Degala S., Shetty S.K., Bhanumathi M. Evaluation of neurosensory disturbance following orthognathic surgery: a prospective study. *J. Maxillofac. Oral Surg* 2015;14: 24–31. DOI: 10.1007/s12663-013-0577-5

3. Robert R.C., Bacchetti P., Pogrel M.A. Frequency of trigeminal nerve injuries following third molar removal. *J. Oral Maxillofac. Surg* 2005;63:732–735. DOI: 10.1016/j.joms.2005.02.006
4. Politis C., Sun Y., Lambrichts I., Agbaje J.O. Self-reported hypoesthesia of the lower lip after sagittal split osteotomy. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2013;42:823–829. DOI: 10.1016/j.ijom.2013.03.020
5. Yamauchi K., Takahashi T., Kaneuji T. et al. Risk factors for neurosensory disturbance after bilateral sagittal split osteotomy based on position of mandibular canal and morphology of mandibular angle. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 2011;70:401–406. DOI: 10.1016/j.joms.2011.01.040
6. Wijnbenga J.G., Verlinden C.R., Jansma J. et al. Long-lasting neurosensory disturbance following advancement of the retrognathic mandible: distraction osteogenesis versus bilateral sagittal split osteotomy. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2009;38:719–725. DOI: 10.1016/j.ijom.2009.03.714
7. Carballo Cuello C.M., De Jesus O. Neurapraxia. In: StatPearls. Treasure Island; 2023.
8. Teerijoki-Oksa T., Jääskeläinen S.K., Soukka T. et al. Subjective sensory symptoms associated with axonal and demyelinating nerve injuries after mandibular sagittal split osteotomy. *Oral Maxillofac. Surg.* 2011;69(6):e208–e213. DOI: 10.1016/j.joms.2011.01.024
9. Korczyńska O.A., Kohli D., Benoliel R. et al. pathophysiology of post-traumatic trigeminal neuropathic pain. *Biomolecules.* 2022;12(12):1753. DOI: 10.3390/biom12121753
10. Танащян М.М., Максимова М.Ю., Федин П.А. и др. Диагностика и лечение травматической нейропатии тройничного нерва. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2018;12(2):22–26. Tanashyan M.M., Maximova M.Yu., Fedin P.A. et al. Diagnosis and management of traumatic neuropathy. *Annals of clinical and experimental neurology.* 2018;12(2):22–26. DOI: 10.18454/ACEN.2018.2.3
11. D'Agostino A., Trevisiol L., Gugole F. et al. Complications of orthognathic surgery: the inferior alveolar nerve. *J. Craniofac. Surg.* 2010;21(4):1189–1195. DOI: 10.1097/SCS.0b013e318181e1b5ff
12. Guerra A., López-Alonso V., Cheeran B., Suppa A. Variability in non-invasive brain stimulation studies: Reasons and results. *Neurosci. Lett.* 2020;719:133330. DOI: 10.1016/j.neulet.2017.12.058
13. Пойдашева А.Г., Синицын Д.О., Бакулин И.С. и др. Структурные и функциональные биомаркеры эффекта навигационной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции у пациентов с фармакорезистентной депрессией. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2022;14(4):12–19. Poydasheva A.G., Sinityn D.O., Bakulin I.S. et al. Structural and functional biomarkers of the effect of navigational repetitive transcranial magnetic stimulation in patients with drug-resistant depression. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2022;14(4):12–19. DOI: 10.14412/2074-2711-2022-4-12-19
14. Struppler A., Angerer B., Gundisch C., Havel P. Modulatory effect of repetitive peripheral magnetic stimulation on skeletal muscle tone in healthy subjects stabilization of the elbow joint. *Exp. Brain Res.* 2004;157(1):59–66. DOI: 10.1007/s00221-003-1817-6
15. Золотухина Е.И., Улащик В.С. Основы импульсной магнитотерапии: пособие. Витебск; 2012. 144 с. Zolotukhina E.I., Ulashchik V.S. Fundamentals of pulsed magnetotherapy: a manual. Vitebsk; 2012. 144 p.
16. Krause P., Straube A. Peripheral repetitive magnetic stimulation induces intracortical inhibition in healthy subjects. *Neurol. Res.* 2008;30(7):690–694. DOI: 10.1179/174313208X297959
17. Меркулов Ю.А., Гореликов А.Е., Пятков А.А., Меркулова Д.М. Ритмическая транспинальная магнитная стимуляция в терапии хронической боли в нижней части спины. *Метаанализ (Часть II). Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2021;65(4):97–108. Merkulov Y.A., Gorelikov A.E., Pyatkov A.A., Merkulova D.M. Repetitive trans-spinal magnetic stimulation in the treatment of chronic low back pain. A meta-analysis (Part II). *Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal.* 2021;65(4):97–108. DOI: 10.25557/0031-2991.2021.04.97-108
18. Khedr E.M., Ahmed M.A., Alkady E.A. et al. Therapeutic effects of peripheral magnetic stimulation on traumatic brachial plexopathy: clinical and neurophysiological study. *Neurophysiol. Clin.* 2012;42(3):111–118. DOI: 10.1016/j.neucli.2011.11.003
19. Stidd D.A., Wuollet A.L., Bowden K. et al. Peripheral nerve stimulation for trigeminal neuropathic pain. *Pain Physician.* 2012;15(1):27–33.
20. Мусаев А.В., Гусейнова С.Г., Мустафаева Э.Э. Высокоинтенсивная магнитная стимуляция в реабилитации больных с травматическими поражениями нервов верхних конечностей. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация* 2010;3:14–17. Musaev A.V., Huseynova S.G., Mustafayeva E.E. High-intensity magnetic stimulation in the rehabilitation of patients with traumatic lesions of the nerves of the upper extremities. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation.* 2010;3:14–17.
21. Mert T., Gunay I., Gocmen C. et al. Regenerative effects of pulsed magnetic field on injured peripheral nerves. *Altern. Ther. Health Med.* 2006;12(5):42–49.
22. Танащян М.М., Максимова М.Ю., Иванов С.Ю. и др. Невропатия тройничного нерва после ортогнатических операций. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2020;12(4):37–42. Tanashyan M.M., Maximova M.Yu., Ivanov S.Yu. et al. Trigeminal neuropathy following orthognathic surgery. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2020;12(4):37–42. DOI: 10.14412/2074-2711-2020-4-37-42
23. Максимова М.Ю., Федин П.А., Суанова Е.Т., Тюрников В.М. Нейрофизиологические особенности атипичной лицевой боли. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2013;7(3):9–16. Maximova M.Yu., Fedin P.A., Suanova E.T., Tyurnikov V.M. [Neurophysiological features of atypical facial pain. *Annals of clinical and experimental neurology.* 2013;7(3):9–16.
24. Jiang Y.F., Zhang D., Zhang J. et al. A randomized controlled trial of repetitive peripheral magnetic stimulation applied in early subacute stroke: effects on severe upper-limb impairment. *Clin. Rehabil.* 2022;36(5):693–702. DOI: 10.1177/02692155211072189
25. Gallasch E., Christova M., Kunz A. et al. Modulation of sensorimotor cortex by repetitive peripheral magnetic stimulation. *Front. Hum. Neurosci.* 2015;9:407. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00407
26. Fan Z., Wen X., Ding X. et al. Advances in biotechnology and clinical therapy in the field of peripheral nerve regeneration based on magnetism. *Front. Neurol.* 2023;14:1079757. DOI: 10.3389/fneur.2023.1079757
27. Rosen A.D. Mechanism of action of moderate-intensity static magnetic fields on biological systems. *Cell Biochem. Biophys.* 2003;39(2):163–173. DOI: 10.1385/CBB:39:2:163
28. Mathie A., Kennard L.E., Veale E.L. Neuronal ion channels and their sensitivity to extremely low frequency weak electric field effects. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2003;106(4):311–316. DOI: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a006365
29. Marchionni I., Paffi A., Pellegrino M. et al. Comparison between low-level 50 Hz and 900 MHz electromagnetic stimulation on single channel ionic currents and on firing frequency in dorsal root ganglion isolated neurons. *Biochim. Biophys. Acta* 2006;1758(5):597–605. DOI: 10.1016/j.bbame.2006.03.014
30. Saunders R.D., Jefferys J.G.R. A neurobiological basis for ELF guidelines. *Health Phys.* 2007;92(6):596–603. DOI: 10.1097/01.HP.0000257856.83294.3e
31. Lin T.C., Lin F.H., Lin J.C. In vitro feasibility study of the use of a magnetic electrospun chitosan nanofiber composite for hyperthermia treatment of tumor cells. *Acta Biomater.* 2012;8:2704–2711. DOI: 10.1016/j.actbio.2012.03.045
32. Cancalon P. Influence of temperature on various mechanisms associated with neuronal growth and nerve regeneration. *Prog. Neurobiol.* 1985;25(1):27–92. DOI: 10.1016/0301-0082(85)90022-x

Информация об авторах

Танащян Маринэ Мовсесовна — д.м.н., проф., член-корреспондент РАН, зам. директора по научной работе, руководитель 1-го неврологического отд. Института клинической и профилактической неврологии ФГБНУ НЦН, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-5883-8119>

Максимова Марина Юрьевна — д.м.н., профессор, руководитель 2-го неврологического отделения Института клинической и профилактической неврологии ФГБНУ НЦН; профессор каф. нервных болезней МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7682-6672>

Федин Павел Анатольевич — к.м.н., в.н.с. лаб. клинической нейрофизиологии ФГБНУ НЦН, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-9907-9393>

Носкова Татьяна Юрьевна — к.м.н., с.н.с. научно-консультативного отделения ФГБНУ НЦН, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-1634-1497>

Вклад авторов: **Танащян М.М.** — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста статьи, научное редактирование; **Максимова М.Ю.** — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста статьи; **Федин П.А., Носкова Т.Ю.** — нейрофизиологические исследования, статистическая обработка материалов.

Information about the authors

Marine M. Tanashyan — D. Sci (Med.), Prof., Deputy director for scientific research work, Head, 1st Neurology department, Institute of Clinical and Preventive Neurology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5883-8119>

Marina Yu. Maksimova — D. Sci (Med.), Prof., Head, 2nd Neurology department, Institute of Clinical and Preventive Neurology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia; Professor, Department of nervous diseases, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7682-6672>

Pavel A. Fedin — Cand. Sci (Med.), leading researcher, Laboratory of clinical neurophysiology, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-9907-9393>

Tatiana Yu. Noskova — Cand. Sci (Med.), senior researcher, Scientific and Consulting Department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1634-1497>

Author contribution: **Tanashyan M.M.** — concept and design of the study, collection of material, writing the text of the article, scientific editing; **Maksimova M.Yu.** — concept and design of the study, collection of material, writing the text of the article; **Fedin P.A., Noskova T.Yu.** — neurophysiological studies, statistical processing of materials.